

T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ KUSURLU BETONARME YAPILARIN YAPI TANI
TEKNİKLERİYLE İNCELENMESİ**

Mücahit ÇAM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2021

ANTALYA

T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ KUSURLU BETONARME YAPILARIN YAPI TANI
TEKNİKLERİYLE İNCELENMESİ**

Mücahit ÇAM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2021

ANTALYA

T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ KUSURLU BETONARME YAPILARIN YAPI TANI
TEKNİKLERİYLE İNCELENMESİ**

Mücahit ÇAM
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez TUBİTAK tarafından 116M231 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

OCAK 2021

T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ KUSURLU BETONARME YAPILARIN YAPI TANI
TEKNİKLERİYLE İNCELENMESİ

Mücahit ÇAM
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 20/01/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Doç. Dr. Barış ERDİL

ÖZET

BURKULMASI ENGELLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLAR İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KUSURLU BETONARME YAPILARIN YAPI TANI TEKNİKLERİYLE İNCELENMESİ

Mücahit ÇAM

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Ocak 2021;103 Sayfa

Ülkemize coğrafi konum itibarıyla bakıldığında aktif bir deprem kuşağında yer aldığı, yüzölçümü olarak yüzde 96'sının deprem kuşağında bulunduğu, nüfusumuzun ise yüzde 98'inin deprem kuşağında yaşadığını ve çok kısa periyotlarla büyük çaplı depremlere maruz kaldığı görülmektedir. Meydana gelen orta şiddetteki depremlerde dahi, gerek tasarımsal kusurlar gerekse kullanılan malzeme kalitesinin düşüklüğü ve binalardaki kötü işçilik nedeniyle büyük can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Ülkemizdeki depreme karşı yetersiz yapı stoku insanların can ve mal güvenliğini, sosyal ve ekonomik hayatını ciddi anlamda tehdit eder duruma gelmiştir. Oluşan bu tehdidi bertaraf etmek için iki farklı çözüm yolu vardır. Birincisi yapıların yıkılıp yeniden yapılması ikincisi mevcut yapıların güçlendirilmesidir. Yeni nesil güçlendirme metotlarını incelediğimizde eksenel rijitlikleri fazla olan yatay yük taşıyıcı elemanı olarak kullanılan Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar (BEÇÇ'ler) dikkat çekmektedir. BEÇÇ'ler çekme ve basınç kuvvetlerine maruz kaldığında simetrik histeretik davranış göstermektedir. Bu da BEÇÇ'lerin uygulandığı yapının dinamik yükler altındaki davranışını olumlu yönde etkilemektedir. BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş yapılarda yapı tanı teknikleri (health monitoring) BEÇÇ'lerle güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin güçlendirme öncesi, güçlendirme sonrası ve deprem kuvvetlerinin etkidikten sonraki dinamik ve yapısal özelliklerin çıkartılmasına, hasar durum tespitine olanak sağlamaktadır.

Bu tezde, 116M231 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında statik deney yöntemi ile test edilen ve özellikle 2000 yılı öncesi yapılarda gözlenen yapısal kusurları içeren, iki adet üç boyutlu iki katlı 3x1 açıklıklı ½ ölçekli BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş betonarme yapıların ,muhtelif aşamalarındaki yapısal durumu ve deney sonrası hasar tespiti yapının muhtelif yerlerinden ölçülen ivme verileri ışığında yapısal tanımlama yöntemiyle incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Periyot, İvme ölçümü, Burkulması engellenmiş çelik çapraz, Deneysel çalışma, Yapısal Sağlık Takibi, Deprem, Sismik güçlendirme, Hasar tespiti

JÜRİ: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Doç. Dr. Barış ERDİL



ABSTRACT

AN INVESTIGATION OF DEFECTIVE REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION RETROFITTED WITH BUCKLING RESTRAINED BRACES VIA STRUCTUREL IDENTIFICATION TECHNIQUES

Mücahit ÇAM

Msc Thesis in Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

January 2021; 103 Pages

Considered its geographical location, our country is observed to be located in an active earthquake zone, 96% of its acreage lies in the earthquake zone, 98% of its population lives in the earthquake zone and has been exposed to large-scale earthquakes for very short periods of time. A large loss of life and property occurs due to both defect in design, low quality of the materials used and poor workmanship. The bad building stock in our country has become seriously threatening to the safety of life and property and social and economic life of people. There are two different solutions to eliminate this threat. The first way is to demolish and rebuild the structures. The second way is to strengthen the existing ones. When we investigate the new generation strengthening methods, the Buckling Restrained Braces (BRBs) used as horizontal load-bearing elements with high axial stiffness draw attention. BRBs exhibit similar behavior when exposed to tensile and compression forces. This positively affects the behavior of the structure, which BRBs are applied to, under dynamic loads. Health monitoring techniques allow to characterize the dynamic and structural features of reinforced concrete-frame structures reinforced with BRBs and to assess the value of the damage before, after reinforcement and after the effects of earthquake-like forces.

This thesis was carried out by Assoc. Prof. Ramazan Özçelik within the scope of the TÜBİTAK project number 116M231. In this thesis, the structural status of the reinforced concrete structures, retrofitted with two three-dimensional two-storey 3x1-span $\frac{1}{2}$ scale BRBs, in various stages and damage assessment after the experiment was investigated and compared with the health monitoring method in the light of the acceleration data measured from various parts of the structure. The reinforced concrete structures in point have been tested with dynamic-like test method contained structural defects observed especially in the structures dates back to the years before 2000.

KEYWORDS: Period, Acceleration measurement, Experimental study, Structural Health Monitoring, Buckling restrained brace, Damage assessment, Earthquake, Seismic retrofitting

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Assoc. Prof. Dr. Barış ERDİL



ÖNSÖZ

Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı bünyesinde yapılan bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

Tez çalışmam kapsamında her aşamadaki yönlendirmelerinden ve bu alanda çalışmama imkan tanıyan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e teşekkür ederim. İvmeölçer kullanımı , ekipman desteği ve değerli vaktini esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tuba EROĞLU AZAK'a teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca deneysel çalışmalarda laboratuvarımda beraber ter döktüğüm Durmuş ŞENER'e ve yine projede ekip arkadaşlarım Arş. Gör. Hüseyin SÖĞÜT ve Arş. Gör. Elif Fıruze ERDİL'e teşekkür ederim. Hayatımın her alanında beni destekleyen, bana güvenen ve tüm başarılarımda en büyük paya sahip aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKDADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
3. MATERYAL ve METOT	12
3.1 İki Katlı 3x1 Açıklıklı ½ Ölçekli Betonarme Yapıların Tasarımı.....	16
3.2 Betonarme Binanın BEÇÇ’ler ile Güçlendirilmesi	24
3.2.1 Çelik Çerçeve Montaj Aşamaları.....	24
3.2.2 Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz Elamanlarının Üretimi ve Montajı	27
3.2.3.1 Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz Elemanlarının Üretimi	28
3.2.3.2 Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz Elemanlarının Montajı.....	32
3.3 Yapısal Tanımlama İle İlgili Çalışmalar	34
3.3.1 İvmeölçerin Yerleşimi, Ölçümlerin Alınması Ve İşlenmesi	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1 Birinci Deney İvme ve Periyot Sonuçları.....	45
4.1.1. Birinci Deney Duvarlı Binanın İvme ve Periyot Sonuçları	45
4.1.1.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	46
4.1.1.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	47
4.1.1.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	48

4.1.1.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	49
4.1.2. Birinci Deney ÇÇ Montajı Yapıldıktan Sonra(BEÇÇ'ler Takılmadan)	
Binanın İvme ve Periyot Sonuçları	50
4.1.2.1 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	51
4.1.2.2 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	52
4.1.3. Birinci Deney ÇÇ Montajı Yapıldıktan Sonra(BEÇÇ'li) Binanın İvme ve Periyot Sonuçları	53
4.1.3.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri	54
4.1.3.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	55
4.1.3.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	56
4.1.3.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	57
4.1.4 Birinci Deney Hasarlı Binanın İvme ve Periyot Sonuçları.....	59
4.1.4.1 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	59
4.1.4.2 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	60
4.2 İkinci Deney İvme ve Periyot Sonuçları	62
4.2.1 İkinci Deney Duvarlı Binanın İvme ve Periyot Sonuçları.....	62
4.2.1.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	63
4.2.1.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	64
4.2.1.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	65
4.2.1.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	66
4.2.2 İkinci Deney ÇÇ Montajı Yapıldıktan Sonra(BEÇÇ'ler Takılmadan)	
Binanın İvme ve Periyot Sonuçları	67
4.2.2.1 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	68
4.2.2.2 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	69
4.2.3 İkinci Deney ÇÇ Montajı Yapıldıktan Sonra(BEÇÇ'li) Binanın İvme ve Periyot Sonuçları.....	70

4.2.3.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	71
4.2.3.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	72
4.2.3.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	73
4.2.3.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	74
4.2.4 İkinci Deney Hasarlı Binanın İvme ve Periyot Sonuçları.....	75
4.2.4.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	76
4.2.4.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri	77
4.2.4.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri.....	78
4.2.4.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri.....	79
4.3 İkinci Deney Duvarlı Halinin Ö1 Ölçümüne Ait İvme ve Periyot Değerlerinin Vuruş Yerlerine Göre İncelenmesi	80
4.4 Göreli Kat Ötelemelerine Göre Deney Elemanlarında Gözlenen Hasarlar ve Deney Elemanına Ait Grafikler	87
4.4.1 Birinci Deneyde Gözlenen Hasarlar ve Grafikler.....	87
4.4.2 İkinci Deneyde Gözlenen Hasarlar ve Grafikler.....	91
5. SONUÇLAR	97
6. KAYNAKLAR	99
7. EKLER.....	101
7.1 Fast Furier Transform için kullanılan MATLAB kodu.....	101

ÖZGEÇMİŞ

AKDADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar İle Güçlendirilmiş Kusurlu Betonarme Yapıların Yapı Tanı Teknikleriyle İncelenmesi” adlı çalışmanın akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğumu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

20/01/2021

Mücahit Çam



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

m : metre

cm : santimetre

mm : milimetre

s : saniye

Ondalık ayracı olarak virgöl kullanılmıştır.

Kısaltmalar

BEÇÇ : Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz

BEM : Burkulmayı Engelleyen Mekanizma

ÇÇ : Çelik Çapraz

ÇE :Çekirdek Eleman

TS 498 : Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri

TS 498 : Betonarme Yapıların Tasarım Ve Yapım Kuralları

DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

TBDY: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

FFT: Fast Fourier Transformation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. a) ve b) Binadan titreşim ölçümlerinin alınması (Aras 2018)	4
Şekil 2.2. Alınan ivme ölçümlerinin X, Y ve Z yönündeki değerleri (Aras 2018).....	4
Şekil 2.3. Binadaki güçlendirme çalışması(Soyoz vd. 2013)	5
Şekil 2.4. Döşemenin kolon çevresindeki bölgelere yerleştirilen sensörler	5
Şekil 2.5. Yanal yük neticesinde oluşan hasarlar(Göksu vd. 2017).....	6
Şekil 2.6. Ölçümlerin yapıldığı kusurlu betonarme binalar(Göksu vd. 2017).....	7
Şekil 2.7. İvmeölçerlerin test edilen binadaki yerleşimleri(Sarno vd. 2011).....	7
Şekil 2.8. Test edilen binanın ölçüleri ve dıştan görünüşü (Guerreroa vd. 2018)	8
Şekil 2.9. Testlerde kullanılan 19/09/1985 tarihli Michoacán, Mexico depremi kayıtları (Guerreroa vd. 2018).....	8
Şekil 2.10. Binanın BEÇÇ'siz ve BEÇÇ'li halinin doğal titreşim frekansları (üsteki BEÇÇ'siz bina alttaki BEÇÇ'li bina) (Guerreroa vd.2018).....	9
Şekil 2.11. Bina güçlendirme planı ve uygulanmanın tamamlanmış hali.....	9
Şekil 2.12. a) 1. kattaki deneysel ve analitik deplasmanlar; b) 2. kattaki deneysel ve analitik deplasmanlar (Gara vd.2017)	10
Şekil 2.13. Dolgu duvarların temel titreşim periyoduna etkisi (Güler vd. 2008)	10
Şekil 2.14 Bina yüksekliği ile temel titreşim periyodu arasındaki ilişki	11
Şekil 2.15. Dört katlı okul yapısı ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)	12
Şekil 2.16. Dört katlı otel binası ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)	12
Şekil 2.17. Dört katlı ofis binası ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)	12
Şekil 2.18. Dört katlı ofis binası ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)	13
Şekil 2.19. Beş katlı hastane binası ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013).....	13
Şekil 3.1. Hidrolik piston yardımıyla yükleme yapılmaya hazır BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş kusurlu binanın genel görünümü	14

Şekil 3.2. BEÇÇler ile güçlendirilmiş kusurlu binanın 3B görsel Çalışması	15
Şekil 3.3. a) Silindir numunelere kükürt başlık yapılması; b) Silindir numunelerin basınç dayanım testi; c) Deney elemanında kullanılan donatıların çekme testi.....	17
Şekil 3.4. Betonarme yapıda kullanılan enine donatının Gerilme-Şekil Değiştirme diyagramı(nervürlü $\phi 4$)	17
Şekil 3.5. Betonarme yapıda kullanılan boyuna donatının Gerilme-Şekil Değiştirme diyagramı (nervürlü $\phi 8$)	18
Şekil 3.6. a) ve b)Yetersiz sayı ve nitelikteki etriyeler	18
Şekil 3.7. Yetersiz filiz boyu.....	18
Şekil 3.8. Sargısız kolon-kiriş birleşimi.....	18
Şekil 3.9. Laboratuvar koşullarına göre boyutlandırılmış temellerin imalatı	19
Şekil 3.10. Bina temelinin güçlü rijit temele sabitlenmesinde kullanılan gijonlar	20
Şekil 3.11. Temel betonu dökümü sonrası.....	20
Şekil 3.12. Kat betonlarının hazırlanması.....	21
Şekil 3.13. Kalıp kurulum aşamaları; a) Kolon kalıpları; b) Kiriş kalıpları; c) Döşeme kalıpları ve kalıp kurulumunun tamamlanması.....	21
Şekil 3.14. Betonarme sistemin imalat evreleri	22
Şekil 3.15. Betonarme sistemin imalat aşamaları	23
Şekil 3.16. BEÇÇ'lerin monte edileceği çerçevelerin tamamlanmış montajı	24
Şekil 3.17. Çelik çerçevenin betonarme binaya ankrajlanması	25
Şekil 3.18. Çelik çerçevenin montaj aşamaları	26
Şekil 3.19. Temel güçlendirmesi yapılan deneydeki taban plakası yerleşimi ve temel betonu dökümü	27
Şekil 3.20. 1-Bağlantı bulonu 2-Ek plakalar 3-4-BEÇÇ elemanın haç(+) biçimindeki kesiti 5- Bağlantı plakası(kulak) 6- Çekirdek eleman(ÇE).....	28
Şekil 3.21. BEÇÇ eleman izolasyon ve kızak sistemi yapımı	30
Şekil 3.22. BEÇÇ elemanların imalat süreci	31
Şekil 3.23. BEÇÇ elemanların montajı.....	32

Şekil 3.25. BEÇÇler ile güçlendirme aşamasında kullanılan çelik malzemelerin çekme dayanım testi.....	33
Şekil 3.26. İvmeölçer Yay-Kütle-Sönümleyici Sistemi.....	34
Şekil 3.27. Sara Acebox SA10 marka ve modelli 3 eksenli ultra hassas sismik ivmeölçer	35
Şekil 3.28. Deney Elemanının görünümü(Cam vd. 2019).....	36
Şekil 3.29. Birinci kat sol taraftan (Ö1) yapılacak ivme ölçümleri için ivmeölçerin konumu ve bu konuma göre tahrik yerleri sayıları ve sırası	36
Şekil 3.30. Birinci kat sağ taraftan (Ö2) yapılacak ivme ölçümleri için ivmeölçerin konumu ve bu konuma göre tahrik yerleri sayıları ve sırası	37
Şekil 3.31. İkinci kat sol taraftan(Ö3) yapılacak ivme ölçümleri için ivmeölçerin konumu ve bu konuma göre tahrik yerleri sayıları ve sırası	39
Şekil 3.32. İkinci kat sağ taraftan(Ö4) yapılacak ivme ölçümleri için ivmeölçerin konumu ve bu konuma göre tahrik yerleri sayıları ve sırası	39
Şekil 3.33. İvme ölçüm aşamaları.....	43
Şekil 4.1. Duvarlı binanın Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s ²)	46
Şekil 4.2. Duvarlı binanın Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	46
Şekil 4.3. Duvarlı binanın Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s ²)	47
Şekil 4.4. Duvarlı binanın Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	47
Şekil 4.5. Duvarlı binanın Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s ²)	48
Şekil 4.6. Duvarlı binanın Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	48
Şekil 4.7. Duvarlı binanın Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s ²)	49
Şekil 4.8. Duvarlı binanın Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	49
Şekil 4.9. Binanın BEÇÇ'siz ÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları.....	51
Şekil 4.10. Binanın BEÇÇ'siz ÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	51

Şekil 4.11. Binanın BEÇÇ'siz ÇÇ'li Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları.....	52
Şekil 4.12. Binanın BEÇÇ'siz ÇÇ'li Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	52
Şekil 4.13. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	54
Şekil 4.14. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	54
Şekil 4.15. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	55
Şekil 4.16. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	55
Şekil 4.17. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	56
Şekil 4.18. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	56
Şekil 4.19. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	57
Şekil 4.20. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	57
Şekil 4.21. Binanın hasarlı halinin Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	59
Şekil 4.22. Binanın hasarlı halinin Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	59
Şekil 4.23. Binanın hasarlı halinin Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	60
Şekil 4.24. Binanın hasarlı halinin Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	60
Şekil 4.25. Duvarlı binanın Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	63
Şekil 4.26. Duvarlı binanın Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	63
Şekil 4.27. Duvarlı binanın Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s ²)	64
Şekil 4.28. Duvarlı binanın Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	64
Şekil 4.29. Duvarlı binanın Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s ²)	65

Şekil 4.30. Duvarlı binanın Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	65
Şekil 4.31. Duvarlı binanın Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s ²)	66
Şekil 4.32. Duvarlı binanın Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	66
Şekil 4.33. Binanın BEÇÇ'siz ÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları.....	68
Şekil 4.34. Binanın BEÇÇ'siz ÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	68
Şekil 4.35. Binanın BEÇÇ'siz ÇÇ'li Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları.....	69
Şekil 4.36. Binanın BEÇÇ'siz ÇÇ'li Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	69
Şekil 4.37. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	71
Şekil 4.38. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	71
Şekil 4.39. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	72
Şekil 4.40. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	72
Şekil 4.41. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	73
Şekil 4.42. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	73
Şekil 4.43. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	74
Şekil 4.44. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	74
Şekil 4.45. Binanın hasarlı halinin Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	76
Şekil 4.46. Binanın hasarlı halinin Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	76
Şekil 4.47. Binanın hasarlı halinin Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	77
Şekil 4.48. Binanın hasarlı halinin Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	77

Şekil 4.49. Binanın hasarlı halinin Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	78
Şekil 4.50. Binanın hasarlı halinin Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	78
Şekil 4.51. Binanın hasarlı halinin Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları	79
Şekil 4.52. Binanın hasarlı halinin Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	79
Şekil 4.53. V1 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	81
Şekil 4.54. V2 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	82
Şekil 4.55. V3 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	82
Şekil 4.56. V4 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	83
Şekil 4.57. V5 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	83
Şekil 4.58. V6 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	84
Şekil 4.59. V7 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	84
Şekil 4.60. V8 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	85
Şekil 4.61. V9 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri.....	85
Şekil 4.62. İkinci deney duvarlı halinin Ö1 ölçümünün vuruş yerlerine göre ivme-zaman kaydı(mm/s^2)	86
Şekil 4.63. %0,3 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	87
Şekil 4.64. %0,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	87
Şekil 4.65. %1 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	88
Şekil 4.66. %1,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	88
Şekil 4.67. %2 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	89
Şekil 4.68. %2,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	89
Şekil 4.69. %3 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	90
Şekil 4.70. Birinci deneye ait periyot değişimi.....	90
Şekil 4.71. %0,3 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	91

Şekil 4.72. %0,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	91
Şekil 4.73. %1 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	91
Şekil 4.74. %1,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	92
Şekil 4.75. %2 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	92
Şekil 4.76. %2,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	93
Şekil 4.77. %3 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	93
Şekil 4.78. %3 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar.....	94
Şekil 4.79. İkinci deneye ait periyot değışimi	94
Şekil 4.80. İkinci deney duvarlı halinin Ö1 ölçümünün vuruş yerlerine göre periyot değerlerinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.81. Birinci deney elemanın ölçüm aşamalarının ölçüm noktalarına göre periyot değerlerinin karşılaştırılması	96
Şekil 4.82. İkinci deney elemanın ölçüm aşamalarının ölçüm noktalarına göre periyot değerlerinin karşılaştırılması.....	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Test edilen binalar için ölçülen ve hesaplanan periyotlar ve sapma oranları(Güler vd. 2008).....	11
Çizelge 3.1 Temeli güçlendirmeden yapılan ilk deneyin 1. ve 2. katlarına ait silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları	16
Çizelge 3.2 Temeli güçlendirme çalışması yapılarak yapılan ikinci deneyin 1. ve 2. Katlarına ait silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları	16
Çizelge 3.3 Deney elemanlarının kat betonlarında kullanılan beton karışım hesabı	21
Çizelge 3.4 Güçlendirme sonrası betonarme deney elemanı ile güçlendirme çerçevesi arasındaki boşluğu doldurmak için kullanılan betonun karışım hesabı	25
Çizelge 3.5 BEÇÇ'lerin kalınlık ve uzunlukları	29
Çizelge 3.6 BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş Deney Elemanına Ait Çelik Malzemelerin Mekanik Özelliklerin ortalama değerleri	33
Çizelge 3.7 BEÇÇ elemanlarda BEM olarak kullanılan betonun ve ÇÇ ve Betonarme bina arasındaki boşluğa dökülen beton malzemenin mekanik özellikleri ...	33
Çizelge 3.8 Birinci deney ivme ölçüm aşamaları	41
Çizelge 3.9 İkinci deney ivme ölçüm aşamaları	41
Çizelge 3.10 Deplasman kontrollü piston yardımıyla binaya her bir deplasman değeri için iki kez ve ters çevrimli olarak uygulanan yükleme protokolü	42
Çizelge 4.1 Binanın duvarlı haline ait ölçümler	45
Çizelge 4.2 ÇÇ montajı yapıldıktan sonra (BEÇÇ'ler takılmadan) yapılan ölçümler...	50
Çizelge 4.3 ÇÇ montajı yapıldıktan sonra (BEÇÇ'li) yapılan ölçümler	53
Çizelge 4.4 Binanın hasarlı haline ait ölçümler	58
Çizelge 4.5 Birinci deney için yapılan ölçümler.....	61
Çizelge 4.6 Binanın duvarlı haline ait ölçümler	62
Çizelge 4.7 ÇÇ montajı yapıldıktan sonra (BEÇÇ'ler takılmadan) yapılan ölçümler...	67
Çizelge 4.8 ÇÇ montajı yapıldıktan sonra (BEÇÇ'li) yapılan ölçümler	70

Çizelge 4.9 Binanın hasarlı haline ait ölçümler	75
Çizelge 4.10 İkinci deney için yapılan ölçümler	80
Çizelge 4.11 İkinci Deney Duvarlı Halinin Ö1 Ölçümünün Vuruş Yerlerine Göre Periyot Değerlerinin İncelenmesi.....	81



1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasının temel amacı, mevcut binaların depreme karşı güçlendirilmesinde alternatif yöntemlerden biri olan ve ülkemizde de yeni yeni uygulanmaya başlanılan burkulması engellenmiş çelik çaprazlar (BEÇÇ) ile güçlendirilmiş iki adet üç boyutlu iki katlı 3x1 açıklıklı ½ ölçekli betonarme yapıların güçlendirme öncesi ve sonrası yapısal parametrelerinin ve yapısal durumunun yapı tanı tekniğiyle incelenmesidir. Tez çalışmasının temel amacı ışığında elde edilecek bazı kazanımlar şöyledir:

- 1) Yapı tanı tekniği kullanılarak ülkemiz şartlarına uygun geliştirilmiş yeni tip BEÇÇ'nin etkinliğinin üç boyutlu sistem içerisindeki davranışının ortaya koyulması.
- 2) Yapı tanı teknikleri sayesinde BEÇÇ ile dıştan güçlendirilmiş iki adet üç boyutlu iki katlı 3x1 açıklıklı ½ ölçekli betonarme yapıların gerekli yapısal parametrelerin tespit edilmesi (temel periyot, yapısal frekansları vs.) ve hasar tespitinin yapılması.
- 3) Yeni tip üretilen BEÇÇ'lerin ulusal ve uluslararası akademik camiada tanınırlığının ve kullanılabilirliğinin artırılması.
- 4) Binaların BEÇÇ'ler yardımıyla dıştan güçlendirme metotlarının geliştirilmesiyle ülke ekonomisi ve kentsel dönüşümüne katkı sağlamak.

Deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde, yeni yönetmelik ve yapım teknikleri ile birlikte depreme karşı dayanıklı yapıların yapılması mümkün hale gelmiştir. Fakat özellikle 2000 yılından önce yapılan yapıların can ve mal güvenliğini açısından ciddi risk oluşturdıkları bilinmektedir. Bu yapılarda gerek mühendislik açısından gerek işçilik ve yapım aşamasındaki yetersiz kontrollerden kaynaklı ciddi yapısal kusurlar bulunmaktadır. Bu tür kusurlu yapıların can ve mal güvenliği için tehdit olmaktan çıkarmak için iki yol mevcuttur. Birincisi, mevcut yapıların yıkılıp yenilerinin inşa edilmesi, ikincisi ise mevcut yapıların çeşitli güçlendirme metotlarıyla depreme karşı güçlendirilmesidir. Ülkemizde kentsel dönüşüm açısından pek çok proje gerçekleştirilmektedir. Buna rağmen ülkemizdeki 20 milyon konuttan 7 milyonunun dönüşüme ihtiyaç duyduğu göz önünde bulundurulursa bu projeler mevcut kusurlu yapı stokunun küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Ülkemizde yapılan ve yapılması planlanan kentsel dönüşümün maliyeti ülkemiz için ciddi bir külfettir. Ülkemizde özellikle 2000 yılı sonrası inşa edilen yapıların yarısından fazlası güçlendirme ile kurtarılabilecek konumdadır. Yıkıp yeniden yapmak yerine uygun binalarda güçlendirme yoluna gidilirse bu bahsedilen maliyet çok ciddi anlamda azalması beklenmektedir. Özellikle kamu binaları için güçlendirme maliyetinin yıkıp yeniden yapma maliyetinin %40'ına tekabül etmesi durumunda yapının güçlendirilmesinin tercih edilmesi en doğru yoldur. Ayrıca ülkemiz bulunduğu coğrafik konum göz önüne alındığında sismik hareketliliğin oldukça fazla yaşandığı aşıkardır. Ülkemiz her an büyük çaplı bir sismik hareketle karşı karşıya kalabilir. Bu gerçek aslında kentsel dönüşümde zamanla da yarıştığımızın bir göstergesidir. Ülkemizdeki yapı stokunu depreme dayanıklı hale getirmek için yıkıp

yeniden yapmak yerine uygun binalara güçlendirme uygulaması yapmak süre konusunda daha verimli bir uygulama yöntemi olacaktır. Çünkü ortalama büyüklükte bir binayı yıkıp yapma yaklaşık 18ay alırken ; güçlendirme 4 ayda yapılabilmektedir. Yönetmeliğimizde de mevcut olan ve mühendisler tarafından en çok kullanılan güçlendirme metodu betonarme perde duvar ve kolon mantolanması ile yapılan güçlendirmelerdir. Bunlara ek olarak çelik çaprazlarla güçlendirme uluslararası camiada kabul görmüş bir yöntemdir. Çelik çaprazların eksenel rijitlikleri yüksektir ve deprem kuvvetlerin güvenli bir biçimde taşınmasına olanak verir. Fakat çelik malzemesi basınç kuvvetleri altında burkulma davranışı gösterir. Bu sebepten ötürü araştırmacılar BEÇÇ üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Ülkemizde mevcut standart ve yönetmelikler (Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, TS500, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) BEÇÇ ile güçlendirme konusuna değinmemektedirler. Bu yüzden ülkemizde , BEÇÇ ile güçlendirme yönteminin tasarım ve uygulama aşamalarında önemli eksikliklerin olduğu aşikardır. Teorik çalışmalarda sınır şartları , malzeme davranış modeli gibi parametrelerdeki belirsizliklerden tam olarak anlaşılamamaktadır. Bu nedenle problemlerin doğru yorumlanabilmesi için ülkemiz yapı stokunun genel özelliklerine ve kusurlarına uygun olarak geliştirilmiş BEÇÇ'lerin yapı üzerindeki etkinliklerinin deneysel olarak tespit edilmesi oldukça önemlidir. BEÇÇ'lerin çalışma prensibi, çelik çaprazların çekme ve basınç istemlerinde simetrik histeretik davranış göstererek yüklerin emniyetle taşınması ve plastikleşerek enerji sönümlenmesine katkı sağlamaları şeklindedir. Bu nedenle ülkemizdeki mevcut kusurlu yapıların, düşük akma dayanımına sahip BEÇÇ'ler ile güçlendirilmesiyle deprem kuvvetleri etkisi altında yatay deplasman taleplerinin sınırlandırılmasını ve deprem kuvvetlerinin güvenle taşınabilmesi mümkündür.

BEÇÇ'lerle güçlendirmenin diğer güçlendirme metotlarına göre en büyük avantajı bina kullanımdayken dıştan güçlendirmeye imkan tanımasıdır. Özellikle kamu binalarında hastane vb. kritik yapılarda güçlendirme çalışması sırasında yapının boşaltılmaması hizmetlerinin kesintisiz olarak sağlanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca kentsel dönüşüm projelerinde projenin niteliğine göre devletimiz ya da taahhüt şirketleri yeni bina tamamlanıncaya kadar kat maliklerine kira yardımıyla bulunmaktadır. BEÇÇ'lerle güçlendirmede bina kullanımda olduğu için hem böyle ciddi bir maliyet ortadan kalkmakta hem binada yaşayanlar taşınmak zorunda kalmamaktadır.

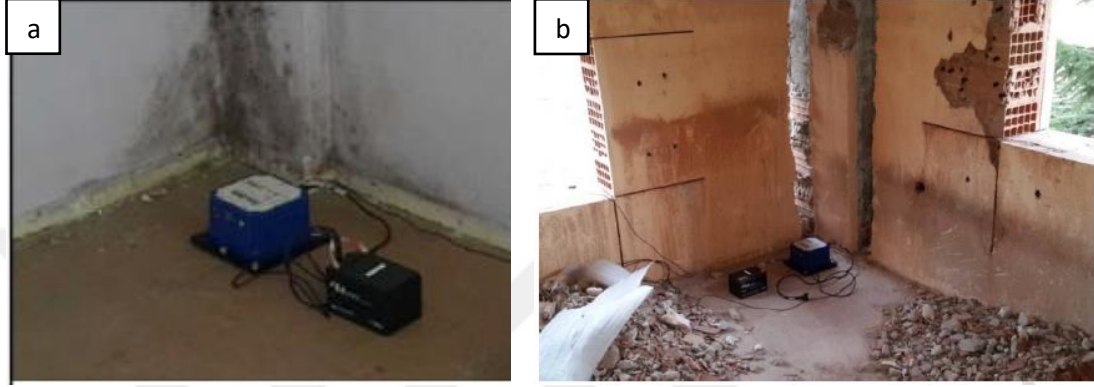
Bir bina BEÇÇ'ler ile güçlendirildiğinde , binanın yatay yük taşıma kapasitesi ve enerji sönümleme kapasitesinde artış meydana gelir. Bundan dolayı binanın güçlendirme öncesi durumuna göre yapısal parametreleri değişim gösterir. Güçlendirilmiş binanın yapısal parametreleri cinsinden (rijitlik, modal değerler, periyot, frekans, sönümleme) sayısal olarak deneysel çalışmalarla ortaya koyulmalıdır. Yapı tanı teknikleri yapısal parametrelerin çıkarılmasına ve yapıdaki iyileşmenin tespit edilmesine imkan tanır. Bununla beraber, BEÇÇ ile güçlendirilmiş bir binada, deney sonrası (deprem sonrası) hasarlı durumun tespiti de yapı tanı teknikleri ile belirlenir. Bu bağlamda, ülkemize özgü yapı kusurlarına uygun olarak geliştiren BEÇÇ'lerin güçlendirme öncesi, güçlendirme sonrası (deney öncesi) ve deprem sonrası hasarlı (deney sonrası) performanslarının ve yapıya kazandırdıkları ek iyileştirmenin tayini büyük önem taşır.

TÜBİTAK tarafından desteklenen ve Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilen 116M231 numaralı proje yüksek bütçeli, yoğun emek ve zaman isteyen bir çalışmadır. Bu çalışmanın birinci aşaması olan farklı tipte BEÇÇ'lerin eleman bazında test edilmesi Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında tamamlanmıştır (Özçelik vd. 2016, 2017). 112M820 numaralı projenin ikinci aşaması olan ve eleman bazındaki testlerde en başarılı olan BEÇÇ'nin betonarme çerçeve içinde test edilmesi ODTÜ İnşaat Mühendisliği Yapı Mekaniği Laboratuvarında tamamlanmıştır. 116M231 numaralı TÜBİTAK projesi bu çalışmaların üçüncü aşaması niteliğinde olup üç boyutlu iki katlı 3x1 açıklıklı ½ ölçekli betonarme yapıların güçlendirme öncesi, sonrası yapısal parametrelerinin, yapısal durumunun ve hasar tespiti için yapı tanı tekniğiyle incelenmesi amaçlanmaktadır.



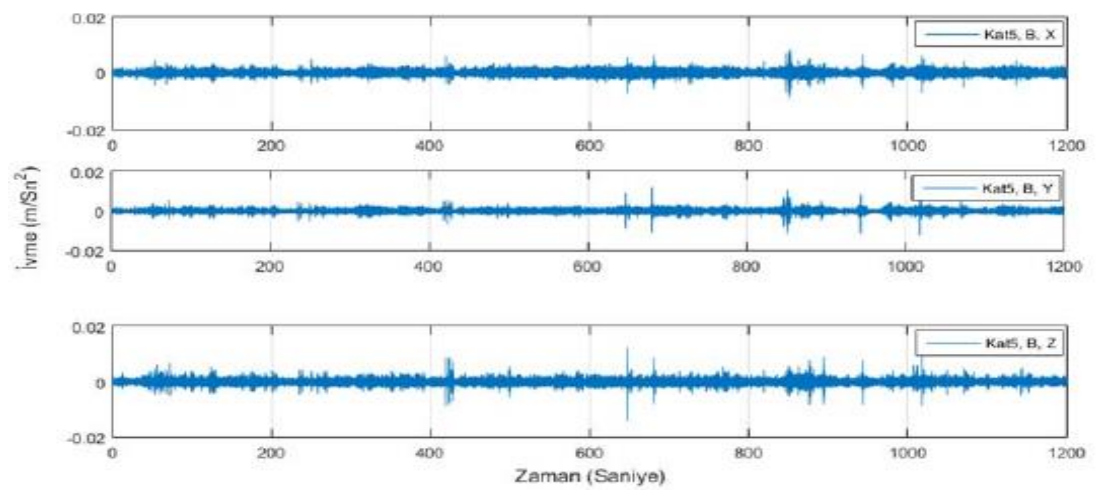
2. KAYNAK TARAMASI

Aras (2018), 1980’li yıllarda inşa edilmiş altı katlı betonarme bir binanın dinamik özellikleri çevresel titreşim analizleri ile belirlenmiştir. Sonrasında binanın zemin katında bulunan bölme tuğla duvarlar kolon ve kirişlerden ayrılarak tuğla duvarın binanın davranışına etkisi ortan kaldırılmıştır. Tekrarlanan çevresel titreşim analizleri binanın her iki hali için belirlenen dinamik özelliklerin karşılaştırılmasıyla, tuğla duvarların yapı dinamik davranışlarına olan etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.1a ve 2.1b Binadan titreşim ölçümlerinin alınması (Aras 2018)

Binanın tuğla duvar etkisi altındayken ivmeölçere göre Y eksenindeki frekansı 4,01 Hz iken , X ekseninde 4,59 Hz olarak bulunmuştur. Binanın zemin katındaki tuğla duvarların etkisi ortadan kaldırıldıktan sonra binanın X eksenindeki frekansı 2,93 Hz, Y eksenindeki frekansı 3,03 Hz olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.2 Alınan ivme ölçümlerinin X, Y ve Z yönündeki değerleri (Aras 2018)

Soyoz vd.(2013) yaptıkları çalışmada 6 katlı betonarme bir binanın güçlendirme öncesi güçlendirme aşamaları ve sonrası için dinamik parametrelerinin belirlenmesini içermektedir. Binada güçlendirme çalışması, kolonların mantolanması ve uygun görülen yerlere perde duvar eklenmesiyle yapılmıştır.



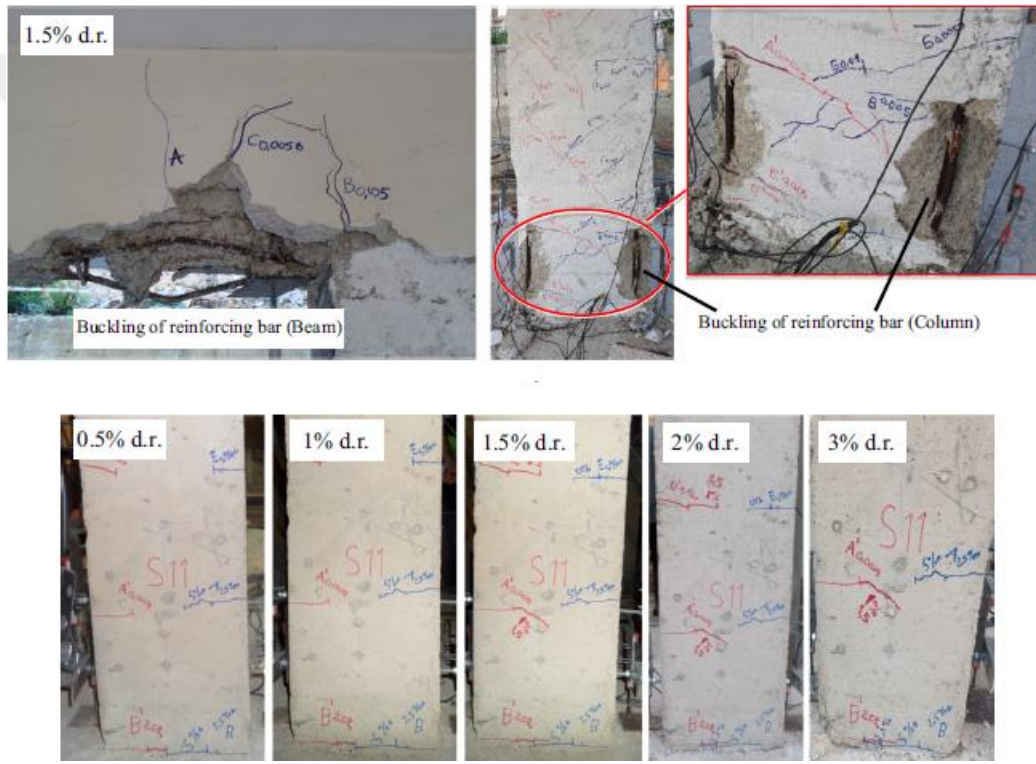
Şekil 2.3 Binadaki güçlendirme çalışması(Soyoz vd. 2013)

Güçlendirme çalışması yapmak için tuğla duvarlar yıkılmış ve bu aşamada yapılan ölçümlerde hakim frekans değerinin binanın ilk haline göre %11 azaldığı gözlemlenmiştir. Güçlendirme çalışması sonrası yapılan ölçümde ise hakim frekans değerinin %96 arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 2.4 Döşemenin kolon çevresindeki bölgelere yerleştirilen sensörler(Soyoz vd. 2013)

Göksu vd.(2017) yaptıkları çalışmada iki adet kusurlu betonarme binanın dinamik özelliklerini (modal frekanslar ve sönüm oranları) elde etmek için zorlanmış titreşim testleri yapmıştır. Bu testler statik yanal çevrimsel yüklemelerden önce ve sonra gerçekleştirilmiştir. Binaların sadece x yönünde uygulanan statik çevrimsel yüklemelerle binalarda, kontrollü bir şekilde belirli hasar durumları meydana getirilmiştir. Çalışmanın amacı, artan hasarla birlikte dinamik özelliklerin değişim oranlarının araştırılmasıdır. Beklenildiği gibi artan hasar seviyeleri için sönümlenme oranları artma eğilimindeyken bina frekansların düşme eğiliminde olduğu görülmüştür. Çalışmada test edilen binalar Türkiye'deki mevcut kusurlu betonarme binaların çoğunluğunu temsil ettiğinden, artan hasarla birlikte dinamik özelliklerdeki değişiklikler, gelecekteki olası depremlerden sonra bu tür binaların yıkılması ya da güçlendirilmesi kararında faydalı olabilecektir.

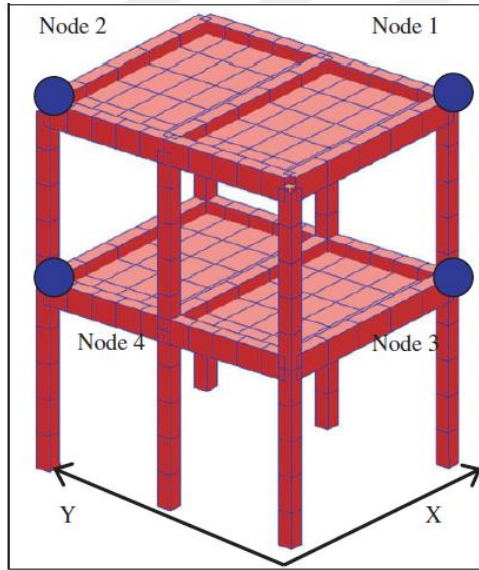


Şekil 2.5 Yanal yük neticesinde oluşan hasarlar(Göksu vd. 2017)



Şekil 2.6 Ölçümlerin yapıldığı kusurlu betonarme binalar(Göksu vd. 2017)

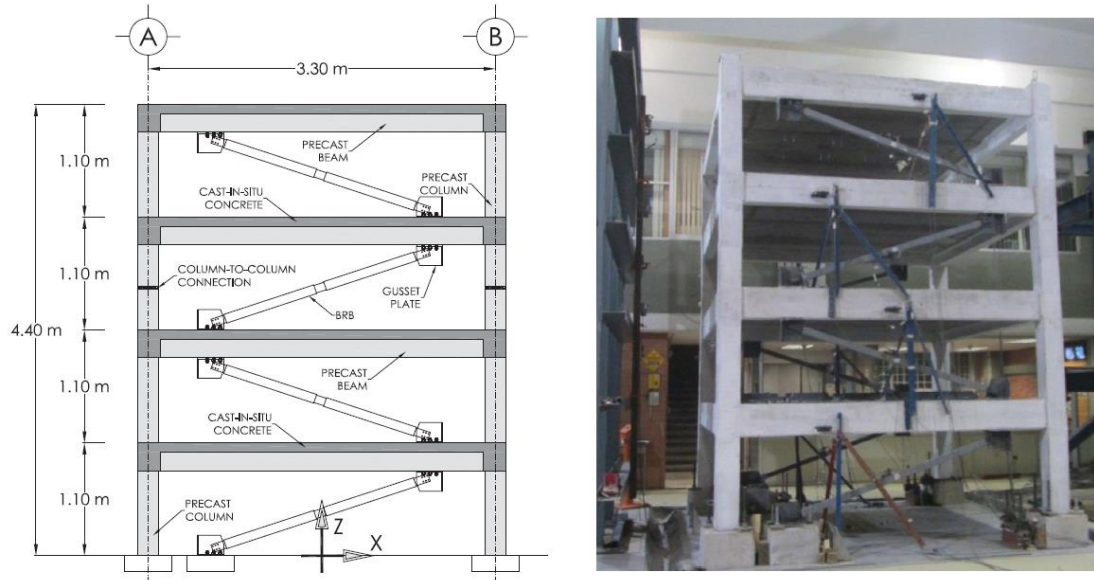
Sarno vd. (2011) yaptıkları çalışma kapsamında birisi güçlendirilmemiş referans model diğeri ise Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar(BEÇÇ) yardımıyla güçlendirilmiş model olmak üzere 2 katlı , 2 açıklıklı ,2 adet gerçek boyutlu betonarme bina modelinin deplasman kontrollü pushover statik ve çevrimsel yükler kullanılarak deneysel olarak araştırılmıştır. Modellerin modal özellikleri, yapısal hasarın ortaya çıkmasının öncesinde ve sonrasında belirlendi. Belirlenen modal parametrelere göre modeller değerlendirildiğinde İtalya'daki mevcut formülasyonların revizyonlara ihtiyaç duyduğu tespit edildi.



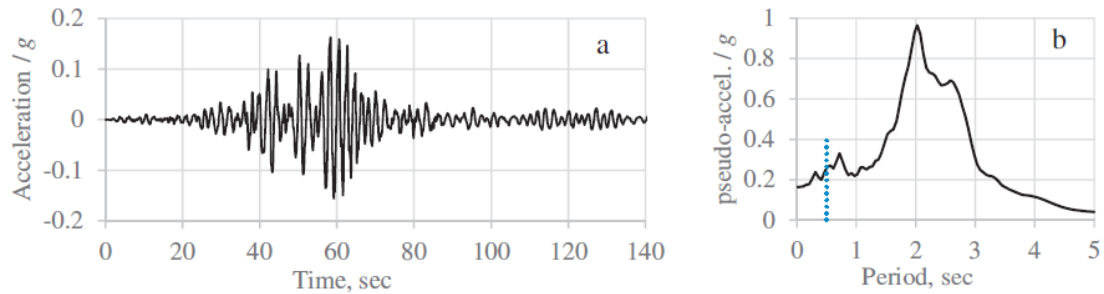
Şekil 2.7 İvmeölçerlerin test edilen binadaki yerleşimleri (Sarno vd. 2011)

Bayraktar vd. (2010) yaptıkları çalışmada, farklı inşaa aşamalarındaki üç betonarme binanın dinamik parametreleri deneysel ölçüm yöntemiyle doğal frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları belirlenmiştir. Binaların hakim doğal frekansları standartlarda kullanılan yaklaşık yöntemlerle hesaplanmış, ölçülen ve hesaplanan frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, incelenen binaların doğal titreşim frekansları ve mod şekilleri mevcut durum için elde edilmiş ve binaların ölçülen hakim frekanslarının hesaplanan değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

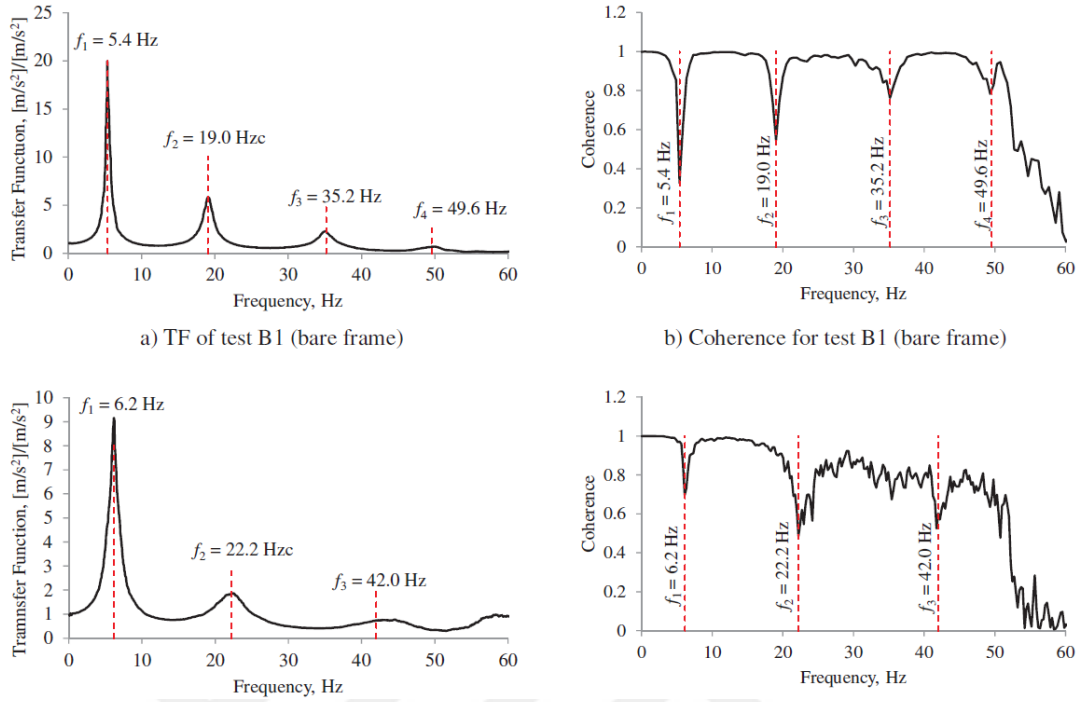
Guerreroa vd. (2018) yaptıkları çalışma kapsamında , BEÇÇ'lerin prekast Betonarme yapılar üzerindeki etkileri incelemek amacıyla 2 adet 4 katlı 1/3 ölçekli modele 19/09/1985 tarihli M8.1 Michoacán deprem kaydı %50, 100, 150 ve 200 oranlarıyla sarsma tablası yardımıyla uygulanmıştır. İlk model referans betonarme model olarak kullanılmış, ikinci modelde ise BEÇÇ'ler yardımıyla güçlendirme yapılmıştır. İki model arasında çeşitli karşılaştırmalar yapıldığında BEÇÇ'lerin modelin temel frekansını ve sönümleme oranlarını önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.8 Test edilen binanın ölçüleri ve dıştan görünüşü (Guerreroa vd. 2018)

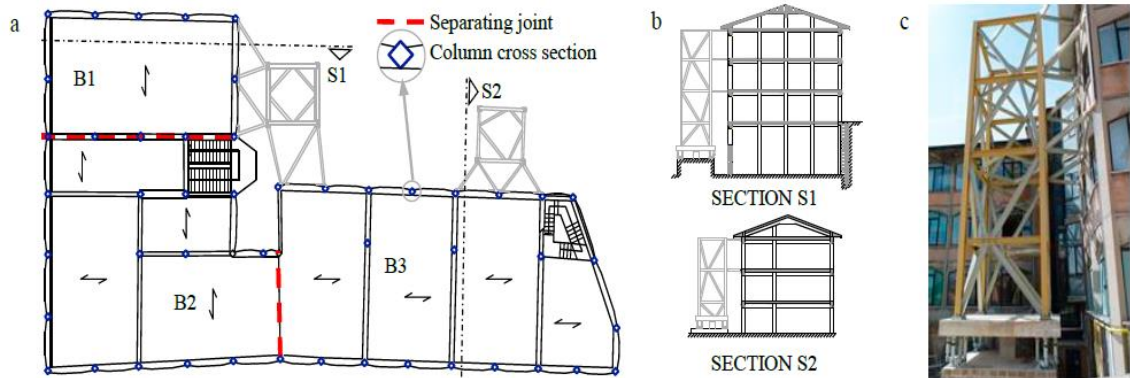


Şekil 2.9 Testlerde kullanılan 19/09/1985 tarihli Michoacán, Mexico depremi kayıtları (Guerreroa vd. 2018)

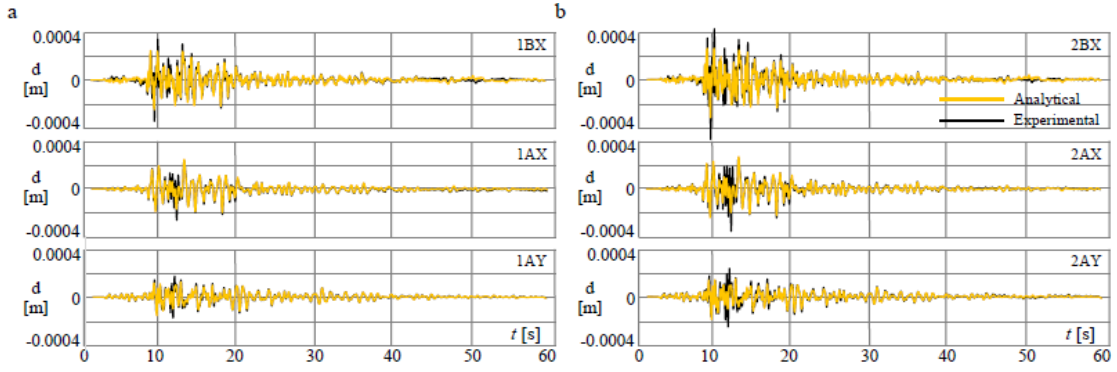


Şekil 2.10 Bina'nın BEÇÇ'siz ve BEÇÇ'li halinin doğal titreşim frekansları (üsteki BEÇÇ'siz bina alttaki BEÇÇ'li bina) (Guerrero vd.2018)

Gara vd. (2017) yaptıkları çalışmada 2016 yılında Camerino'da 1960lı yıllara ait bir okul yapısının orta şiddet bir deprem sonrası artçı depremlerdeki dinamik davranışı incelenmiştir. Betonarme çerçeveden oluşan okul yapısı sönümleyici çelik kafes sistem kuleler yardımıyla güçlendirilmiştir. Güçlendirme öncesi ve sonrası ivmeölçerler yardımıyla yapının modal parametreleri tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen bulgular sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen bulgularla kıyaslanmıştır. Ortalama Kare Kök (RMS) cinsinden yüzde hataları, sırasıyla ikinci ve birinci kat için yaklaşık %17 ve %10'dur ve yapının modal parametrelerinin iyi bir şekilde örtüştüğü sonucuna varılmıştır.



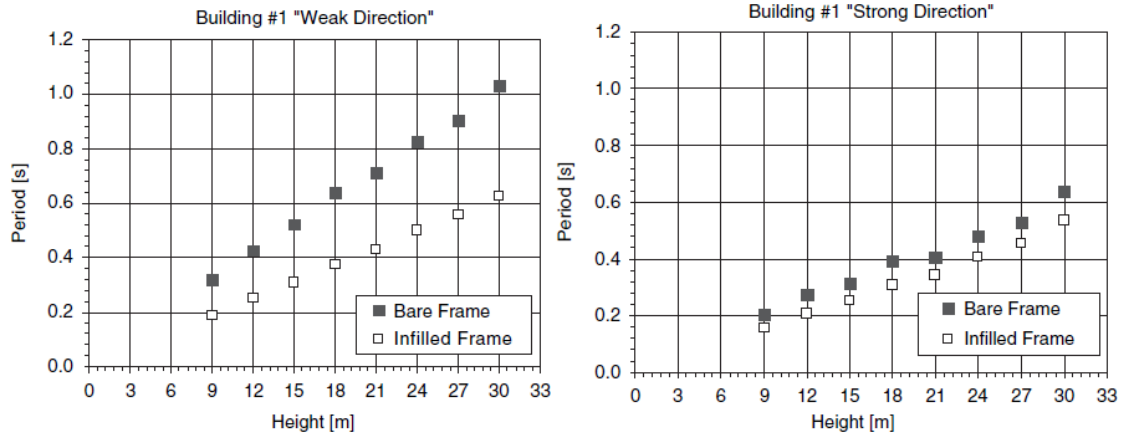
Şekil 2.11 Bina güçlendirme planı ve uygulanmanın tamamlanmış hali (Gara vd.2017)



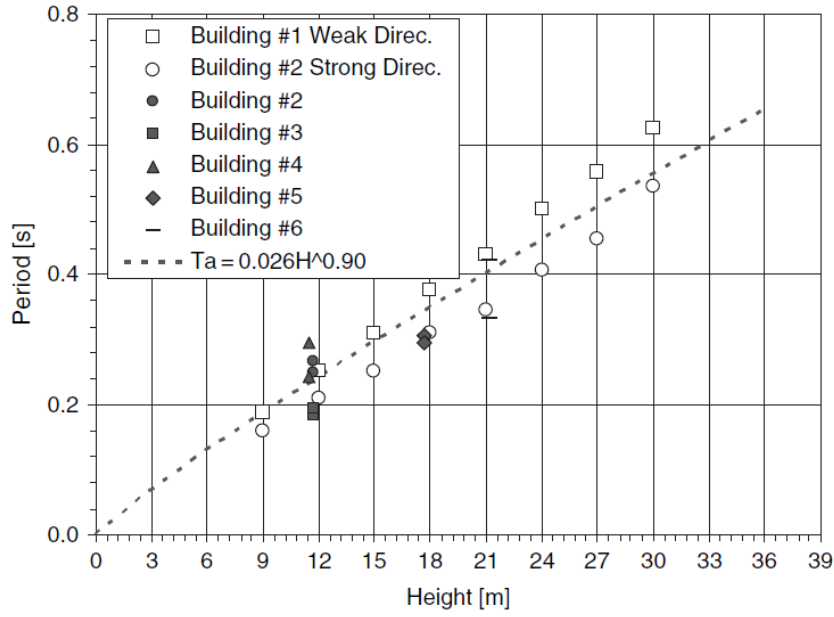
Şekil 2.12 a) 1. kattaki deneysel ve analitik deplasmanlar b) 2. kattaki deneysel ve analitik deplasmanlar (Gara vd.2017)

Ancak ölçülen ivmenin bazı tepe değerleri ve ilgili yer değiştirme teorik değerlerden %50 daha fazladır. Bu tutarsızlıklar büyük olasılıkla binanın teorik tepkisinin 24 Ağustos 2016 depreminden önce deneysel olarak elde edilen binanın dinamik özelliklerine göre kalibre edilen model ile değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Deprem tasarım yönetmelikleri binaların temel periyotlarının hesaplanması için ampirik formüller veya çeşitli yaklaşımlar sunmaktadır. Binaların tasarım ve performans değerlerinin tespiti için gerçekçi periyot değerlerinin kullanılması oldukça önemlidir. Bu bağlamda Güler vd. (2008) yaptıkları çalışma kapsamında 8 farklı binada ivme ölçümleri yapmıştır. Ortalama sonuçlara bakıldığında önerilen yöntemlerle deneysel sonuçlar bir uyum içerisinde. Ayrıca ölçüm yapılan binaların %75'inin orta şiddetteki bir depreme karşı dayanıksız olduğu tespit etmişlerdir.



Şekil 2.13 Dolgu duvarların temel titreşim periyoduna etkisi (Güler vd. 2008)

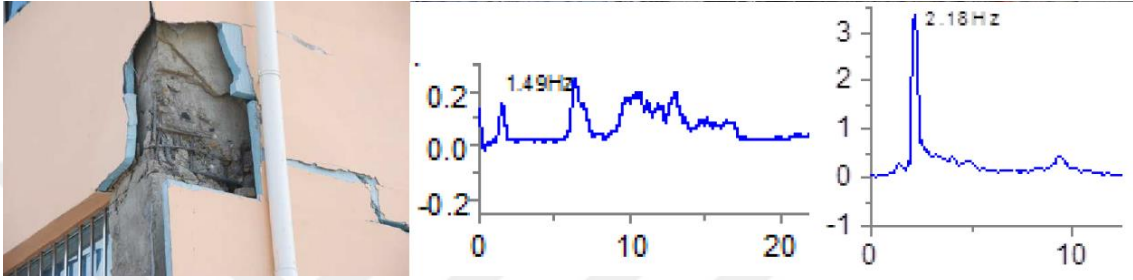


Şekil 2.14 Bina yüksekliği ile temel titreşim periyodu arasındaki ilişki (Güler vd. 2008)

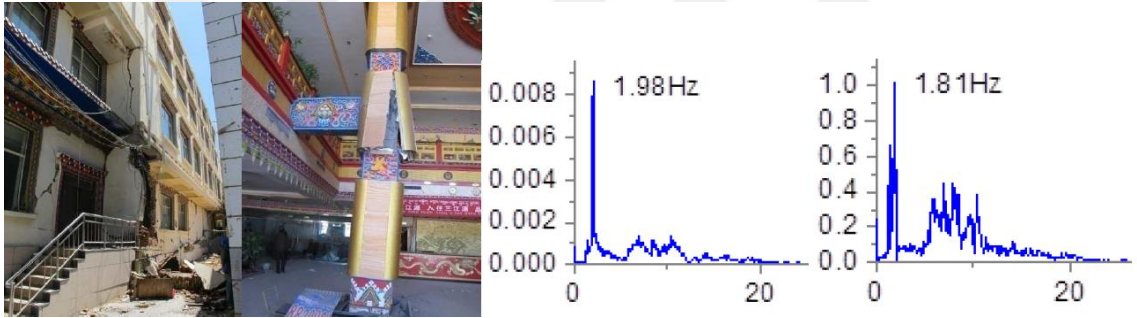
Çizelge 2.1 Test edilen binalar için ölçülen ve hesaplanan periyotlar ve sapma oranları(Güler vd. 2008)

Building	H [m]	$T_a = 0.026H^{0.9}$ [s]	T_1 [s]	Relative Error %	T_2 [s]	Relative Error %
#1	30.0	0.56	0.60	7.5%	0.51	8.8%
#2	11.5	0.23	0.24	3.4%	0.30	21.0%
#3	11.7	0.24	0.19	22.4%	0.20	17.6%
#4	11.7	0.24	0.25	5.0%	0.27	10.7%
#5	21.2	0.41	0.33	21.7%	0.42	3.7%
#6	17.7	0.35	0.31	12.5%	0.30	16.6%
Average Relative Error				12.1%		13.1%

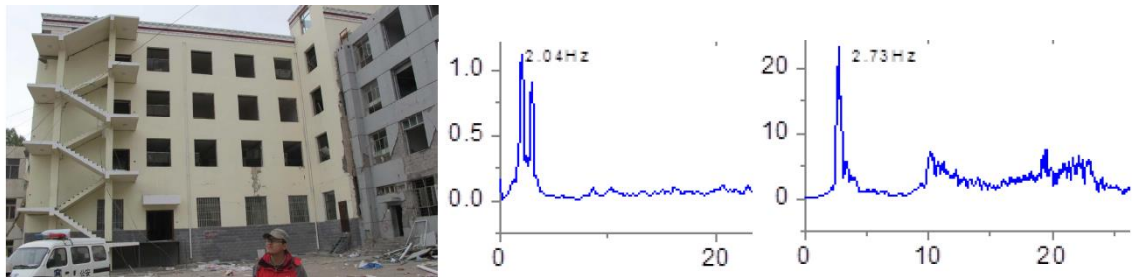
Günümüzde dolgu duvarlı betonarme yapılar en çok tercih edilen yapı türüdür. Hem büyük kuvvetleri taşıma kapasitesine hem de yüksek sünekliğe sahiptir. Buna rağmen son zamanlarda Çin’de meydana gelen yıkıcı depremler yapılara beklenenden çok daha fazla hasar vermiştir. Bunda beklenenden büyük yer hareketleri kadar uygun olmayan tasarımlar da etkilidir. Yang (2013) yaptığı bu çalışma 2010 yılında Çin’deki 7,1 büyüklüğündeki Yushu depreminden sonra 6 adet dolgu duvarlı betonarme yapının yapısal tanımlama yöntemiyle periyotlarının tespitini içermektedir. Bu veriler binaların hasar mekanizmasını ortaya koyduğu gibi doğrusal olmayan nümerik analizler ve hasarlı yapıların güçlendirilmesi içinde referans kaynak oluşturmıştır.



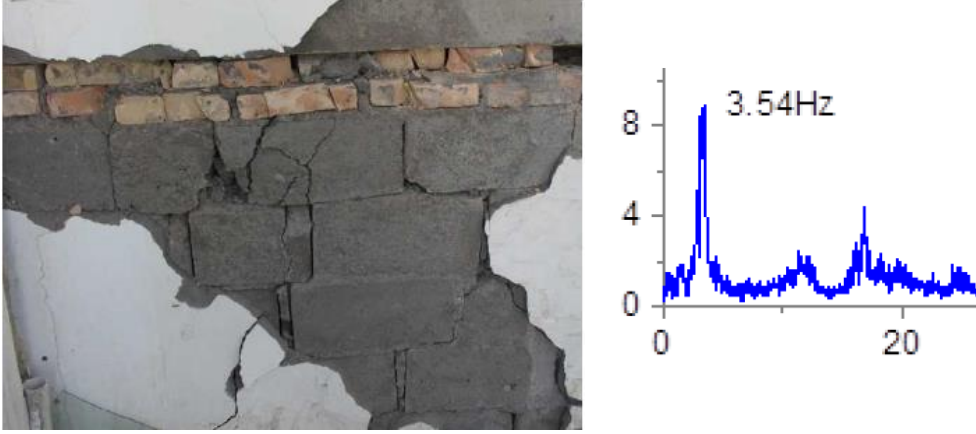
Şekil 2.15 Dört katlı okul yapısı ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)



Şekil 2.16 Dört katlı otel binası ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)



Şekil 2.17 Dört katlı ofis binası ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)



Şekil 2.18 Dört katlı ofis binası ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)



Şekil 2.19 Beş katlı hastane binası ve ölçülen frekans değerleri (Yang 2013)

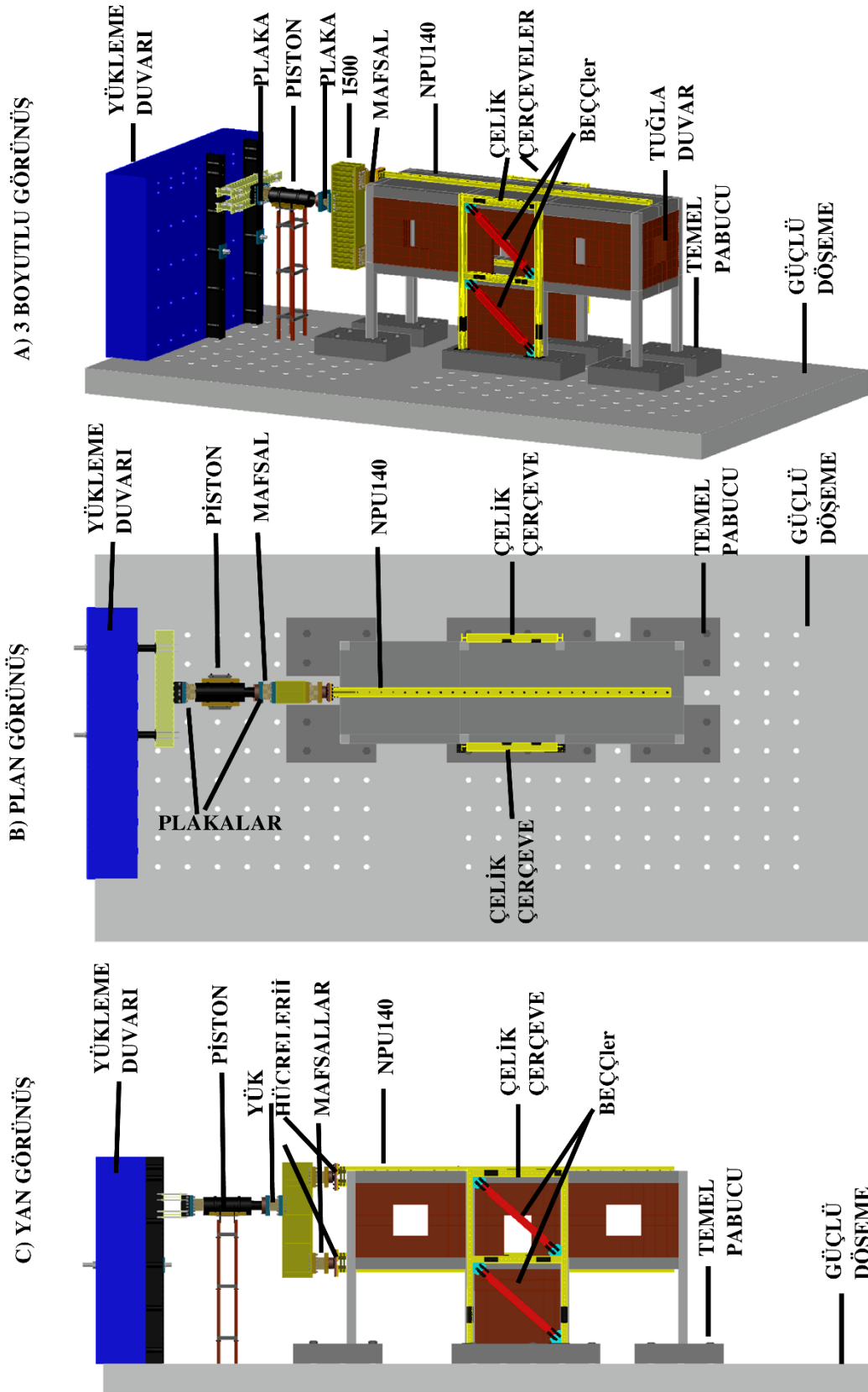
1970'lerin başından beri Portekiz'deki binaların yerinde dinamik karakteristiklerin tespitinde ivme ölçüm tekniğiyle temel titreşim periyodu kullanılmaktadır. Bu veri tabanı sadece temel dinamik karakteristikler hakkında bilgi vermiyor , aynı zamanda bina geometrisi yapı özelliklerinin periyot sönümlenme gibi özellikler arasındaki bağıntıyı da ortaya koyuyor. Oliveira vd. (2010) yaptıkları çalışmada ortaya koyulan formülasyonları dünyanın çeşitli bölgeleri için yayınlanan formüllerle karşılaştırmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışması kapsamında test edilen $\frac{1}{2}$ ölçekli, 3 boyutlu, 3x1 açıklıklı, 2 katlı, iki adet betonarme deney elemanı TÜBİTAK 116M231 numaralı proje kapsamında ters çevrimli statik yükleme altında test edilmiştir (Şekil 3.1). Bu tez konusu ise söz konusu TÜBİTAK projesi kapsamında üretilen betonarme yapıların güçlendirme öncesinde , güçlendirme sonrasında ve uygulanan yatay kuvvet sonrası hasarlı halinde, yapı tanı tekniğiyle yapılan testlerden oluşmaktadır. Ayrıca kusurlu betonarme binaların ve sonrasında yapılan güçlendirmenin (çelik çerçeve ve BEÇÇ) ilgili hesap ve analizleri Elif F. Erdil'in Betonarme Yapıların Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar İle Dış Güçlendirme Metotlarının Geliştirilmesi(Erdil 2021) isimli doktora tezinde yer alacaktır.



Şekil 3.1 Hidrolik piston yardımıyla yükleme yapılmaya hazır BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş kusurlu binanın genel görünümü



Şekil 3.2 BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş kusurlu binanın 3B görsel çalışması (TÜBİTAK 116M231 Projesi 2017 ve Erdil 2021)

3.1 İki Katlı 3x1 Açıklıklı ½ Ölçekli Betonarme Yapıların Tasarımı

116M231 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında dört adet, kusurlu, üç boyutlu, iki katlı, 3x1 açıklıklı, ½ ölçekli betonarme yapı üretilmiştir. Üretilen bu yapılardan ikisi ise bu tez kapsamında kullanılmıştır. Deneylerde gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için ülkemizde özellikle 2000 yılı öncesi imal edilen mevcut yapıların gerek tasarımsal açıdan gerekse yapının imalat aşamasındaki yetersiz denetimden kaynaklanan yapısal kusurlar deney elemanlarına yansıtılmıştır. Bu kusurların başlıcaları, düşük dayanımlı beton (8-10 MPa) (Çizelge 3.1 ve 3.2), yetersiz sargılı kolon ve kirişler (Maksimum etriye aralığından daha fazla etriye aralığı ve 90 derece bükülmüş etriyeler) (Şekil 3.6a ve 3.6b), yetersiz bindirme ve filiz boyu (Şekil 3.7), düz boyuna donatı, yetersiz boyuna donatı miktarı (Denklem 3.1), sargısız kolon-kiriş birleşimi (Şekil 3.8) ve güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesinin tersine güçlü kiriş-zayıf kolon tasarımına sahip olmasıdır.

Çizelge 3.1. Temeli güçlendirmeden yapılan ilk deneyin 1. ve 2. katlarına ait silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları

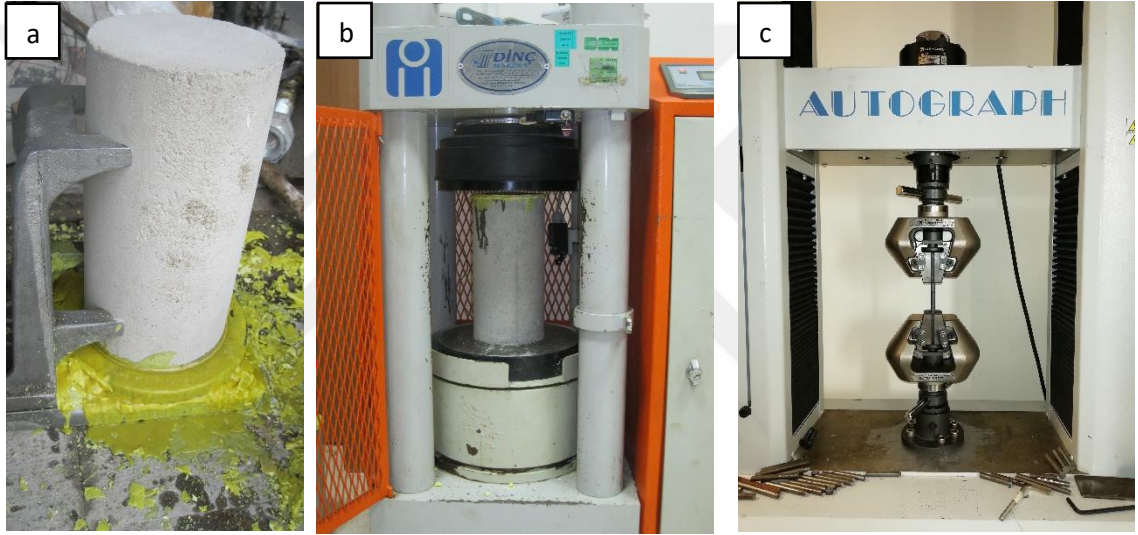
	28 günlük silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları (01.09.2018)		46 günlük silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları (19.09.2018)		108 günlük silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları (20.11.2018)	
	Numune	fc (Mpa)	Numune	fc (Mpa)	Numune	fc (Mpa)
1. Kat	1	7,73	1	7,11	1	6,57
	2	7,13	2	5,86	2	7,73
2. Kat	1	7,64	1	10,47	1	7,70
	2	8,39	2	7,73	2	7,78

Çizelge 3.2. Temeli güçlendirme çalışması yapılarak yapılan ikinci deneyin 1. ve 2. katlarına ait silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları

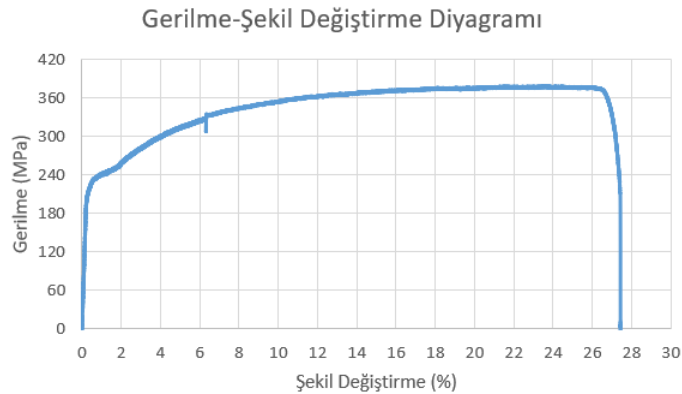
	Silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları (08.05.2019)		Silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları (19.07.2019)	
	Numune	fc (Mpa)	Numune	fc (Mpa)
1. Kat	1	12,15	1	10,66
	2	7,86	2	9,51
2. Kat	1	7,27	1	10,66
	2	10,99	2	10,54

Çizelge 3.1’de verilen 46 günlük silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları, 20 Eylül 2018 tarihinde yapılan binanın duvarlı halinin ivme ölçümlerine; 108 günlük silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları ise 8 Kasım 2018’de yapılan ÇÇ’li BEÇÇ’siz ölçümlerine, 10-11 Kasım 2018’de yapılan ÇÇ’li BEÇÇ’li ölçümlerine ve 14 Kasım 2018’de yapılan hidrolik piston yardımıyla yatay kuvvet uygulandıktan sonra hasarlı binada yapılan ivme ölçümlerine referans olması için verilmiştir.

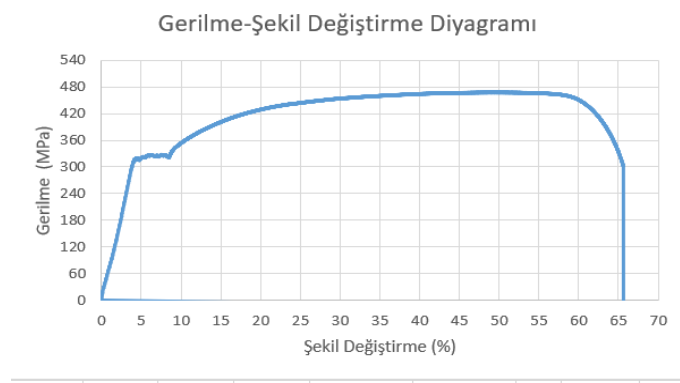
Çizelge 3.2’de verilen 8 Mayıs 2019 tarihli silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları, 2 Mayıs 2019 tarihinde yapılan binanın duvarlı halinin ivme ölçümlerine; 19 Temmuz 2019 tarihli silindir numune beton basınç dayanımı sonuçları ise 8 Temmuz 2019’de yapılan ÇÇ’li BEÇÇ’siz ölçümlerine, 10 Temmuz 2019’de yapılan ÇÇ’li BEÇÇ’li ölçümlerine ve 19 Temmuz 2019’de yapılan hidrolik piston yardımıyla yatay kuvvet uygulandıktan sonra hasarlı binada yapılan ivme ölçümlerine referans olması için verilmiştir.



Şekil 3.3 a) Silindir numunelere kükürt başlık yapılması **b)** Silindir numunelerin basınç dayanım testi **c)** Deney elemanında kullanılan donatıların çekme testi



Şekil 3.4 Betonarme yapıda kullanılan enine donatının Gerilme-Şekil Değiştirme diyagramı(nervürlü $\phi 4$)



Şekil 3.5 Betonarme yapıda kullanılan boyuna donatının Gerilme-Şekil Değiştirme diyagramı (nervürlü $\phi 8$)



Şekil 3.6a ve Şekil 3.6b Yetersiz sayı ve nitelikteki etriyeler



135 derece yerine 90 derece bükülmüş etriyeler

Kolon ve kirişlerde yetersiz sargı varken Kolon-Kiriş birleşiminde sargı bulunmamaktadır

Şekil 3.7 Yetersiz filiz boyu

Şekil 3.8 Sargısız kolon-kiriş birleşimi

$$\rho_{\text{kolon}} = \frac{4 \times \frac{\pi \times D^2}{4}}{150 \times 150} = 0,009 < 0,01 \quad (3.1)$$

(TS 500-2000'e göre kolonlarda minimum donatı oranı 0,01)

$$\rho_{\text{kiriş}} = \frac{6 \times \frac{\pi \times D^2}{4}}{150 \times 200} = 0,01 \quad (3.2)$$

Kolon ve kiriş kesitleri sırasıyla 150mmx150mm ve 150mmx200mm olarak belirlendi. Boyuna donatı olarak kolonlarda 4Φ8 ve kirişlerde 6Φ8 düz donatı kullanıldı. Boyuna donatı detayı ile birlikte güçlü kiriş-zayıf kolon uygulaması yapıldı. Kolonlar ve kirişler için kullanılan etriye 4mm çapında düz donatı kullanıldı. Etriye aralıkları kolon ve kirişler için 100 mm seçildi. Etriye kancaları olması gerektiği gibi 135 derece değil 90 derece büküldü. Kolon-kiriş birleşiminde etriye konulmadı. Yapının birinci katında sadece dış orta açıklığa tuğla duvar örülürken ikinci katta ise bütün dış açıklıklara tuğla duvar örüldü. Ayrıca yapı içerisinde döşemeye her kat için her biri 25kg olan 300 kum torbası toplamda 600 kum torbası konularak kolonların eksenel yükleri arttırıldı. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) 7.3.1.2 başlığı altında verilen 3.3 denklemi kullanılarak en elverişsiz kolon için eksenel yük oranı %26 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanlarının aks açıklıkları ve kat yüksekliği laboratuvar imkanları da dikkate alınarak belirlendi.

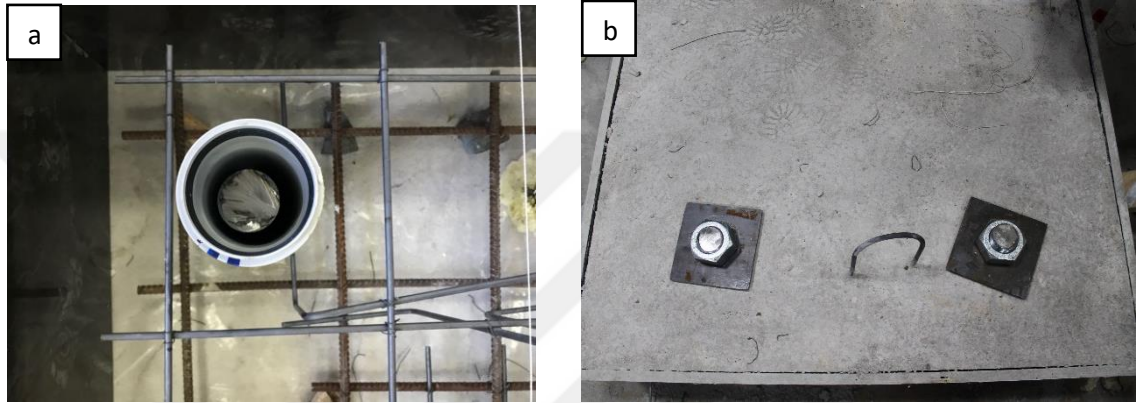
$$A \geq N_{\text{dm}} / (0,40f_{\text{ck}}) \quad (3.3)$$

Betonarme binanın inşası ve deney düzeneğinin kurulabilmesi için öncelikle laboratuvar ortamı uygun hale getirilmiştir. Sonrasında yapının temel kalıpları çakıldı ve donatıları yerleştirildi. Kolon boyuna donatı filizleri yerleştirildi. TBDY 2018'e göre kolonlarda düz donatı bindirme boyu en az 40φ'dir. Fakat temelde bırakılan kolon filizlerinde ve ikinci kat kolon filizlerinde kolon boyuna bindirme boyu 20φ alınmıştır. Bu da 16cm'ye karşılık gelmektedir. Şekil 3.7'de görülmektedir. Şekil 3.9'te görüldüğü gibi dış açıklıklardaki temeller 100cm-150cm boyutlarında tekil temel, orta açıklık ise 100cm-250cm boyutlarında sürekli temel olarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.9 Laboratuvar koşullarına göre boyutlandırılmış temellerin imalatı

Bina temelleri güçlü rijit döşemeye $\phi 50$ 'lik gijonlar yardımıyla bağlanmıştır (Şekil 3.10). Bu gijonlar Şekil 3.7'de görüldüğü gibi deney sonrası hasar alan temelin laboratuvar dışına atılmasında kolaylık sağlaması için dökülecek temel betonuyla birlikte çalışmasını engellemek için yağlanmış, streç filmle sarılmış ve temel içerisinde kalacak kısmı pvc boru içine yerleştirilmiştir. Daha sonra temel betonu dökülmüş ve Şekil 3.10a-b'deki halini almıştır. Kolon, kiriş ve döşeme kalıpları sac levhalardan üretilmiştir. Kolon donatıları temel filizlerine bağlandıktan sonra kalıp kurulumu yapıldı. Kiriş ve döşeme donatıları yerleştirilmiştir. Daha sonra Çizelge 3.3'te belirtilen karışım oranına sahip beton Şekil 3.12a'daki 0,25 m³ kapasiteli beton mikserinde hazırlanmış ve elle dökülmüştür. Benzer işlemler ikinci kat için de tekrarlanmış ve betonarme binanın taşıyıcı sisteminin imalatı tamamlanmıştır.



Şekil 3.10 Bina temelinin güçlü rijit temele sabitlenmesinde kullanılan gijonlar **a)**Deney sonrası gijonların sökülebilmesi için kullanılan pvc boru **b)** Somunlarla sabitlenmiş gijonlar



Şekil 3.11 Temel betonu dökümü sonrası **a)**Yeni dökülmüş beton ve kolon filizleri **b)**Filizlere bağlanmış kolon donatıları

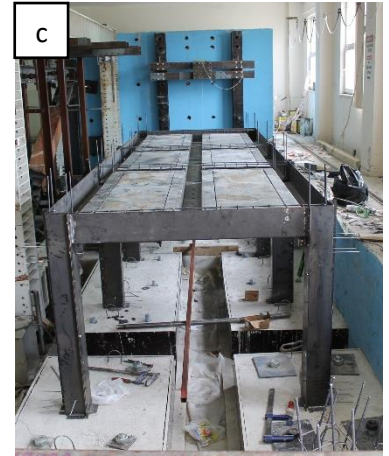
Çizelge 3.3. Deney elamanlarının kat betonlarında kullanılan beton karışım hesabı

Karışım	Ağırlık(kg)	Oran(%)
Çimento	50	10,9
Su	50	10,9
0-3 mm agregası	140	30,4
3-7 mm agregası	220	47,8



Şekil 3.12 Kat betonlarının hazırlanması **a)** 0,25 m³ kapasiteli betonyer **b)** Hazırlanan betonun hem istenilen işçilik kusurlarının oluşması hem de laboratuvar imkanları doğrultusunda elle dökülmesi

Betonarme binanın imalatının aşamaları daha önce anlatılmıştı. İmalat aşamalarına ait görseller Şekil 3.13 , Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Kalıp kurulum aşamaları **a)**Kolon kalıpları **b)**Kiriş kalıpları **c)**Döşeme kalıpları ve kalıp kurulumunun tamamlanması



Şekil 3.14 Betonarme sistemin imalat evreleri **a)** Döşeme donatılarının yerleştirilmesi **b)** Beton dökümü esnasında uygulanan vibrasyon işlemi **c)** Birinci kat beton döküm işleminin tamamlanması **d)** Hazırlanan betondan numune almak için hazırlanan silindirik numune kalıpları **e)** Alınan numuneler **f)** İkinci kat kolon filizlerinin bağlanması **g)** İkinci kat kaplarının kurulması **h)** İkinci kat donatıları **i)** İkinci kat beton dökümü



Şekil 3.15 Betonarme sistemin imalat aşamaları **a)** Kalıpların söküm işlemi **b)** Kalıpların söküm işlemi **c)** Deney esnasında hidrolik pistondan uygulanan kuvvetin kat döşemesine eşit olarak aktarılmasını sağlayarak rijit diyafram etkisi veren U profillerin döşemeyle adanansını sağlaması için tamir harcı uygulaması **d)** U profiller **e)** Temsili yük olarak her biri 25kg olan kat başına 300şer çuvalın yüklenmesi **f)** Tuğla duvar örülme aşaması **g)** Sıva aşaması **h)** Badana sonrası deney elamanının betonarme kısmının nihai hali

3.2 Betonarme Binanın BEÇÇ'ler ile Güçlendirilmesi

İnşa edilen betonarme bina, tezin amacı doğrultusunda dış güçlendirme metodu kullanılarak BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme çalışması sadece orta açıklıkta yapılmıştır. Orta açıklığa tasarımı daha önce yapılan çelik kolon ve kirişler dıştan ankrajlarla bağlanmıştır. Oluşturulan çelik çerçeveye BEÇÇ elamanları bağlanmıştır. Çelik çerçeve tasarımı ile ilgili detaylı hesaplar 116M231 numaralı TÜBİTAK projesi (Özçelik 2017) kapsamında yapılmıştır.

3.2.1 Çelik Çerçeve Montaj Aşamaları

Çelik çerçeveyi oluşturan kolonların hem betonarme çerçevenin kolonlarına hem de bina temeline ankrajlanmıştır. Bu durum çelik kolonların montajında zorluk oluşturacağından dolayı çelik kolonlar 495mm ve 2538mm olmak üzere iki ayrı parça olarak tasarlanmıştır. Montaja taban plakalarının bina temeline ankrajlanmasıyla başlanmıştır. Ankraj çapı $\phi 12$ ve ankraj derinliği 250 mm olarak belirlenmiştir. Ankraj işlemi için taban plakasından alınan şablona göre bina temeline delikler açılmıştır. Açılan delikler, epoksi-beton-ankraj çubukları arasındaki aderansın daha sağlıklı olması için vakum ve hava kompresörü yardımıyla temizlenmiştir. Ankraj deliklerine epoksi enjekte edilerek ankraj çubukları yerleştirilmiştir. Daha sonra 495mm boyundaki kolon-taban plakası, betonarme temeldeki ankrajlara monte edilmiştir. Ardından ikinci kolon parçası 8.8 bulonlar kullanılarak kolon parçaları birbirine montajlanmıştır. Kolon kiriş birleşimleri ise 10.9 bulonlarla yapılmıştır. Kolon ve kirişlerin bağlantısı tamamlanınca BEÇÇ'lerin monte edileceği çelik çerçeve şekil 3.16'deki halini almıştır.

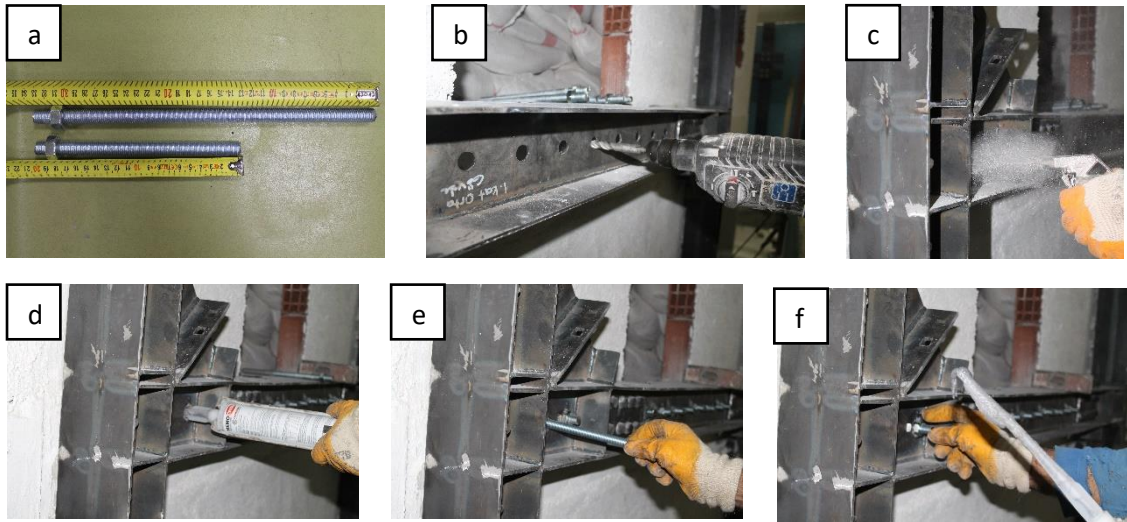


Şekil 3.16 BEÇÇ'lerin monte edileceği çerçevelerin tamamlanmış montajı **a)** Hidrolik pistona göre binanın sağ tarafı **b)** Hidrolik pistona göre binanın sol tarafı

Çelik çerçeveyi oluşturan kolon ve kirişlerin betonarme binayla birlikte çalışmasını sağlayacak ankrajların çapı $\Phi 14$ seçilirken ortalama ankraj aralığı 75mm olarak belirlendi. Ankraj derinliği ise kolonlarda 100 mm iken kirişlerde 200 mm olarak belirlendi. Matkap yardımıyla 16 mm çapında açılan delikler vakum ve hava kompresörü yardımıyla güzelce temizlendi. Temizlenen deliklere epoksi enjekte edilip daha önceden hazırlanan tijler yerleştirilmiştir. Çelik kolon montajında kullanılacak ankrajlar betonarme kolonun merkezine uygulandı. Çelik kiriş montajında kullanılacak ankrajlar ise betonarme binanın döşemesi ortalanacak şekilde uygulandı. Kimyasal dübel olarak kullanılan epoksi donduktan ankraj tijlerine bulon takılıp ön germe uygulanmıştır. Böylece çelik çerçeve montajı tamamlanmış ve kusurlu betonarme bina ve çelik güçlendirme çerçevesinin birlikte çalışması sağlanmıştır. Şekil 3.17’te ankrajlama işlemleri detaylı şekilde gösterilmiştir. Son olarak çelik çerçevede kullanılan kolon ve kiriş profilleri I kesit olduğu için betonarme yapı ile I kesit gövde bölgesinde bir boşluk oluşmuştur. Bu boşluğa beton doldurularak hem ankraj tijlerinin boşlukta kalan kısımlarında betonla adanans sağlanmış hem de deney anında ankraj tijlerinde oluşacak ek kesme kuvveti istemleri önlenmiştir. Ara boşluğa dökülen beton C20 kalitesinde olup beton karışım hesabı Çizelge 3.4’te verilmiştir.

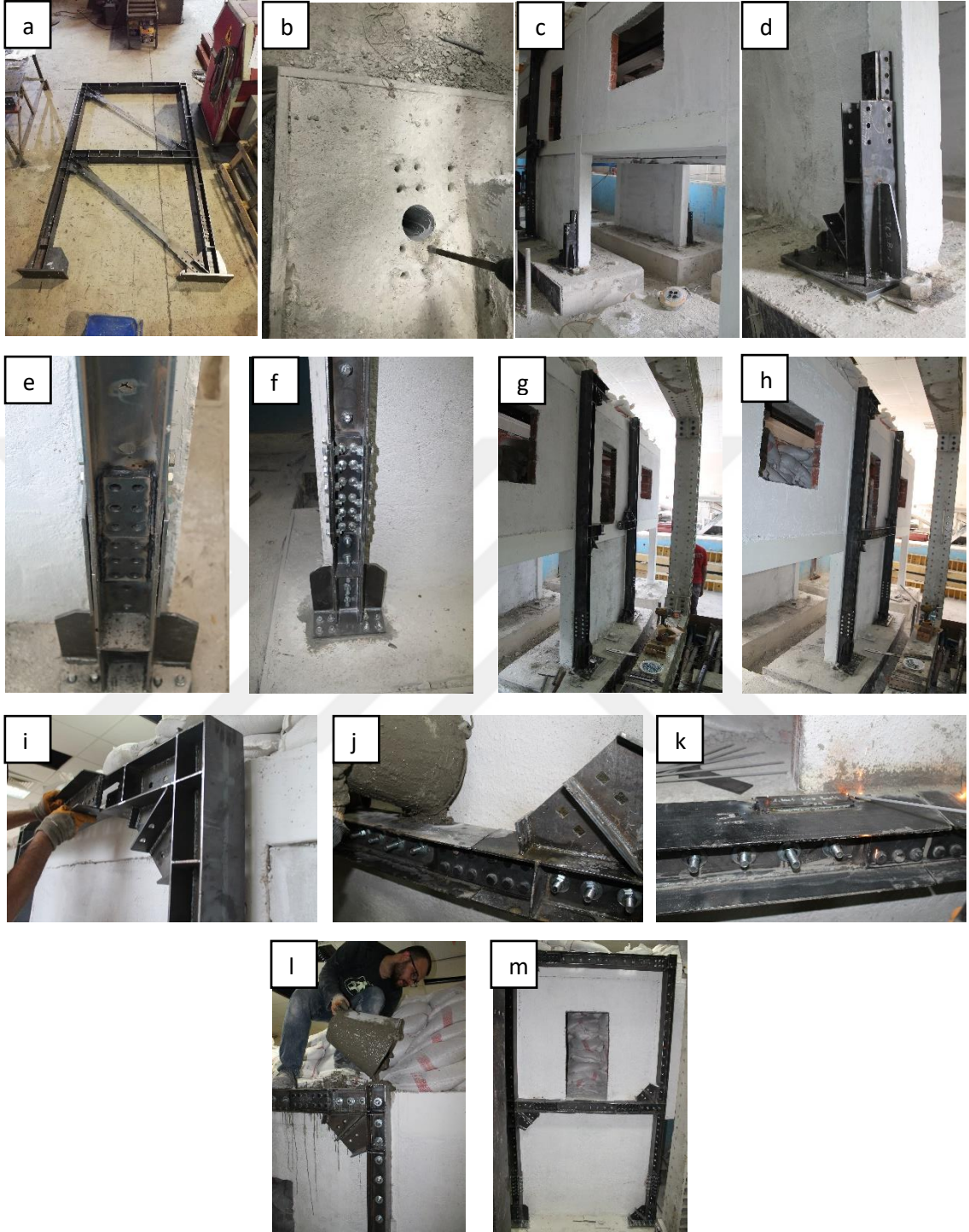
Çizelge 3.4. Güçlendirme sonrası betonarme deney elemanı ile güçlendirme çerçevesi arasındaki boşluğu doldurmak için kullanılan betonun karışım hesabı

Karışım	Ağırlık	Oran(%)
Çimento	54	18,4
Su	22	7,5
0-3 mm agrega	132	45,1
3-7 mm agrega	84	28,7
Katkı	0,7	0,2

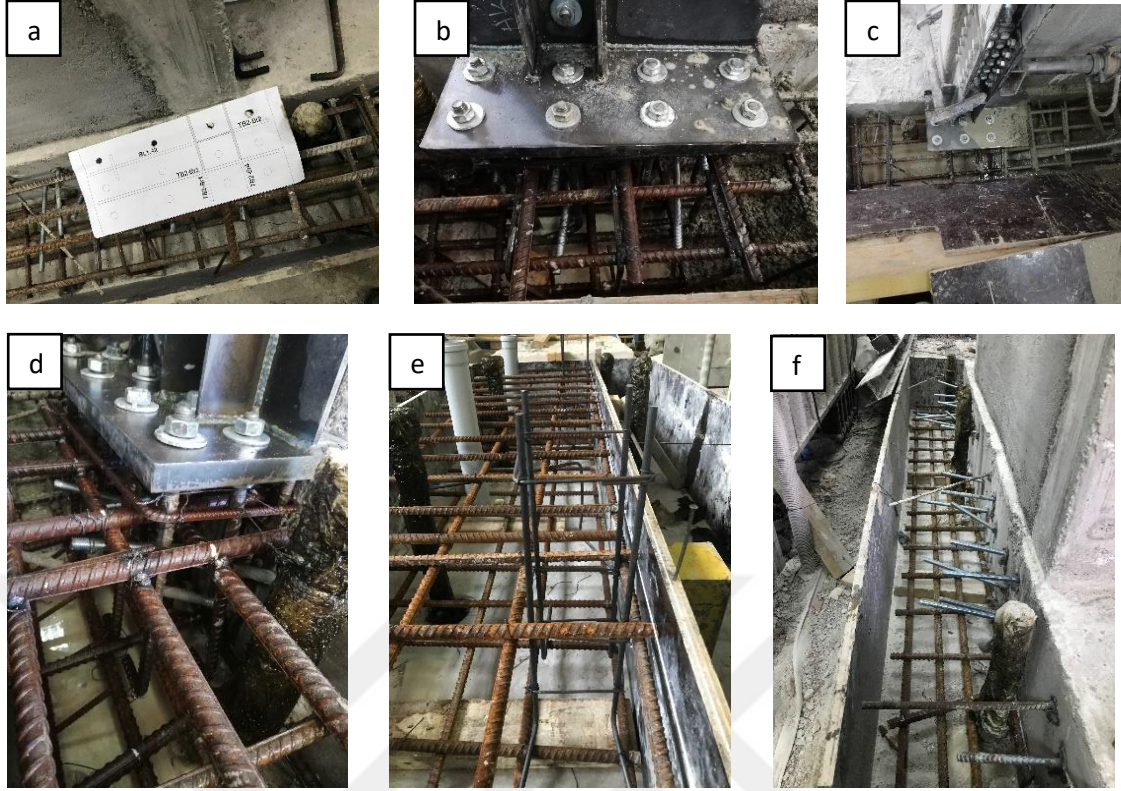


Şekil 3.17 Çelik çerçevenin betonarme binaya ankrajlanması **a)** Kolonlarda kullanılan 20cmlik ve kirişlerde kullanılan 33cmlik tijler **b)** Matkap yardımıyla 16mm çapında delikler açılması **c)** Açılan deliklerin basınçlı havayla temizlenmesi **d)** Temizlenen deliklere kimyasal dübel doldurulması **e)** Tijlerin kimyasal dübel sıkılan deliklere yerleştirilmesi **f)** Yerleştirilen tijlerin somunlarının takılması

Çelik çerçevenin montaj aşamaları Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Çelik çerçevenin montaj aşamaları **a)** Çerçevenin kontrol amaçlı yerde birleştirilmesi **b)** Pabuçları oturtmak için tij deliklerinin açılması (temel güçlendirilmesi yapılmayan deney) **c)** Pabuçların oturtulması **d)** Pabuçların oturtulması **e)** Kolonların pabuçlara oturtulması **f)** Kolon pabuç birleşiminin yapılması **g)** Kolon birleşiminin tamamlanması **h)** Kiriş birleşimlerinin yapılması **i)** Kiriş birleşimlerinin yapılması **j)** Kiriş ara betonunun dökümü **k)** Beton dökümü sonrası döküm için yapılan kapakların kaynatılması **l)** Kolon ara betonunun dökümü **m)** Birleşim sonrası genel görünüm



Şekil 3.19 Temel güçlendirmesi yapılan deneydeki taban plakası yerleşimi ve temel betonu dökümü **a)** Taban plakası tijlerinin yerlerinin belirlenmesi **b)** Donatısı yerleştirilmiş taban plakası tijleri oturtulmuş temel **c)** Beton döküm esnasında taban plakasının kaymaması için sabitlenmesi **d)** Taban plakası tijleri , donatı ve gijon detayı **e)** temel güçlendirilmesi yapılacak temel ile normal bina temelinin plywoodla ayrılması **f)** Mevcut bina temeliyle güçlendirilmiş temelin birlikte çalışması için yapılan ankraj uygulaması

3.2.2 Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz Elamanlarının Üretimi ve Montajı

Bu tezde kullanılan BEÇÇ modeli tez danışmanının daha önce başarıyla tamamlamış olduğu ‘Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazların Geliştirilmesi ve Betonarme Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesinde Kullanımının Araştırılması’ isimli 112M820 numaralı TÜBİTAK projesinde geliştirilen Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz modellerinden biridir. Deneyde kullanılacak BEÇÇ tasarımıyla ilgili detaylı bilgi 116M231 numaralı TÜBİTAK projesinin sonuç raporlarında mevcuttur (Özçelik 2017).

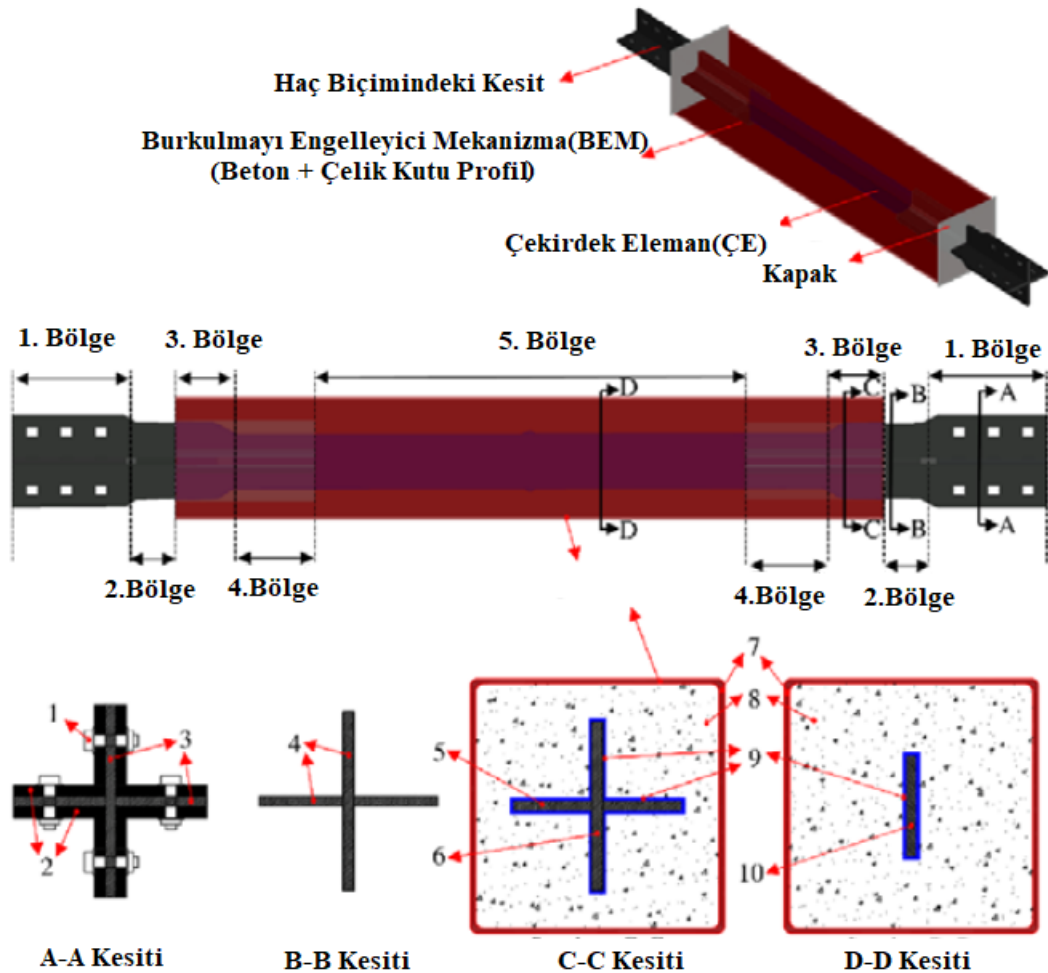
3.2.2.1 Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz Elemanlarının Üretimi

Çelik çerçeveye montajlanacak BEÇÇ'ler üç tipten oluşmak üzere dört bölgeye sahiptir. Bunlar bölge bölge aşağıda belirtilmiş ve kısaca açıklanmıştır.

Burkulması engellenmemiş elastik kısım (1. ve 2. Bölge) , BEÇÇ elemanın bayrak levhasına bağlantısını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu kısım çekme basınç kuvvetleri altında elastik davranış göstermektedir.

Burkulması engellenmiş elastik kısım (3. Bölge), burkulması engellenmemiş elastik kısım ile çekirdek eleman arasında kalan geçiş bölgesidir.

Burkulması engellenmiş plastik kısım (4. ve 5. Bölge) ise BEÇÇ elemanlarında aksenal yükün taşındığı ve bu yüke bağlı olarak plastikleşmesi beklenen ve çekirdek eleman olarak ifade edilen kısımdır.



Şekil 3.20 1-Bağlantı bulonu 2-Ek plakalar 3-4-BEÇÇ elemanın haç(+) biçimindeki kesiti 5- Bağlantı plakası(kulak) 6- Çekirdek eleman(ÇE) 7-Çelik kutu profil 8-Beton(Beton+Çelik kutu profil=Burkulmayı Engelleyici Mekanizma(BEM)) 9-ÇE ve Betonun adenansını önlemek için boşluk veya yalıtım malzemesi 10-Çekirdek Eleman(ÇE) (Erdil vd. 2019’dan adapte edilmiştir.)

Burkulmayı engelleyici mekanizma için 120x120mm ebatlarında 3mm kalınlığına sahip çelik kare kutu profil ve C20 kalitesinde beton kullanılmıştır. Kullanılan betonun karışım hesabı çelik çerçeveye kusurlu bina arasındaki boşluğa dökülen betonla aynı olup Çizelge 3.4'te verilmiştir. BEÇÇ modellerinde Çekirdek Eleman ve Burkulmayı Engelleyici Mekanizma arasındaki boşluk 2mm olarak tasarlanmıştır. BEÇÇ elemanlarla ilgili detaylı çizimler şekil 20'de görülmektedir. Ayrıca Çizelge 3.5'te birinci ve ikinci katlarda kullanılacak BEÇÇ'lerin en kesiti ve uzunlukları detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.5. BEÇÇ'lerin kalınlık ve uzunlukları

BEÇÇ'in binadaki konumu	ÇE Alanı(mm ²)			T _{ÇE} (mm)	H ₁ (mm)
	A-A kesiti	B-B kesiti	D-D kesiti		
1.Kat	762	600	420	6	70
2.Kat	762	600	300	6	50

BEÇÇ'in binadaki konumu	H ₂ (mm)	H ₃ (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)
1.Kat	100	127	1632	1256	1071
2.Kat	100	127	1615	1248	1055

Burada T_{ÇE} çekirdek elamanın kalınlığı , H₁ D-D kesitindeki kalınlık , H₂ B-B kesitindeki kalınlık ,H₃ A-A Kesitindeki kalınlık , L₁ BEÇÇ elemanın toplam uzunluğu , L₂ 3. 4. ve 5.Bölgelerin uzunluğu, L₃ 4. ve 5.Bölgelerdeki uzunluğu ifade etmektedir.

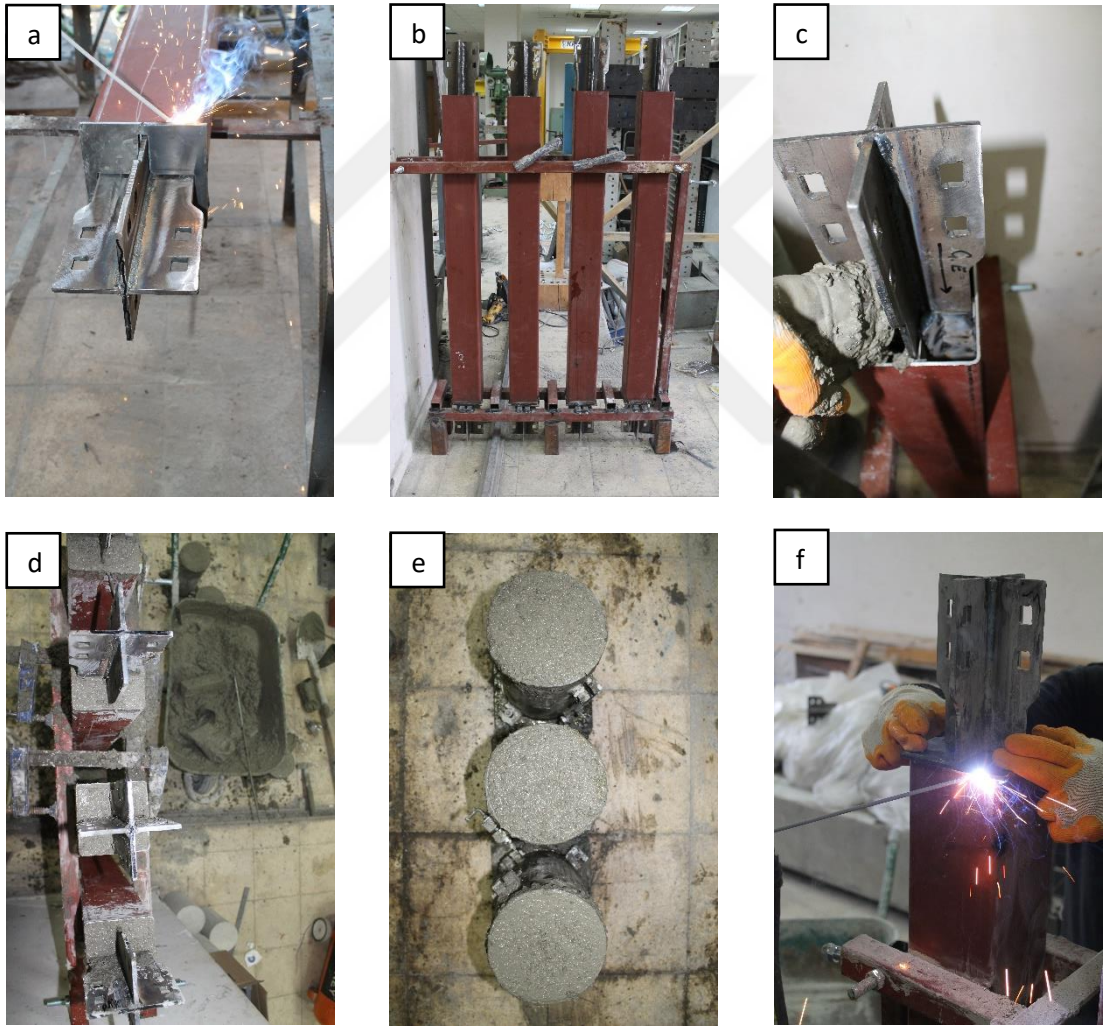
BEÇÇ elemanların üretimine çekirdek elemanların iki ucuna yüzeyine dik olarak iki plakanın kaynatılmasıyla başlanmıştır. Bu kısım burkulması engellenmemiş(1. ve 2. Bölge) ve burkulması engellenmiş(3. Bölge) elastik kısımlara tekabül etmektedir. İzolasyon malzemesi olarak 2mm kalınlığında kauçuk malzeme burkulmayı engelleyici mekanizma içerisinde kalan 3. ve 4. Bölgelerdeki çekirdek elemana ve kaynatılan ek plakalara yapıştırılmıştır. Daha sonra yapıştırılan kauçuk malzeme izobantla sarılmıştır. Böylece kauçuk malzemenin, burkulmayı engelleyici mekanizma içerisine konulurken ve beton dökülürken göreceği muhtemel zararlar önlenmiştir.

BEÇÇ elemanlarda kullanılan kızak sisteminin imalatı Şekil 3.21d ve 3.21e’de görülmektedir. BEÇÇ elemanlarda kutu profil yerine kullanılan kızak sistemi sayesinde diğer sistemlere göre malzeme tasarrufu ve imalat kolaylığı sağlanmıştır. Kızak sistemini oluşturan plakalara silikon sıkılmıştır. Böylelikle dökülecek betonun sistemin içerisine girmesinin önüne geçilmiştir. İmalatı tamamlanmış kızak sistemin çekirdek eleman üzerindeki hali Şekil 3.21f ve 3.21g’de görülmektedir.



Şekil 3.21 BEÇÇ eleman izolasyon ve kızak sistemi yapımı **a)** İzolasyon malzemesinin ÇE’na yapıştırılması **b)** ve **c)** İzolasyon malzemesiyle kaplanmış ÇE’ler **d)** ve **e)** Kızak sistemin yapım aşamaları **f)** ve **g)** Kızak sisteminin imalatının tamamlanmış hali

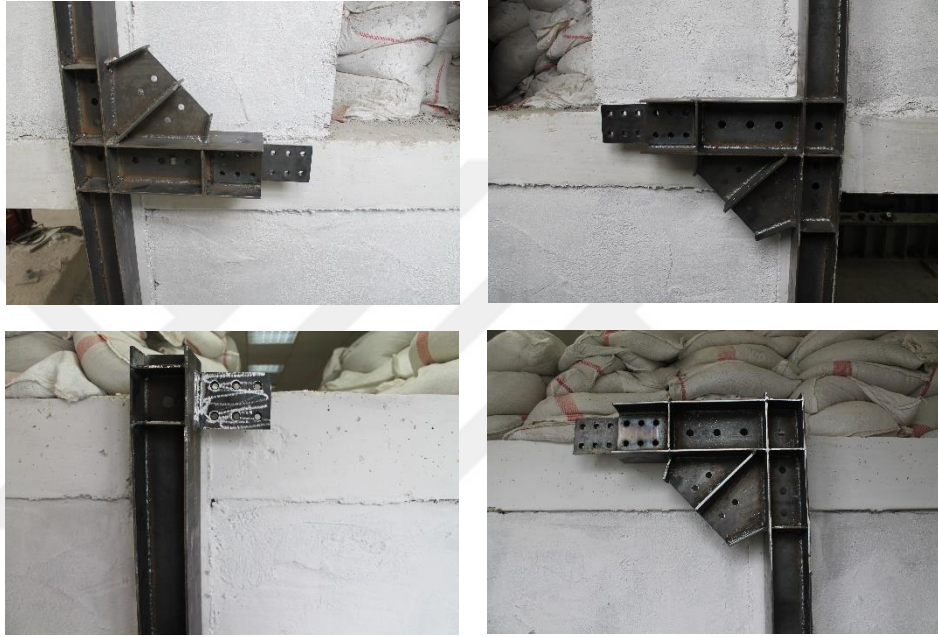
Çekirdek elemanın iki ucuna da kızak sistemi yapıldıktan sonra çekirdek eleman burkulmayı engelleyici mekanizma olarak kullanılan 120x120x3 mm'lik kutu profil içerisine konulmuştur. Çekirdek elemanın kutu profili ortalayacak şekilde sabitledikten sonra kutu profilin bir ucuna 5mm kalınlığında olan çekirdek elemanın hareketini engellemeyecek şekilde tasarlanan iki parçadan oluşan kapak Şekil 3.22a'da gözüktüğü gibi kaynatılmıştır. BEÇÇ'lerin beton dökümünü hızlandırmak ve kolaylaştırmak için aynı anda dört BEÇÇ'in beton dökümüne imkan sağlayan bir sistem düşünülmüştür. Daha sonra BEÇÇ elemanları kaynatılan kapaklar aşağı gelecek şekilde dikey olarak Şekil 3.22b'deki gibi yerleştirilmiştir. Burkulmayı engelleyici mekanizma olacak olan beton döküm işlemi yapılmıştır. Beton prizini aldıktan sonra BEÇÇ elemanları temizlenip diğer uçtaki kapaklar da kaynatılmıştır. Bu işlemden sonra BEÇÇ elemanların imalat süreci tamamlanmıştır.



Şekil 3.22 BEÇÇ elemanların imalat süreci **a)** Beton dökümü öncesi BEÇÇ elemanların bir ucunun kapaklarının kaynatılması **b)** Beton dökümü için BEÇÇ elemanların dik pozisyona getirilmesi **c)** BEÇÇ elemanlarda Burkulmayı engelleyici mekanizma olarak kullanılan betonun dökümü **d)** Beton döküm sonrası **e)** Beton dökümünde alınan numuneler **f)** Üst kapakların kaynatılmasıyla BEÇÇ imalatının tamamlanması

3.2.2.2 Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz Elemanlarının Montajı

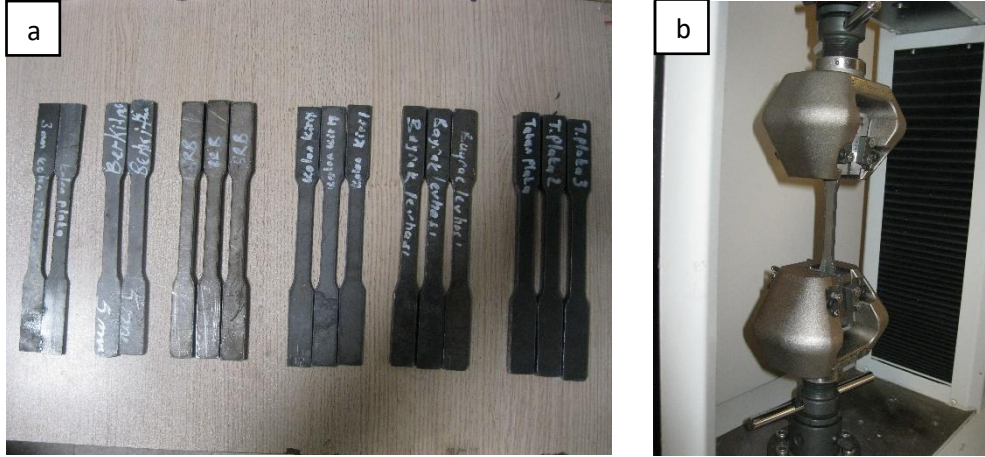
İmalat süreci tamamlanan BEÇÇ'ler çelik çerçevelere montaja hazır hale gelmiştir. Bağlantı kolaylığı açısından hem BEÇÇ elemanlara hem de bayrak levhasına slot delikler açılmıştır. BEÇÇ'ler ve çelik çerçevedeki bayrak levhaları arasındaki bağlantı 10.9 M12 yüksek mukavemetli bulonlarla (HV bulon) yapılmıştır ve bu bulonlar 125 N.m kuvvetle tork anahtarı yardımıyla sıkılmıştır. Daha sonra BEÇÇ'ler üzerinde deplasman ölçerler için çeşitli aparatlar kaynatılmıştır. Böylelikle BEÇÇ'lerin çelik çerçeveye montajı da tamamlanmış oldu. BEÇÇ'li çelik çerçevelerin montajdan sonraki son hali şekil 3.24c'de görülmektedir.



Şekil 3.23 BEÇÇ elemanların montajının yapılacağı bayrak levhaları



Şekil 3.24 BEÇÇ elemanların montajı a) Montajda uygun ön germe kuvvetinin uygulanabilmesi için kullanılan tork anahtarı b) İkinci kat BEÇÇ montajı c) Montaj sonrası son durum



Şekil 3.25a ve 3.25b BEÇÇ'ler ile güçlendirme aşamasında kullanılan çelik malzemelerin çekme dayanım testi

Çizelge 3.6 BEÇÇ'ler ile güçlendirilmiş Deney Elemanına Ait Çelik Malzemelerin Mekanik Özelliklerin ortalama değerleri

Çelik malzeme	Akma Dayanımı(MPa)	Kopma Dayanımı(MPa)
Ankraj M12	800	920
Ankraj M14	810	900
Bulon M12 8.8	800	800
Bulon M12 10.9	900	1000
BEÇÇ	349	505
Çelik Çerçeve	250	328

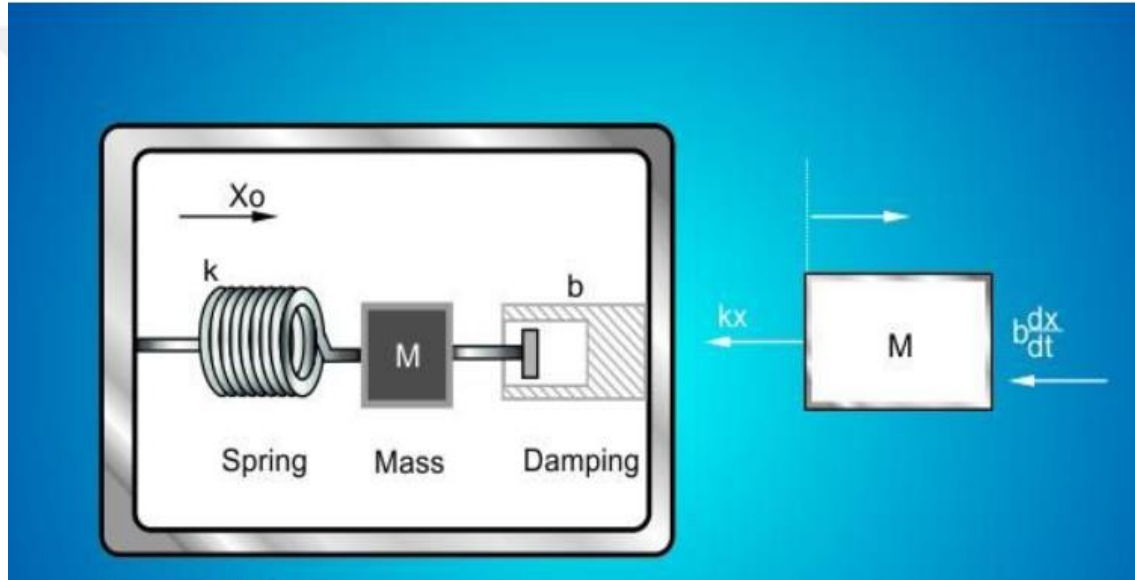
Çizelge 3.7 BEÇÇ elemanlarda BEM olarak kullanılan betonun ve ÇÇ ve Betonarme bina arasındaki boşluğa dökülen (ara beton) beton malzemenin mekanik özellikleri

Beton	Silindir numune no	Basınç Dayanımı(MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı(MPa)
BEM için kullanılan Beton	1	22,27	20,77
	2	20,40	
	3	19,67	
	4	20,74	
Ara beton	1	20,74	20,74

3.3 Yapısal Tanımlama İle İlgili Çalışmalar

Bilindiği gibi hızın zamana göre değişme miktarı ya da hızın zamana göre türevine eşit olan değere ivme denir. Vektörel bir nicelik olduğundan dolayı cismin hem yönünün hem de hızının zamana göre değişimini ifade eder. Dinamiğin temel yasası olarak kabul edilen Newton'un ikinci hareket yasasına göre $a=F/m$ ile ifade edilir. Formüldeki F hareket yönünde uygulanan kuvvet, m ise cismin sahip olduğu kütledir.

İvmeölçer ise belli bir kütlenin sahip olduğu statik veya dinamik ivmesini ölçmeye yarayan bir cihazdır. Her ivmeölçerin içerisinde kütle yay ve sönümleyiciden oluşan bir sistem vardır. Kısaca açıklamak gerekirse şok ve titreşim ölçümleri ivmeölçer içerisinde bulunan konumlandırılmış kütlenin, değişken konumundan faydalanılarak yapılır. Yani bu kütlenin konumunu referans kabul ederek, oluşan değişiklikleri bu referans noktalarıyla kıyaslayarak bulunur.



Şekil 3. 26 İvmeölçer Yay-Kütle-Sönümleyici Sistemi (engineersgarage, accelerometers Erişim tarihi:20 Eylül 2020)

Kullanım yeri ve amacına göre tek eksenli , üç eksenli ivmeölçerler gibi birçok tipte ivmeölçer mevcuttur. Bu tez kapsamında yapılacak ölçümlerde ise Şekil 3.27’da gösterilen Sara Acebox SA10 marka ve modeli 3 eksenli ultra hassas sismik ivmeölçer kullanılmıştır.

Yapısal tanımlamalarda girdi-çıktı ve sadece çıktı olmak üzere iki yöntem vardır. Girdi-çıktı yönteminde hem titreşim için yapıya uygulanan kuvvete hem de yapıya uygulanan bu kuvvet neticesinde yapının göstermiş olduğu tepkinin (ivme, gerilme, deplasman gibi) ölçülmesine ihtiyaç vardır. Fakat sadece çıktı yönteminde yapıya uygulanan kuvvetin ölçülmesine gerek yoktur. Bundan dolayı sadece çıktı yöntemi inşaat mühendisliği uygulamaları için daha uygundur. Çünkü girdi-çıktı yönteminde uygulanan kuvvetlerin güvenilir bir şekilde tespiti için ölçüm yapılacak yapıların ölçüm boyunca kullanıma kapatılması gerekmektedir. Bu da ek maliyet getirmektedir.



Şekil 3. 27 Sara Acebox SA10 marka ve modeli 3 eksenli ultra hassas sismik ivmeölçer

3.3.1 İvmeölçerin Yerleşimi, Ölçümlerin Alınması ve İşlenmesi

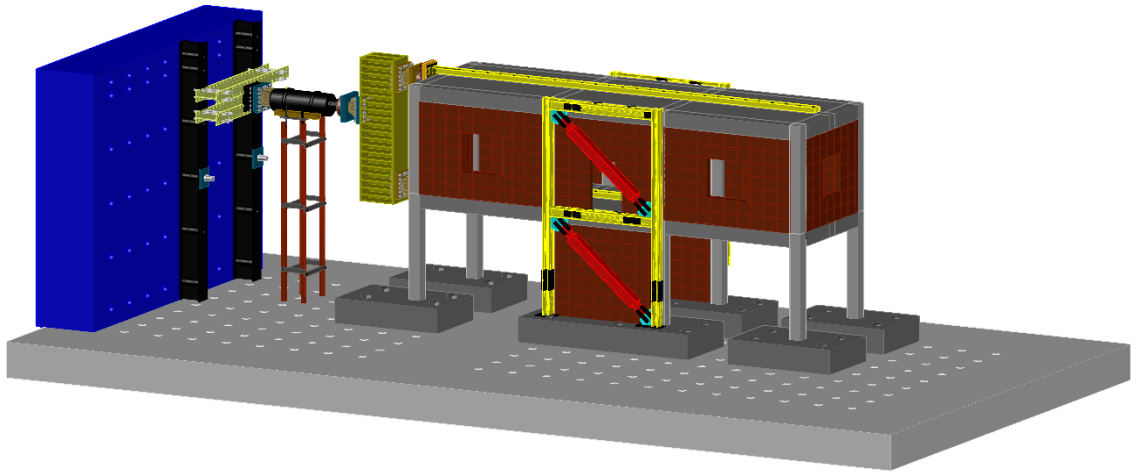
Tez amacı doğrultusunda betonarme yapının belli aşamalarında ölçümler yapılmıştır. Bu aşamaları sıralamak gerekirse;

Betonarme çerçevenin imalatı yapıp tuğla duvarlar örüldükten sonra;

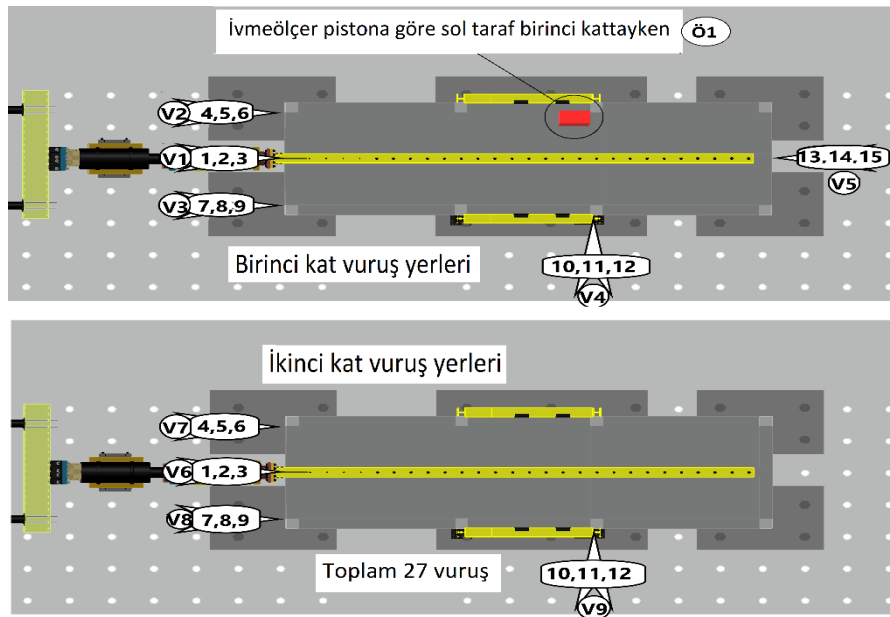
Çelik çerçevelerin montajından sonra;

Çelik çerçevelerle BEÇÇ elamanlarının bağlantısı yapıldıktan sonra;

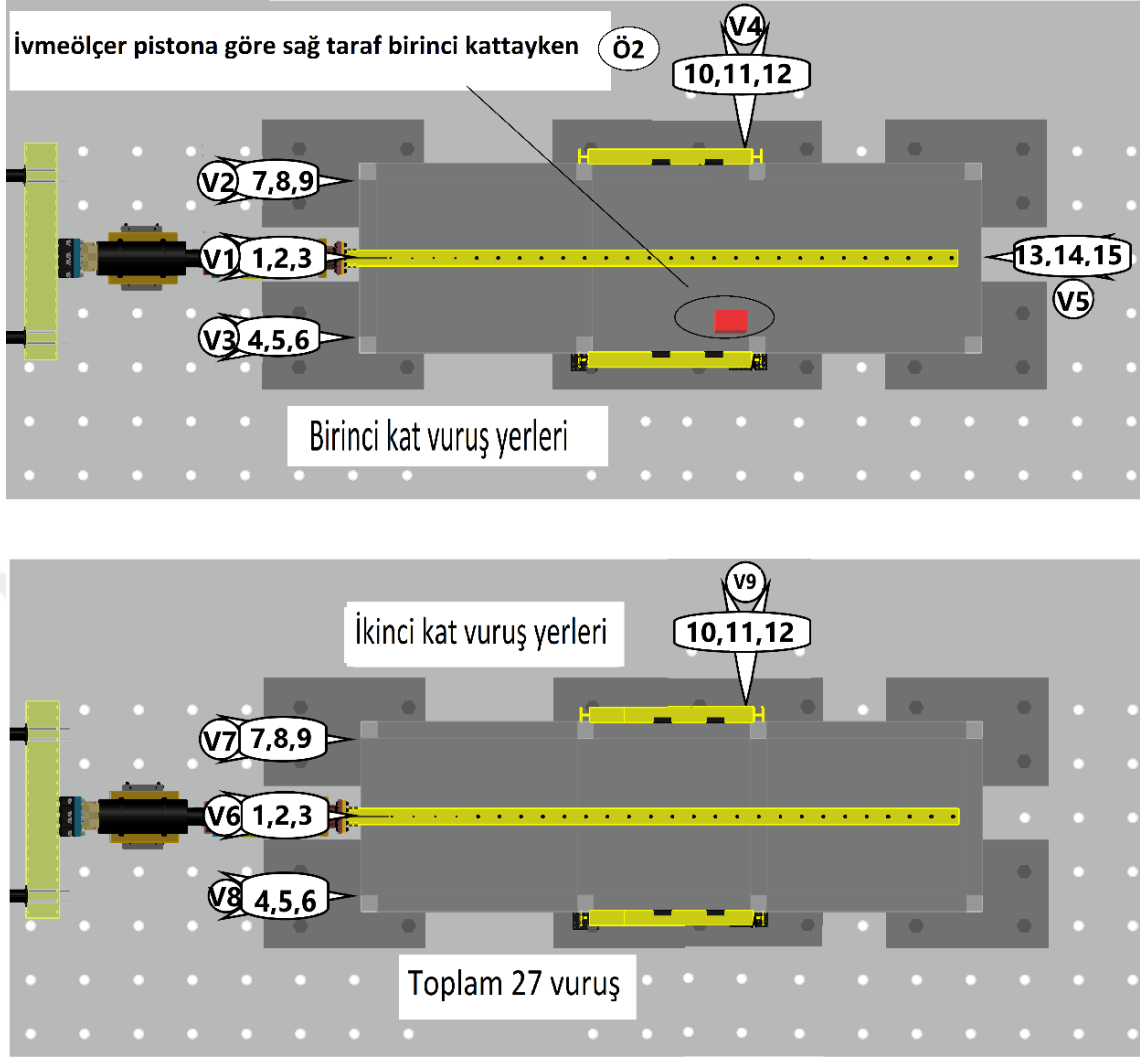
Yapıya hidrolik piston yardımıyla uygulanan yatay kuvvet neticesinde hasar almış yapıda; ivme ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin çokluğundan ötürü her ölçüm esnasında veriler dikkatli bir şekilde kaydedilmiş ve eşzamanlı olarak notlar tutulmuştur.



Şekil 3. 28 Deney Elemanının görünümü(Cam vd. 2019) Çizen: E.F.ERDİL

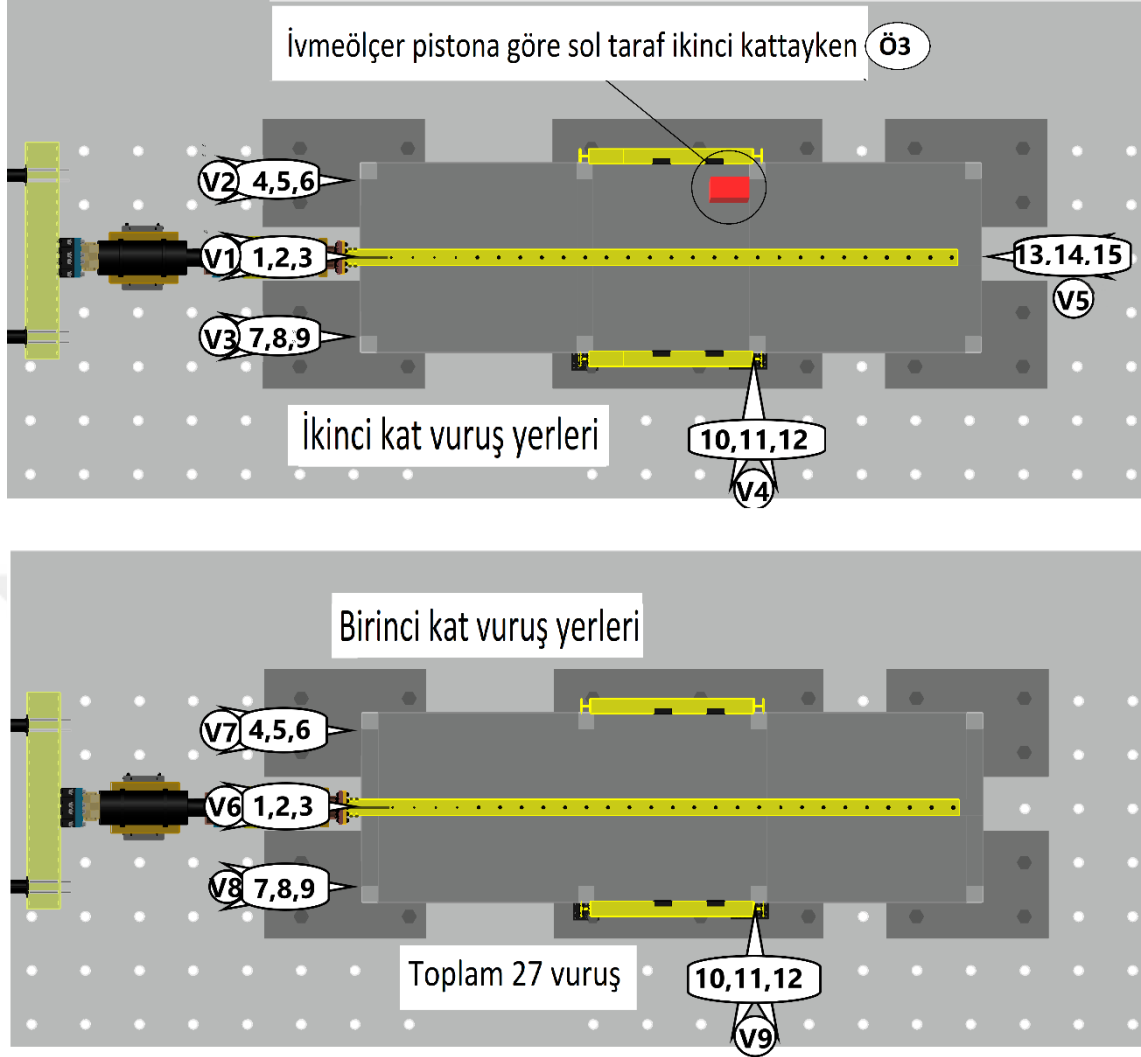


Şekil 3.29 Birinci kat sol taraftan (Ö1) yapılacak ivme ölçümleri için ivmeölçerin konumu ve bu konuma göre tahrik yerleri sayıları ve sırası (Cam vd. 2019'dan adapte edilmiştir.)



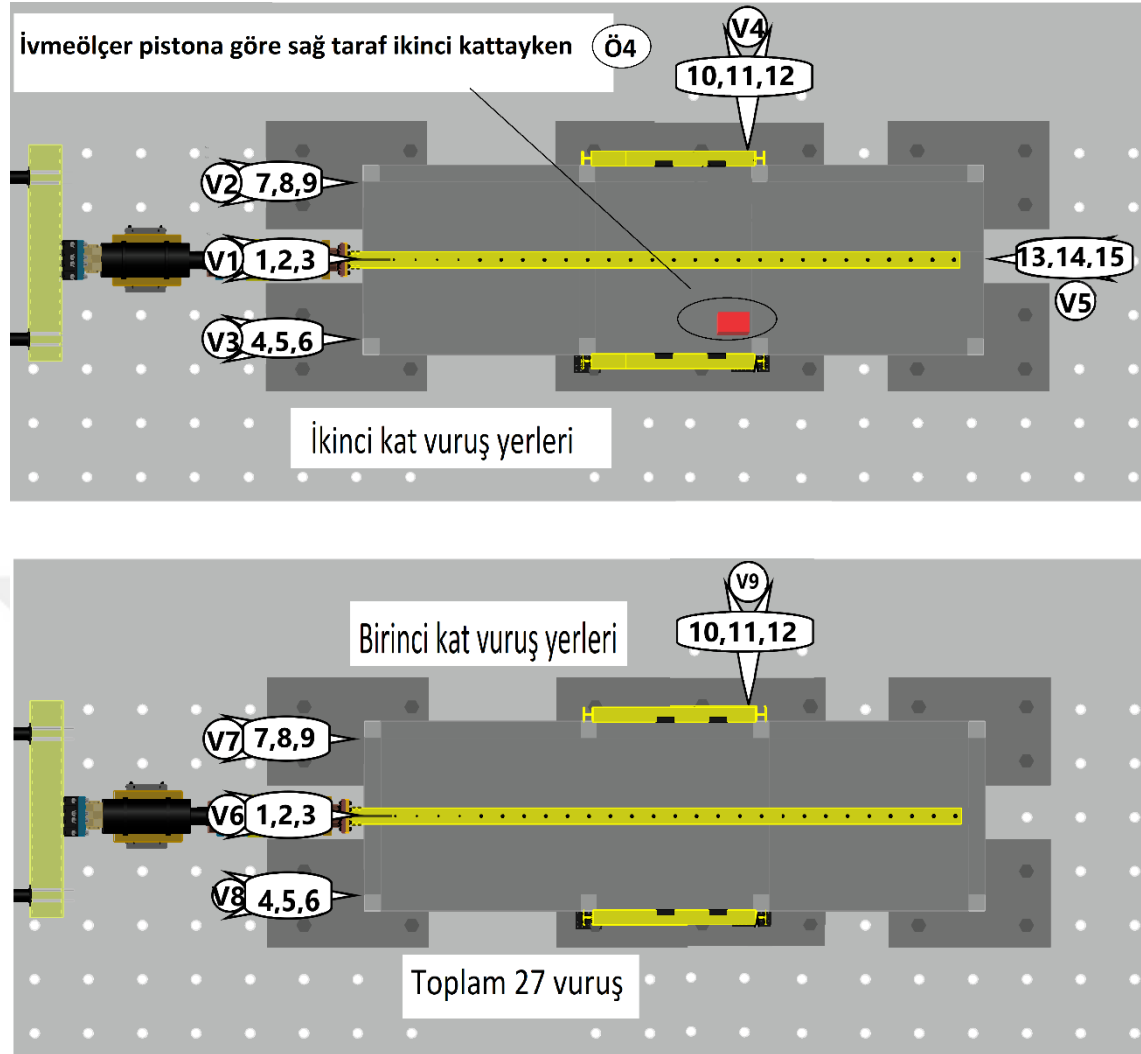
Şekil 3. 30 Birinci kat sağ taraftan (Ö2) yapılacak ivme ölçümleri için ivmeölçerin konumu ve bu konuma göre tahrik yerleri sayıları ve sırası (Cam vd. 2019'dan adapte edilmiştir.)

İlk yapılacak ivme ölçüm öncesinde ivmeölçerin yerleştirileceği yerlerin belirlenmesi, yapılacak vuruş sayısı ve yapılan vuruşlar arası sönümleme için gerekli sürelerin tespiti için ön çalışma ve ölçümler yapılmıştır. Bu çalışma ve ölçümler neticesinde ölçüm yapılacak her aşama için bina içerisinde 4 nokta seçilmiştir. Bu dört noktanın ikisi binanın orta aksının birinci katında kolon giriş birleşimindedir. Ölçüm alınacak diğer iki nokta ise yine binanın orta akstaki kolon giriş birleşiminde olup ikinci kattadır. Ölçümlerin alınacağı dört nokta(Ö1,Ö2,Ö3,Ö4) Şekil 3.29, Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'de gösterilmiştir. Böylece ivmeölçerin yapıdaki konumunun alınacak ivme kayıtlarını, dolayısıyla tespit edilecek periyotları etkileyip etkilemediğini, etkilediyse hangi oranlarda etkileyeceğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3. 31 İkinci kat sol taraftan (Ö3) yapılacak ivme ölçümleri için ivmeölçerin konumu ve bu konuma göre tahrik yerleri sayıları ve sırası (Cam vd. 2019'dan adapte edilmiştir.)

Belirlenen dört ölçüm yerinin her biri için dokuz adet vuruş yeri belirlenmiştir. Vuruş yerlerinin üç tanesi, binanın birinci katın tek açıklıklı tarafının döşeme hizasında kiriş ortasında ve iki uçtaki kolon kiriş birleşimindedir. Bir tanesi üç açıklıklı tarafta ivmeölçerin konumlandırıldığı tarafın karşısındayken diğer bir tanesi diğer tek açıklıklı tarafın kiriş ortasıdır. Geri kalan vuruş yerleri ikinci katta olup belirlenen tüm vuruş yerleri (V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8,V9) Şekil 3.29, Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'de detaylı olarak gösterilmiştir. Belirlenen bu vuruş yerlerinden binaya çekiçe vurularak yapının tahrik edilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen her noktadan yapının üç kez tahrik edilmesine karar verilmiştir. Yani bina toplamda her bir ölçüm için 27 kez çekiçe vurularak tahrik edilecektir. Yapıya çekiçe vurulduktan sonra yapıda oluşacak titreşimin diğer vuruşlarda oluşacak titreşimlerle üst üste binmesini engellemek için her bir vuruştan sonra titreşimin sönümlenmesi için belli bir süre beklenilmesi gerekmektedir. Bu süre için iki dakika yeterli görülmüştür.



Şekil 3. 32 İkinci kat sağ taraftan (Ö4) yapılacak ivme ölçümleri için ivmeölçerin konumu ve bu konuma göre tahrik yerleri sayıları ve sırası (Cam vd. 2019'dan adapte edilmiştir.)

Tüm bu ön çalışma ve tespitlerden sonra ivme ölçüm deneylerine başlanmıştır. Daha önceki başlıklarda betonarme binanın inşası ve sonrasında yapılan güçlendirme çalışmaları detaylı bir şekilde anlatılmıştı. Bu kısımda betonarme binanın inşasında ve güçlendirme çalışmalarında hangi aşamalarda ve nasıl ivme ölçümü yapıldığı anlatılacaktır.

Betonarme binada düşey yük uygulamasına geçmek için birinci ve ikinci kat beton dökümü sonrası binanın bir miktar dayanımını kazanması için bir hafta beklenildi. Bu süre dayanımının %70'ini kazanması için yeterli bir süredir. Ardından düşey yükleme için yapı döşemesine kum torbaları yerleştirildi (Şekil 3.15e). Her kata 7,5 ton almak üzere toplam 15 ton kum yapı döşemesine yerleştirilmiştir.

$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ formülünde **m** kütle **k** rijitlik sabitidir. Bundan dolayı örülecek

duvarın rijitliğe tam olarak etkisini tespit edebilmek için duvar örülmeden önce ve sonraki ölçümlerde kütleyle sabit tutmamız gerekmektedir. Bunun için duvarsız betonarme çerçevedeki ölçümler için koyulan yüklere ek duvar ağırlığını temsilen 1,5 ton yük eklendi. Daha sonra ivmeölçer cihazının bina içerisindeki belirlenen yerlere yerleştirilip ölçüm alınmasına geçildi. Cihazın yerleştirileceği yerin terazide olması ölçümlerin gerçekçi bir şekilde alınması açısından önemlidir. Şekil 3.33'te gözüktüğü gibi ivmeölçerin güç kaynağı, oluşturacağı muhtemel titreşimlerden dolayı yapılacak ölçümlerin etkilenmemesi için binanın dışına konumlandırılmıştır. İvmeölçer belirlenen dört noktaya da bu şekilde yerleştirilerek her birinde 27 vuruş olacak şekilde kusurlu betonarme binanın duvarsız halinin ivme ölçümleri tamamlanmıştır.

Daha sonra duvar ağırlığını temsil eden toplam ağırlığı 1.5 ton olan kum çuvalar alınıp duvar tuğla duvar örülmüştür. Duvar örüldükten sonra belirlenen noktalarda ölçümler tekrarlanmıştır. Yapının duvarlı halindeki ölçümler tamamlandıktan sonra binanın güçlendirme çalışmalarına geçilebilmiştir. Daha önce detaylı bir şekilde anlatılan çelik çerçeve montaj aşamalarından sonra BEÇÇ elemanlarının montajı yapılmadan hemen önce iki adet ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümler hidrolik pistonla göre binanın sol tarafından birinci ve ikinci katlarından yapılmıştır. Bu ölçümlerin tahrik yerleri ve sayıları ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde gösterilecektir. Bu ölçümlerden sonra BEÇÇ elemanların çelik çerçevelere montajı yapılmıştır. Belirlenen dört noktadan ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra binaya hidrolik piston yardımıyla Çizelge 3.10'daki protokol uygulanarak yanal yük verilmiş ve yapıda hasar meydana getirilmiştir. Son olarak hasarlı binada belirlenen noktalarda ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçüm aşamaları ve sayıları Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Birinci deney ivme ölçüm aşamaları

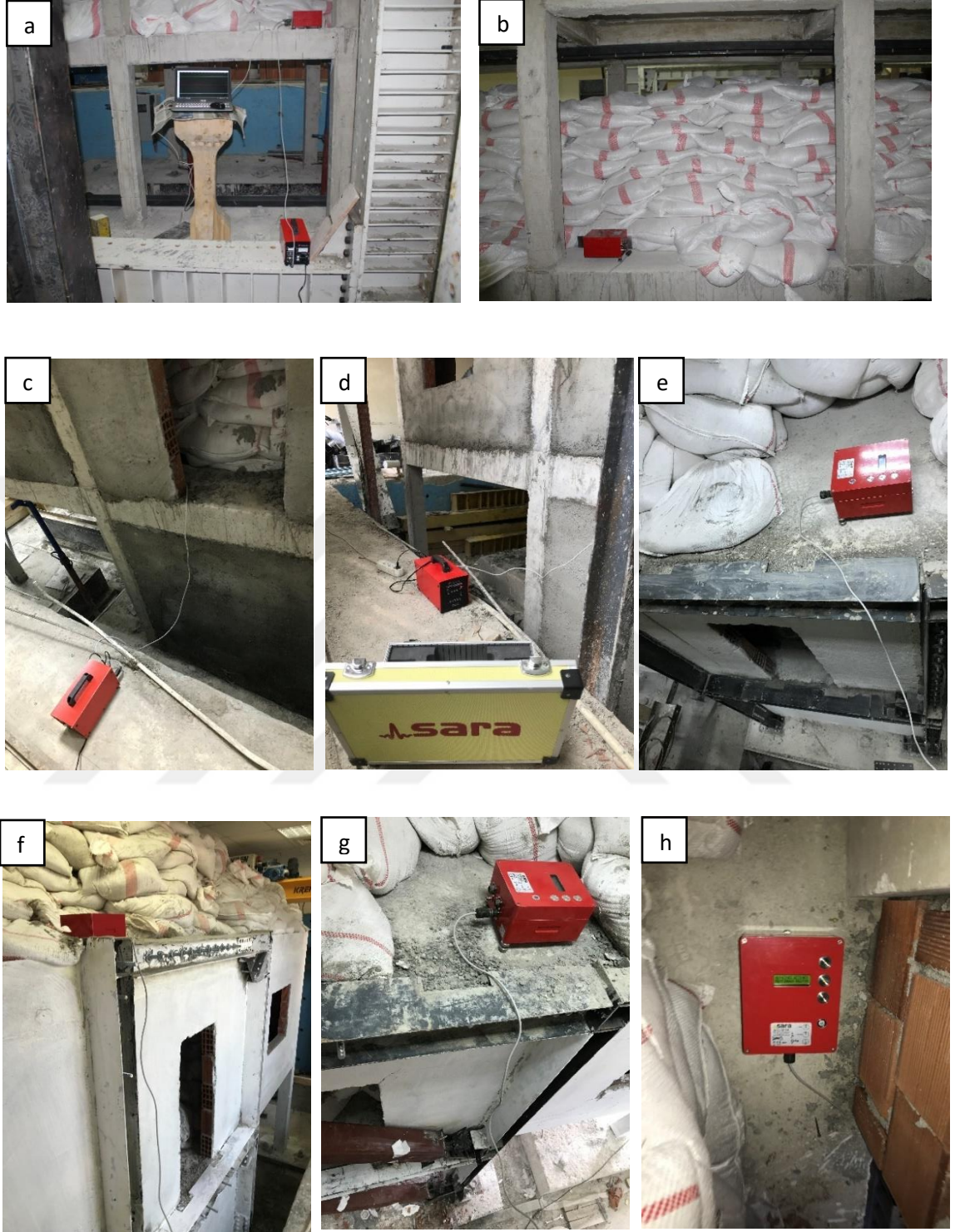
İvme ölçüm aşaması	Ölçüm sayısı	Ölçüm başına tahrik sayısı
Duvarlı	4	27
BEÇÇ montajı yapılmadan Çelik Çerçeve	2	6
BEÇÇ montajı sonrası Çelik Çerçeve	4	27
Yatay kuvvet uygulandıktan sonra hasarlı yapı	2	6

Çizelge 3.9 İkinci deney ivme ölçüm aşamaları

İvme ölçüm aşaması	Ölçüm sayısı	Ölçüm başına tahrik sayısı
Duvarlı	4	27
BEÇÇ montajı yapılmadan Çelik Çerçeve	2	6
BEÇÇ montajı sonrası Çelik Çerçeve	4	27
Yatay kuvvet uygulandıktan sonra hasarlı yapı	4	6

Çizelge 3.10 Deplasman kontrollü hidrolik piston yardımıyla binanın birinci katına her bir deplasman değeri için iki kez ve ters çevrimli olarak uygulanan yükleme protokolü

	Drift	Yer değıştirme (mm)
1	0,30%	4,5
2		-4,5
3		4,5
4		-4,5
5	0,50%	7,5
6		-7,5
7		7,5
8		-7,5
9	1,00%	15
10		-15
11		15
12		-15
13	1,50%	22,5
14		-22,5
15		22,5
16		-22,5
17	2,00%	30
18		-30
19		30
20		-30
21	2,50%	37,5
22		-37,5
23		37,5
24		-37,5
25	3,00%	-45
26		45
27		-45
28		45
29	3,50%	-52,5
30		52,5
31		-52,5
32		52,5



Şekil 3.33 İvme ölçüm aşamaları **a-b)** duvarsız ivme ölçümü **c-d)** duvar örüldükten sonra ivme ölçümü **e-f)** BEÇÇ montajı yapılmadan çelik çerçevenin montajı sonrası ivme ölçümü **g)** BEÇÇ montajı sonrası ivme ölçümü **h)** binaya yatay kuvvet uygulandıktan sonra hasarlı yapıda ivme ölçümü

Ölçümlerin çokluğundan ötürü her ölçüm esnasında veriler dikkatli bir şekilde kaydedilmiş ve eşzamanlı olarak notlar tutulmuştur. Her bir ivme ölçüm işleminden sonra ivme ölçer bilgisayara bağlanmış ve datalar bilgisayarda yedeklenmiştir. İvmeölçerden alınan datalar ilk önce Scream 4.6 isimli yazılım tarafından işlenmesi gerekmektedir. Dataların Scream 4.6 yazılımı tarafından kullanılabilmesi için dataların uzantıları .gcf olarak değiştirilmiştir.

Bu aşamada ivme zaman verileri bazı filtrelere tabii tutulması gerekmektedir.

Low pass filtresi , frekans değeri belli bir değerin altında olan harmonik fonksiyonların yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Bu filtrede frekans değeri belli bir değerin üstündeki hareketler gürültü(noise) olarak algılanıp dikkate alınmamaktadır.

High pass filtresi , frekans değeri belli bir değerin üstünde olan harmonik fonksiyonların yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Bu filtrede frekans değeri belli bir değerin altındaki hareketler gürültü(noise) olarak algılanıp dikkate alınmamaktadır.

Band stop filtresinde ise belirlenen iki frekans değerinden büyük ve küçük olan hareketler gürültü(noise) olarak algılanıp dikkate alınmamaktadır.

Band pass filtresi ise frekans değeri belli iki değerin arasında olan harmonik fonksiyonların yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Bu filtrede frekans değeri belli olan bu iki frekans değerinin altında ve üzerindeki hareketler gürültü (noise) olarak algılanıp dikkate alınmamaktadır. Diğer bir deyişle band pass filtresi sadece belli bir frekans bölgesini geçiren , onun altında ve üstündeki frekans değerlerini zayıflatan bir filtredir. Böylece ekseninden kayan ivme değerlerini düzeltmekte kullanılabilir. Ölçülen tüm ivme değerlerine bu filtre uygulanmıştır.

Band pass filtresi uygulandıktan sonra ivme zaman grafiğinde ivmeölçerin bina içerisine kurulum ve söküm anındaki titreşimler temizlenmiş ve ölçümü yapılan istenen aralık seçilmiştir. Bulgular ve tartışma bölümünde bu aşamadaki her ölçüme ait ivme zaman grafiklerine yer verilmiştir.

Daha sonra Scream 4.6 programına kurulan Art 3 isimli eklenti aracılığıyla seçilen ivme zaman dataları yukarıda bahsedilen high pass filtresine tabi tutulmuştur. Ardından x ve y eksenlerine ait ivme, hız ve yer değiştirme-zaman dataları düzeltilmiş formatta text dosyası halinde dışa aktarılmıştır. Aktarılan bu dosyalar Matlab yazılımında Ekler kısmında verilen kod içerisinde okutularak ivme zaman düzleminden periyot-zaman düzlemine geçilmiştir. Bu işleme Fast Fourier Transformation (FFT) adı verilir. Ölçümlere ait periyot-zaman grafikleri bulgular ve tartışma kısmında gösterilmiştir. Böylece deneysel çalışmaya bağlı olarak dış güçlendirmede BEÇÇ kullanılması durumunda yapının periyot değerlerindeki değişim karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Birinci Deney İvme ve Periyot Sonuçları

Mevcut temel üzerine güçlendirme yapılan deney elemanında dört farklı aşamada çeşitli sayıda ölçümler yapılmıştır. Bu aşamalar ve ölçüm sayıları;

Betonarme çerçeveye dolgu duvar örüldükten sonra dört adet,

Güçlendirme çerçevesine BEÇÇ montajı yapılmadan iki adet,

Güçlendirme çerçevesine BEÇÇ montajı yapıldıktan sonra dört adet,

Deney elemanına yatay kuvvet uygulandıktan sonra hasarlı yapıda iki adet olmak üzere dört aşamada toplam on iki ölçüm yapılmıştır.

4.1.1 Birinci Deney Duvarlı Binanın İvme ve Periyot Sonuçları

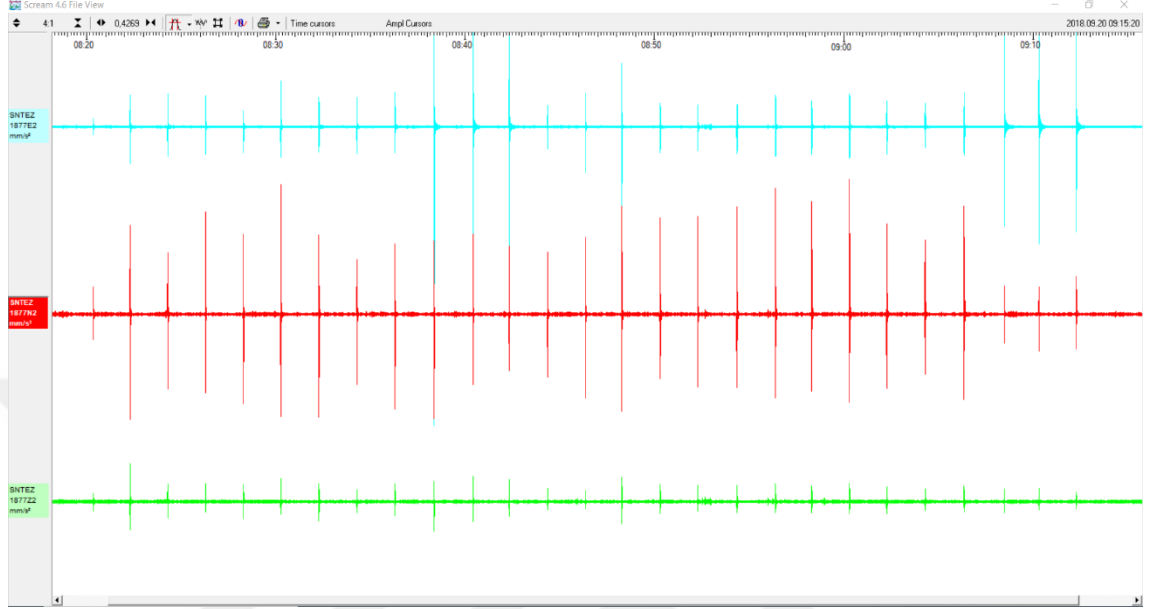
Önceki görsellerde detaylı bir şekilde gösterilen Ö1,Ö2,Ö3 ve Ö4 noktalarından olmak üzere toplam 4 ölçüm yapılmıştır. Deney elemanın duvarlı halinde her biri 3 kez olmak üzere V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8 ve V9 noktalarından toplam 27 kez tahrik edilmiştir. Binanın duvarlı haline ait periyotlar ve ortalama değerleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Binanın duvarlı haline ait ölçümler

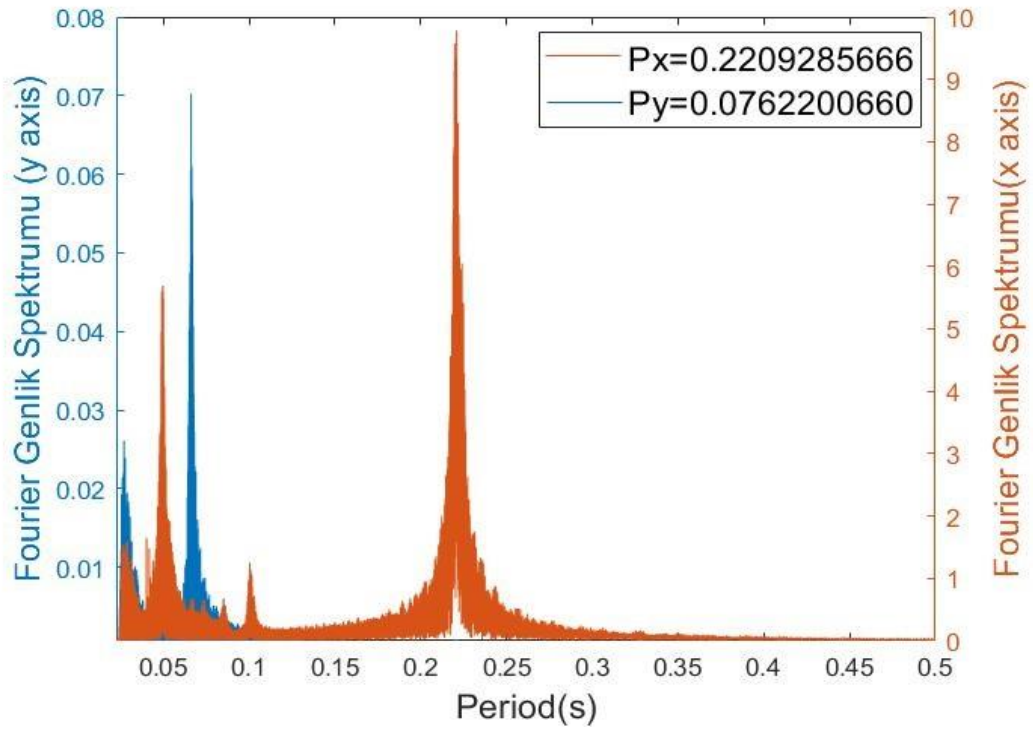
Ölçüm/Periyot	Px	Py
Ö1	0,2209285666	0,0762200660
Ö2	0,2232149920	0,0773939060
Ö3	0,2238205372	0,0777891332
Ö4	0,2244036508	0,0788922987
Ortalama	0,2230919367	0,0775738510

4.1.1.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.29’da gösterildiği gibi Ö1 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



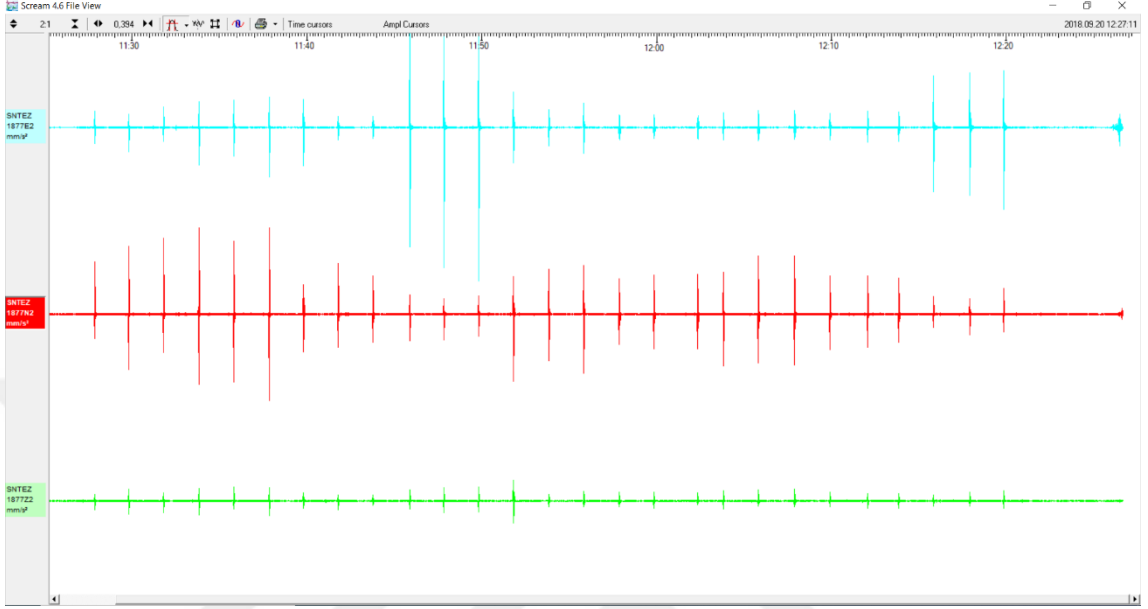
Şekil 4.1 Duvarlı binanın Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



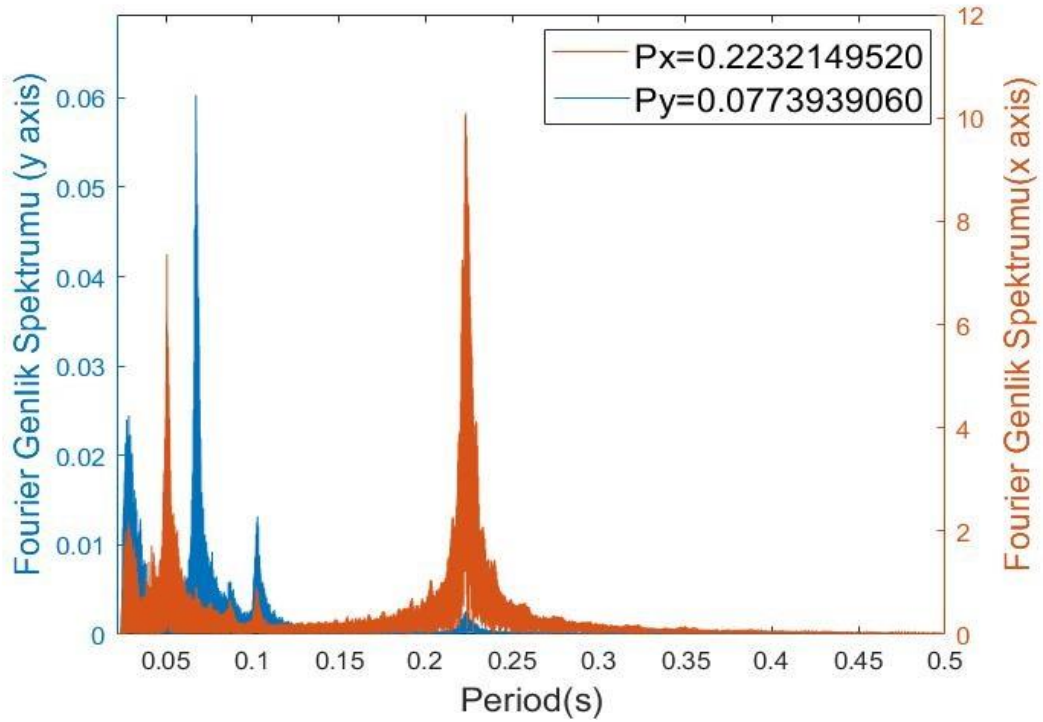
Şekil 4.2 Duvarlı binanın Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.1.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.30’da gösterildiği gibi Ö2 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



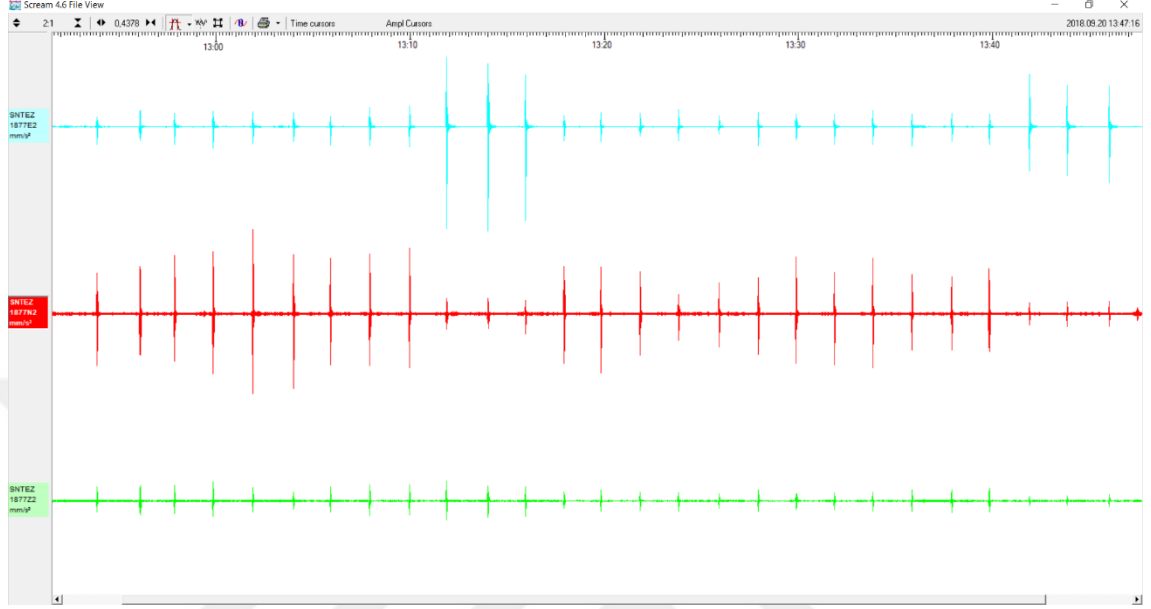
Şekil 4.3 Duvarlı binanın Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



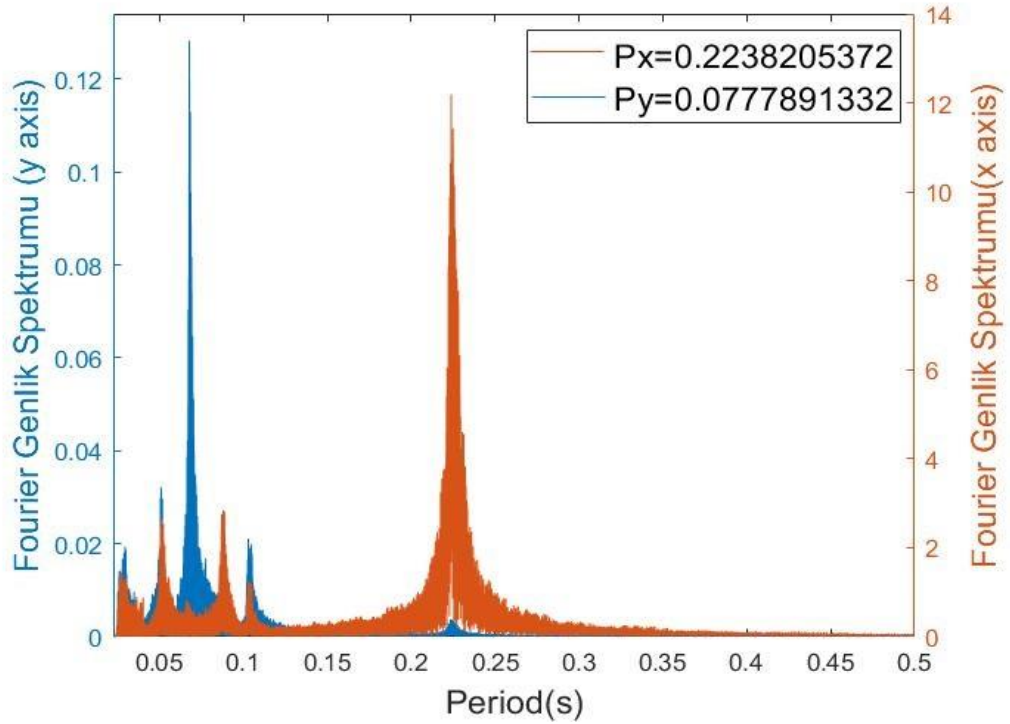
Şekil 4.4 Duvarlı binanın Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.1.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.31’de gösterildiği gibi Ö3 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



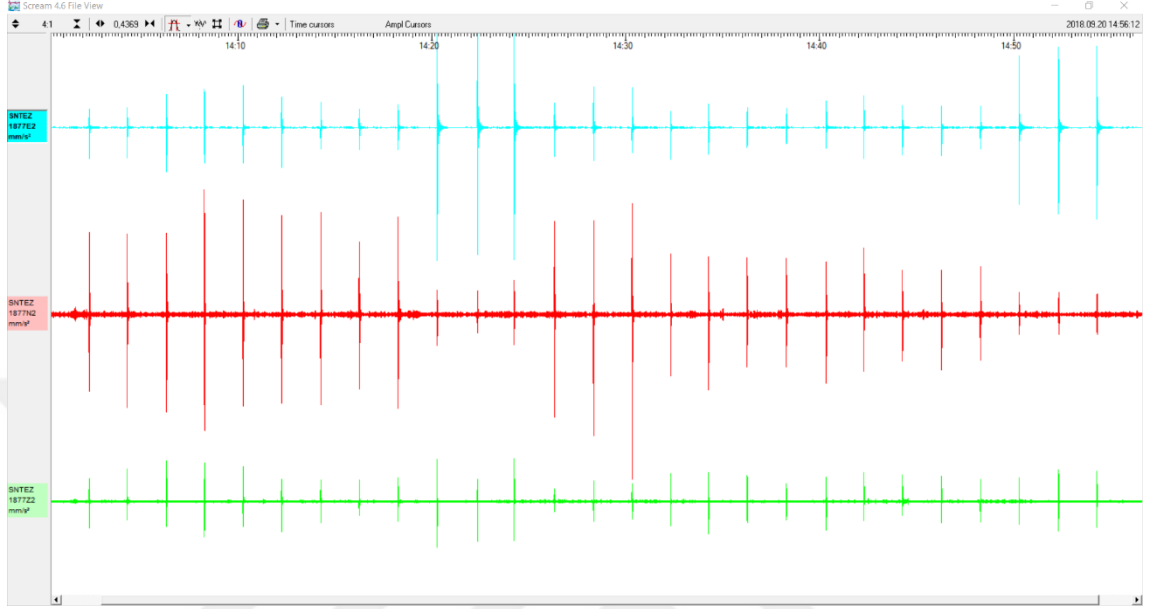
Şekil 4.5 Duvarlı binanın Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



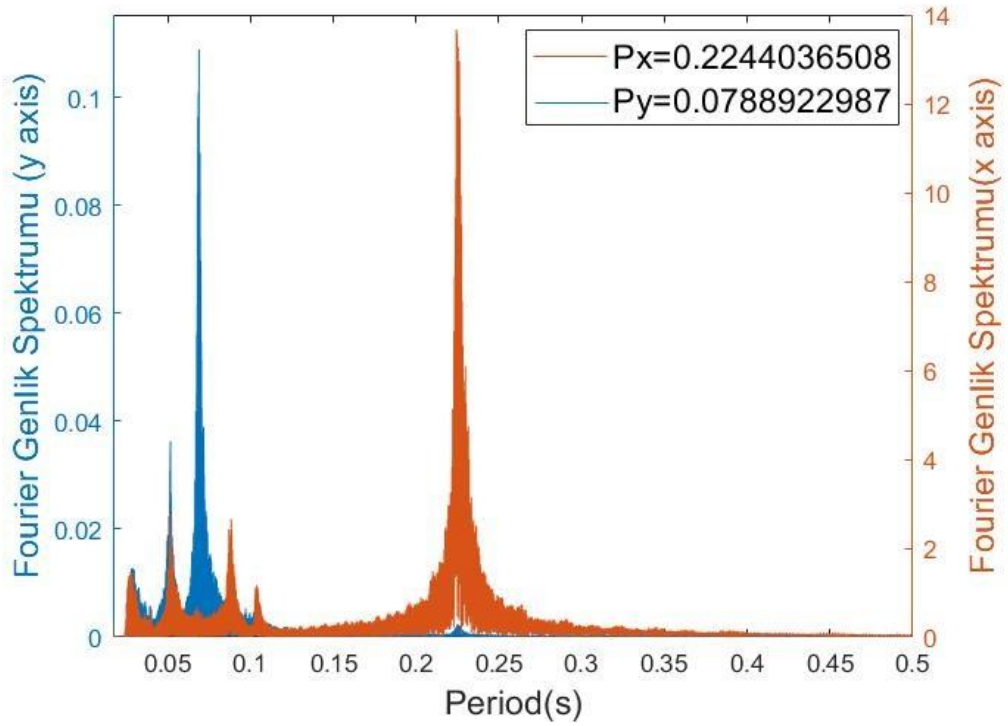
Şekil 4.6 Duvarlı binanın Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.1.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.32’de gösterildiği gibi Ö4 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.7 Duvarlı binanın Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



Şekil 4.8 Duvarlı binanın Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.2 Birinci Deney ÇÇ Montajı Yapıldıktan Sonra(BEÇÇ'ler Takılmadan) Binanın İvme ve Periyot Sonuçları

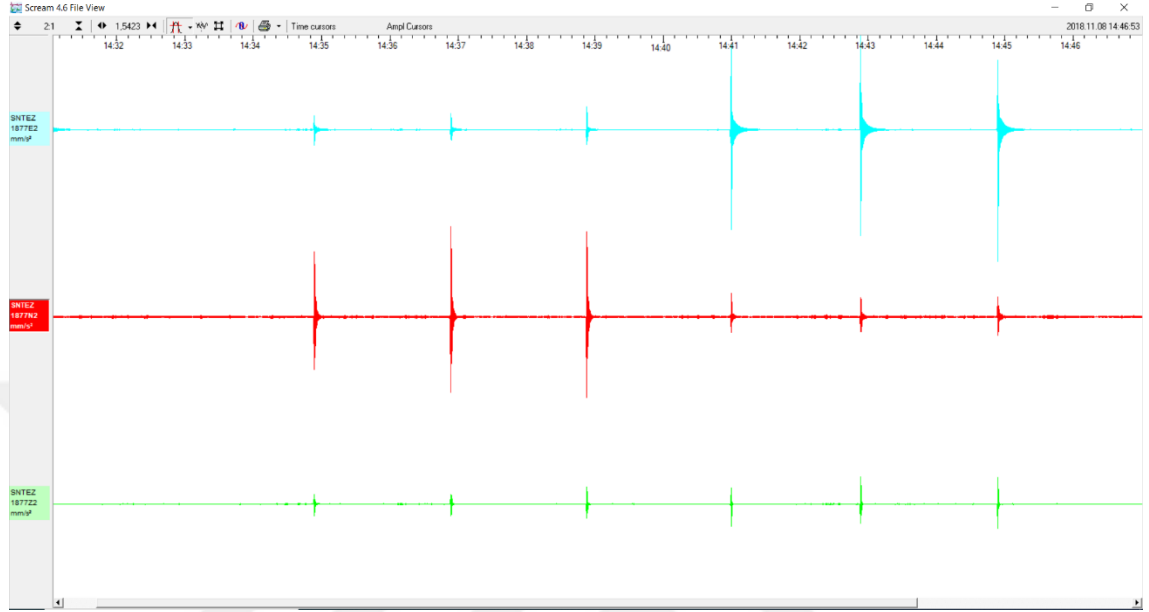
Önceki görsellerde detaylı bir şekilde gösterilen Ö2 ve Ö4 noktalarından olmak üzere toplam 2 ölçüm yapılmıştır. Deney elemanın ÇÇ'li BEÇÇ'siz halinde her biri 3 kez olmak üzere V1 ve V4 noktalarından toplam 6 kez tahrik edilmiştir. Binanın ÇÇ'li BEÇÇ'siz haline ait periyotlar ve ortalama değerleri Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2 ÇÇ montajı yapıldıktan sonra (BEÇÇ'ler takılmadan) yapılan ölçümler

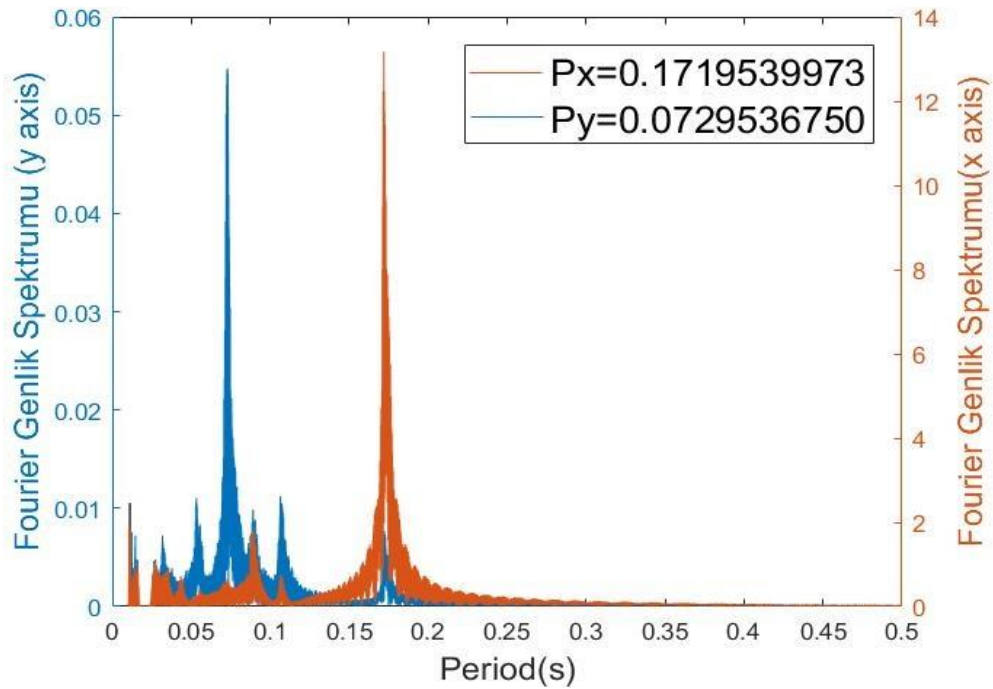
Ölçüm/Periyot	Px	Py
Ö2	0,1719539973	0,0729536750
Ö4	0,1717171522	0,0701599626
Ortalama	0,1718355748	0,0715568188

4.1.2.1 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.30’da gösterildiği gibi Ö2 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



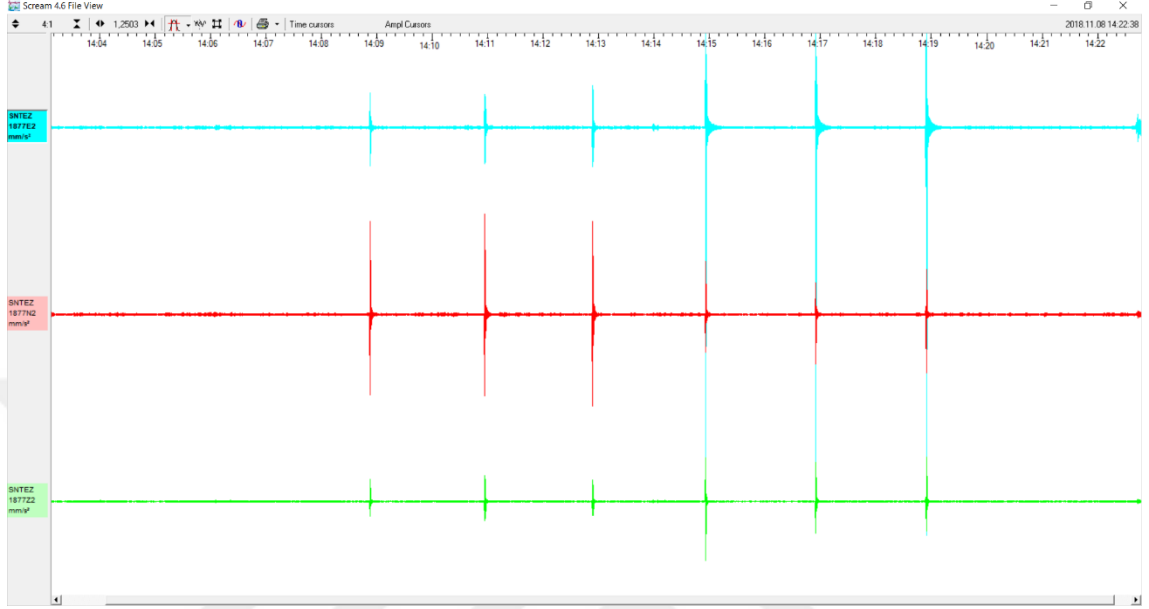
Şekil 4.9 Binanın BEÇÇ’siz ÇÇ’li Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



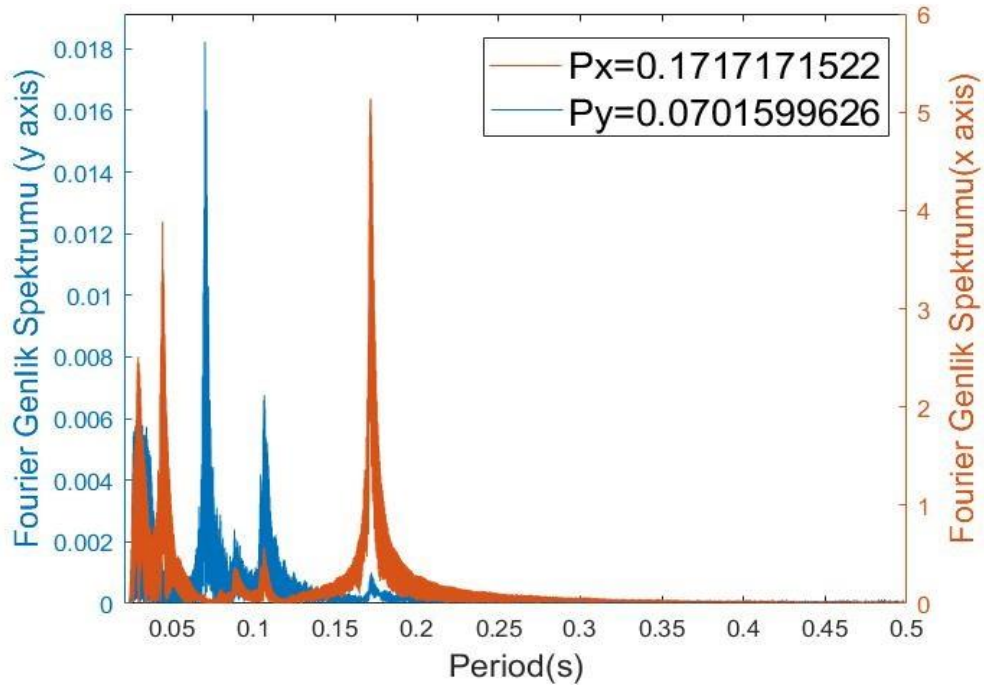
Şekil 4.10 Binanın BEÇÇ’siz ÇÇ’li Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.2.2 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.32’de gösterildiği gibi Ö4 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.11 Binanın BEÇÇ’siz ÇÇ’li Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



Şekil 4.12 Binanın BEÇÇ’siz ÇÇ’li Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.3 Birinci Deney ÇÇ Montajı Yapıldıktan Sonra (BEÇÇ'li) Binanın İvme ve Periyot Sonuçları

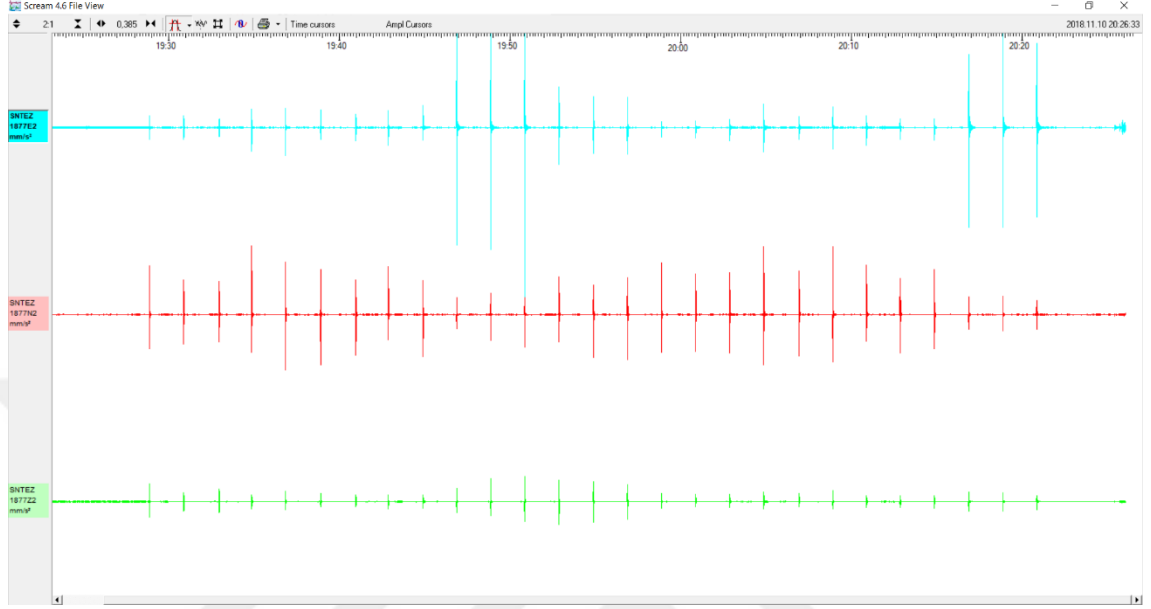
Önceki görsellerde detaylı bir şekilde gösterilen Ö1,Ö2,Ö3 ve Ö4 noktalarından olmak üzere toplam 4 ölçüm yapılmıştır. Deney elemanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li halinde her biri 3 kez olmak üzere V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8 ve V9 noktalarından toplam 27 kez tahrik edilmiştir. Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li haline ait periyotlar ve ortalama değerleri Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3 ÇÇ montajı yapıldıktan sonra (BEÇÇ'li) yapılan ölçümler

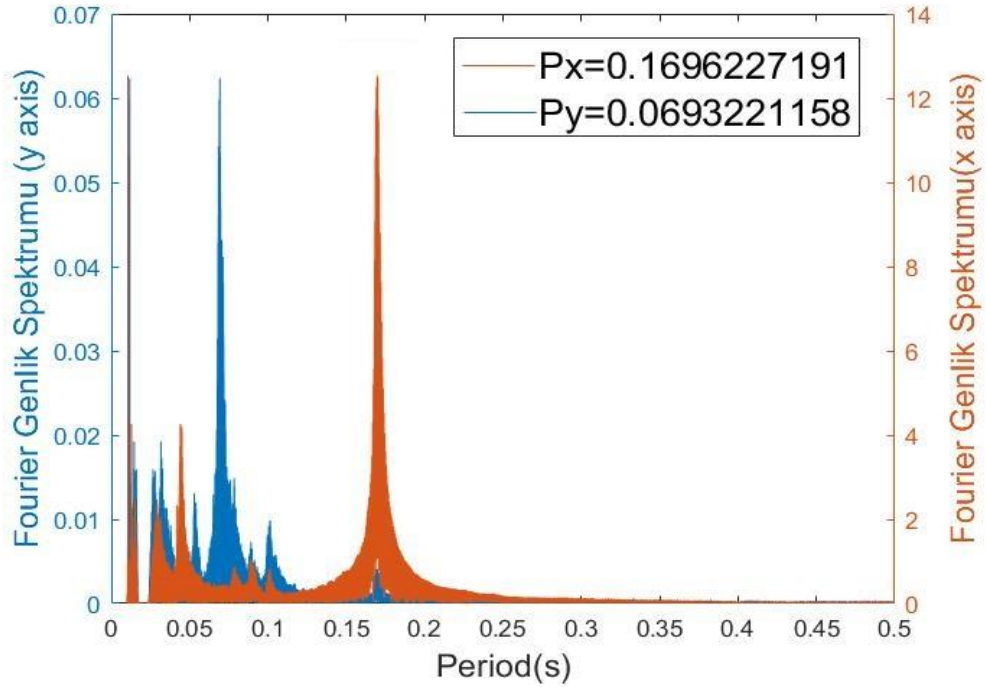
Ölçüm/Periyot	P _x	P _y
Ö1	0,1696227191	0,0693221158
Ö2	0,1699835016	0,0689288286
Ö3	0,1697132958	0,0688586644
Ö4	0,1696637123	0,0688841330
Ortalama	0,1697458072	0,0689984355

4.1.3.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.29’da gösterildiği gibi Ö1 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



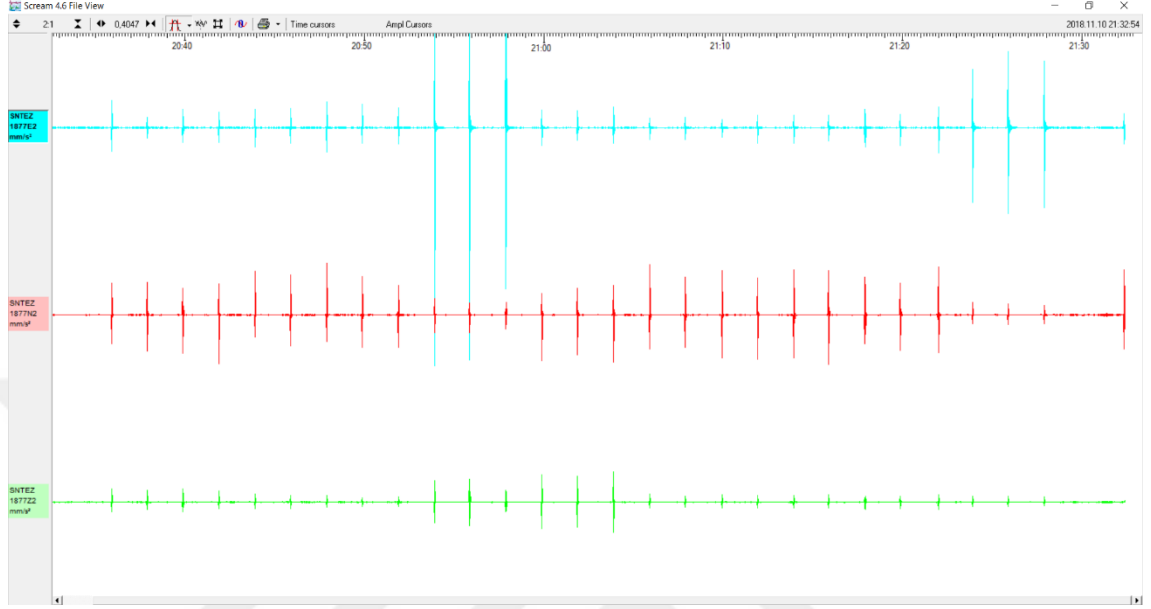
Şekil 4.13 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



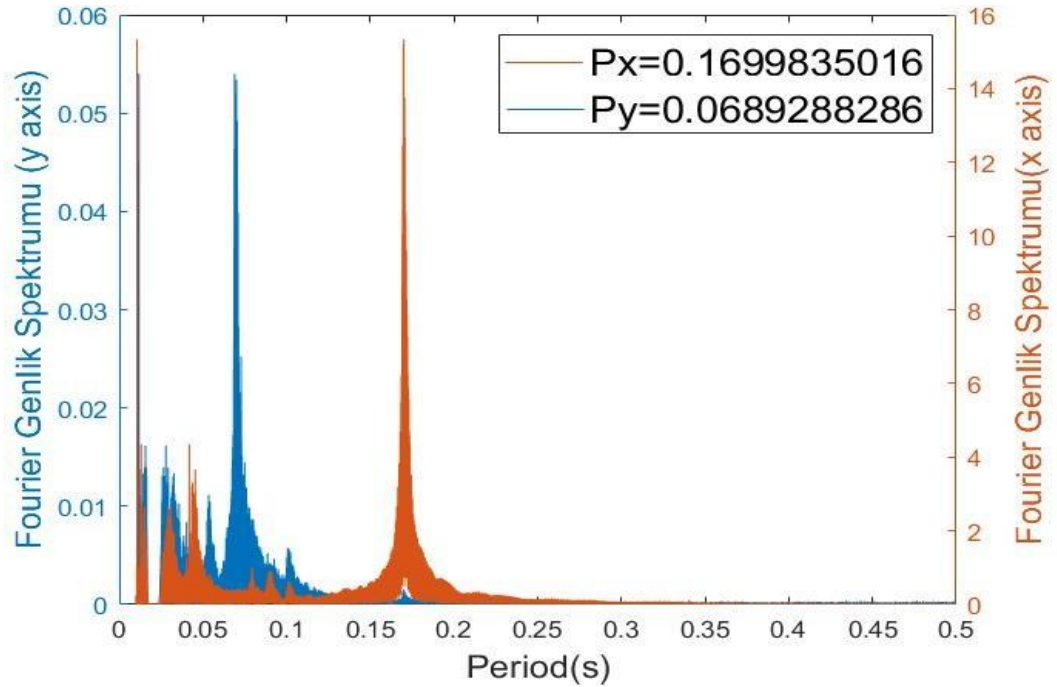
Şekil 4.14 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.3.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.30'da gösterildiği gibi Ö2 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



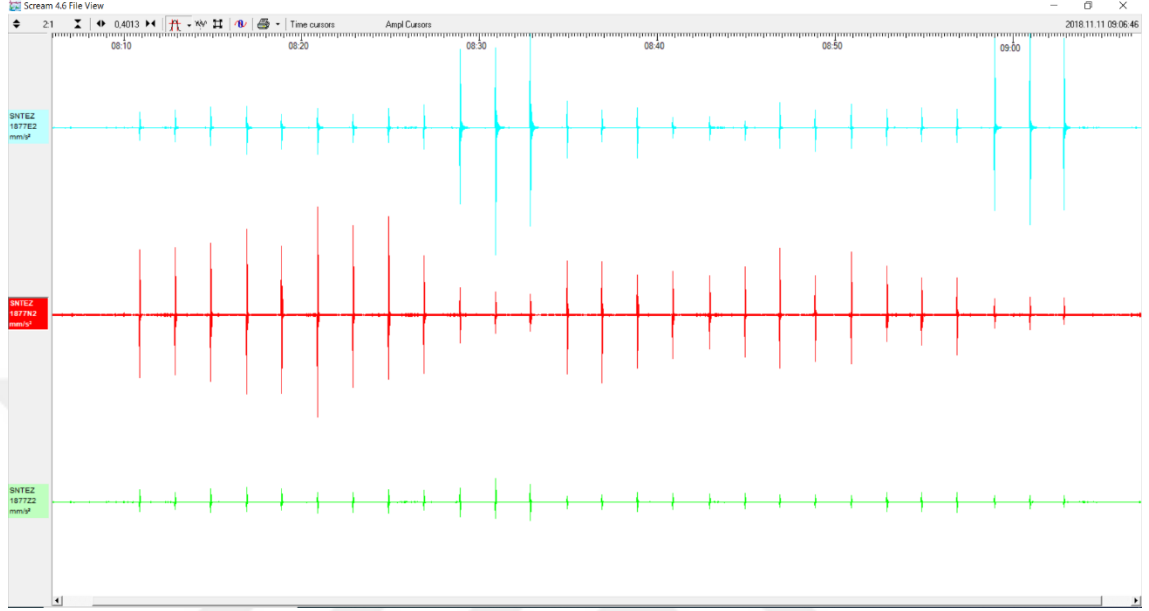
Şekil 4.15 Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



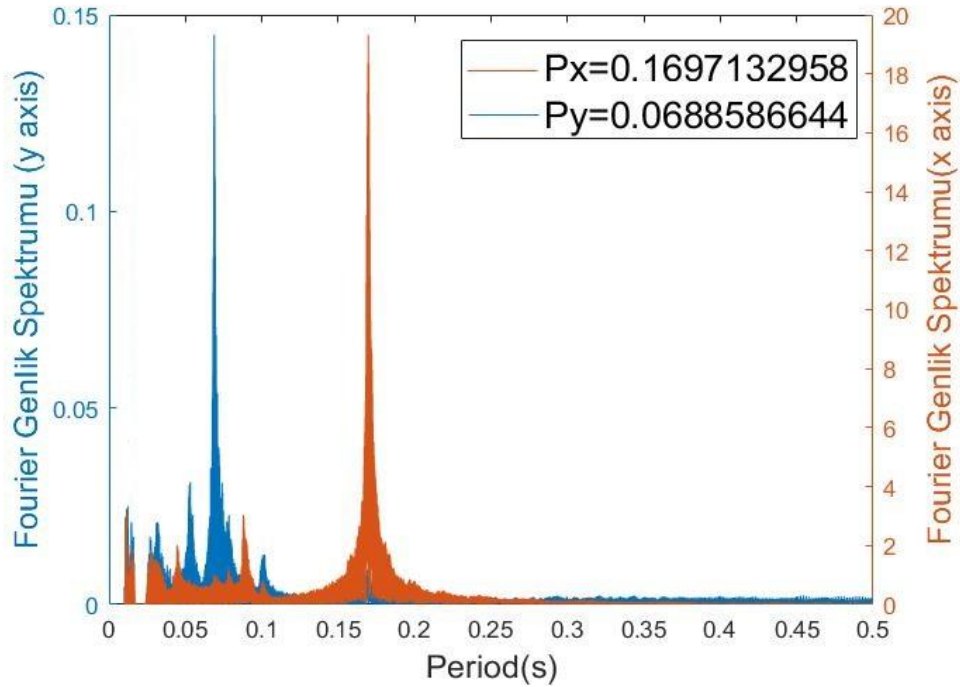
Şekil 4.16 Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.3.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.31’de gösterildiği gibi Ö3 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



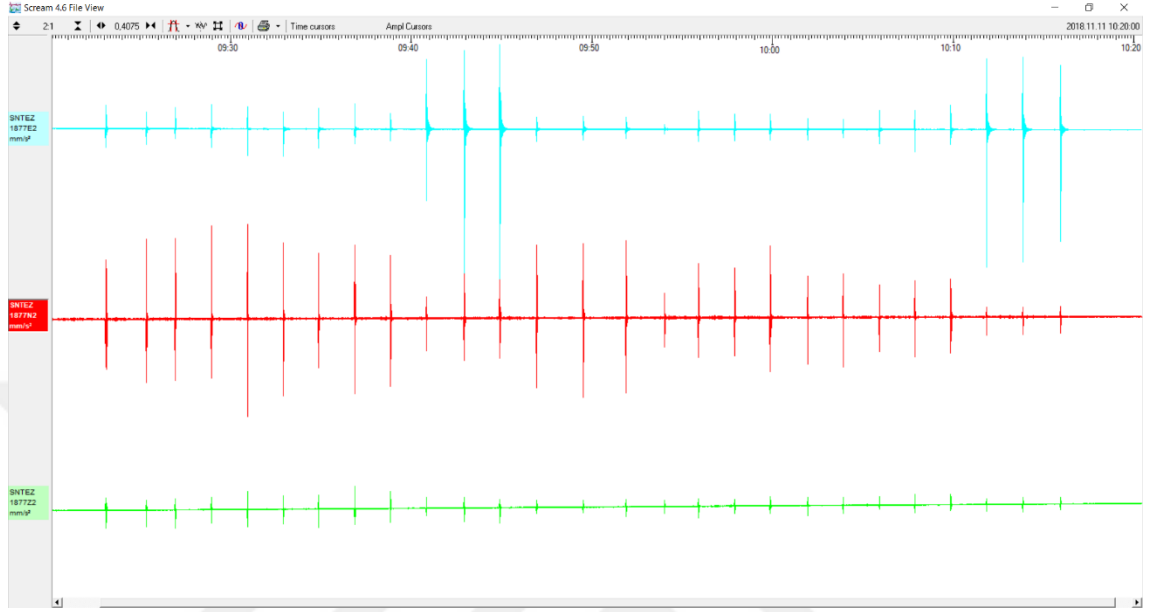
Şekil 4.17 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



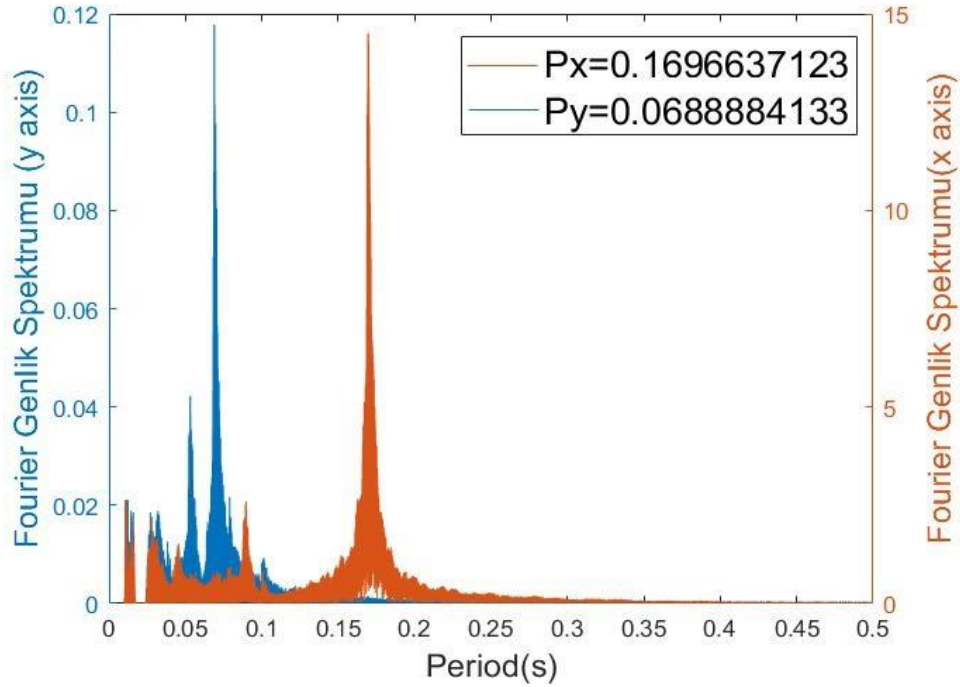
Şekil 4.18 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.3.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.32’de gösterildiği gibi Ö4 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.19 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



Şekil 4.20 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.4 Birinci Deney Hasarlı Binanın İvme ve Periyot Sonuçları

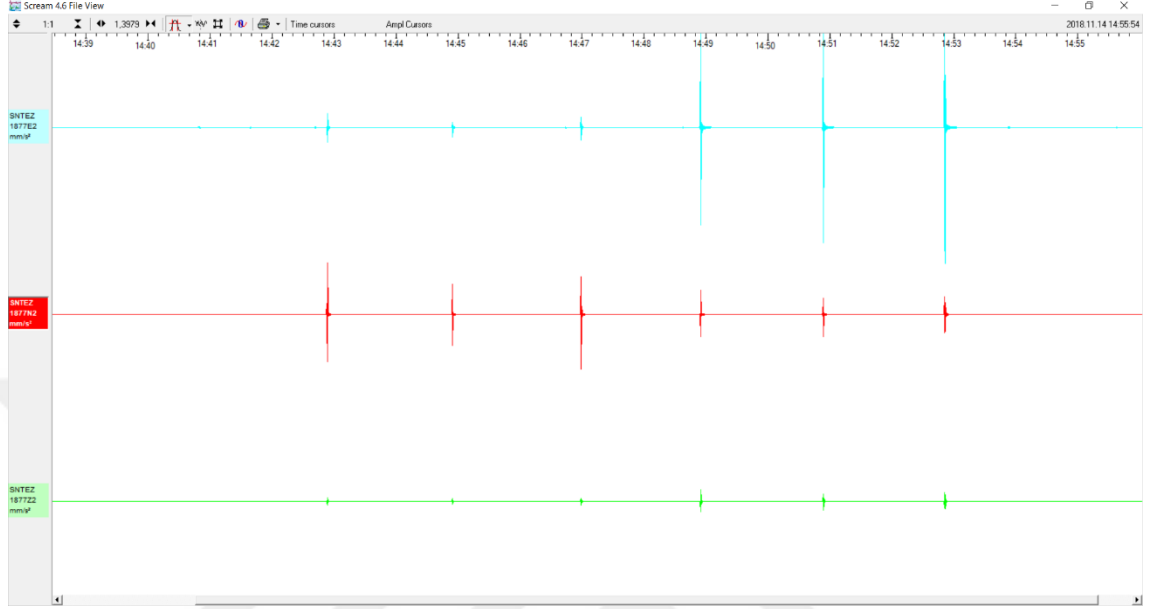
Önceki görsellerde detaylı bir şekilde gösterilen Ö2 ve Ö4 noktalarından olmak üzere toplam 2 ölçüm yapılmıştır. Deney elemanın hasarlı halinde her biri 3 kez olmak üzere V1 ve V4 noktalarından toplam 6 kez tahrik edilmiştir. Binanın hasarlı haline ait periyotlar ve ortalama değerleri Çizelge 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Binanın hasarlı haline ait ölçümler

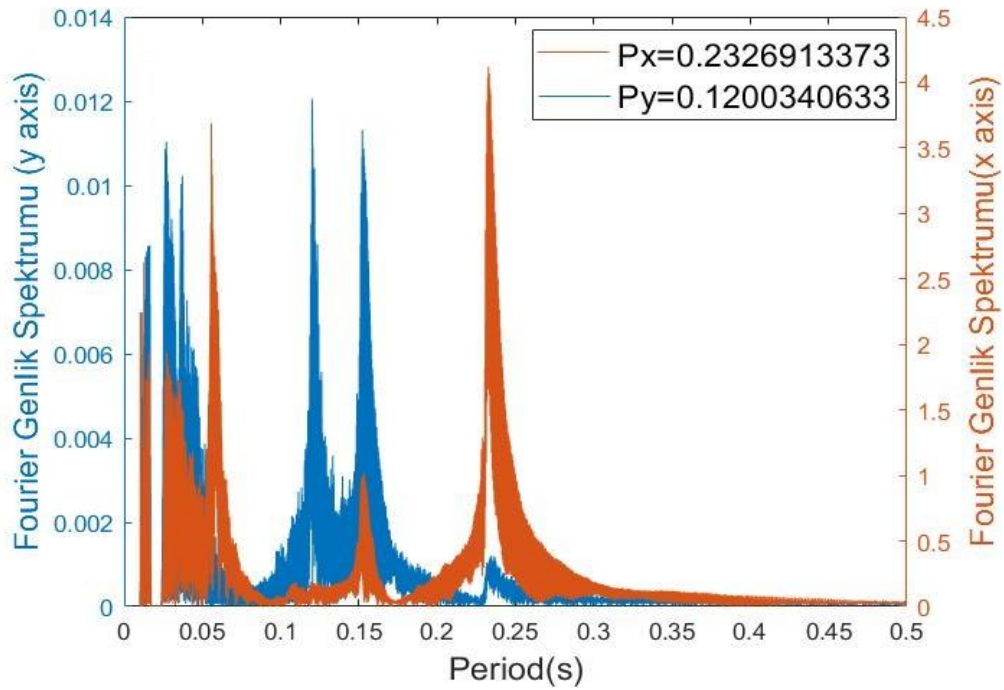
Ölçüm/Periyot	Px	Py
Ö2	0,2326913373	0,1200340633
Ö4	0,2344008204	0,1206582200
Ortalama	0,2335460789	0,1203461417

4.1.4.1 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.30’da gösterildiği gibi Ö2 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



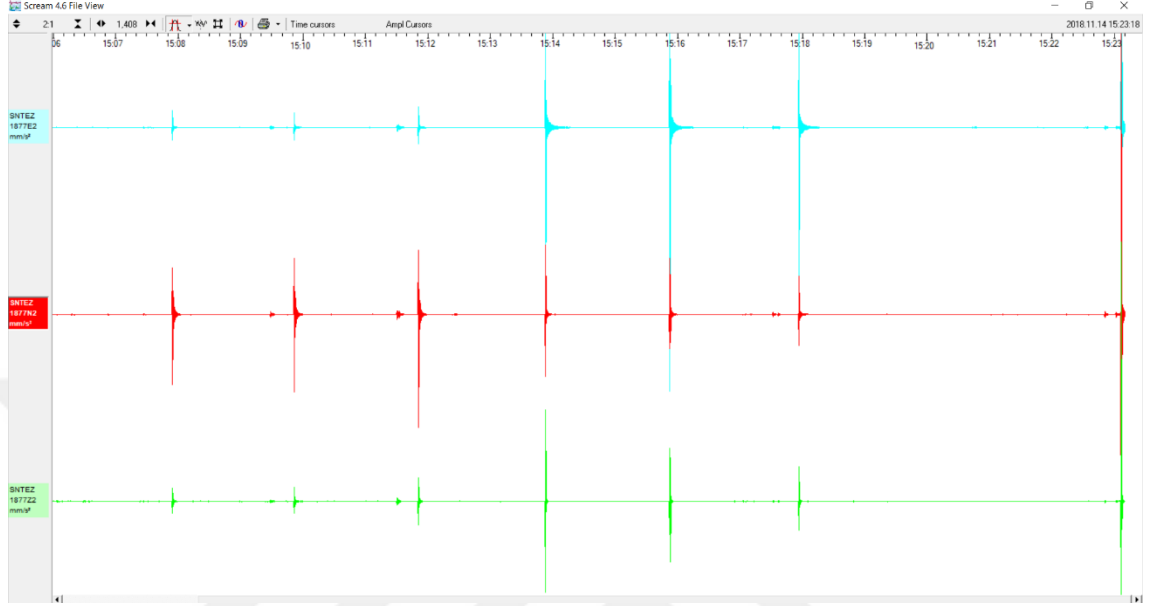
Şekil 4.21 Binanın hasarlı halinin Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



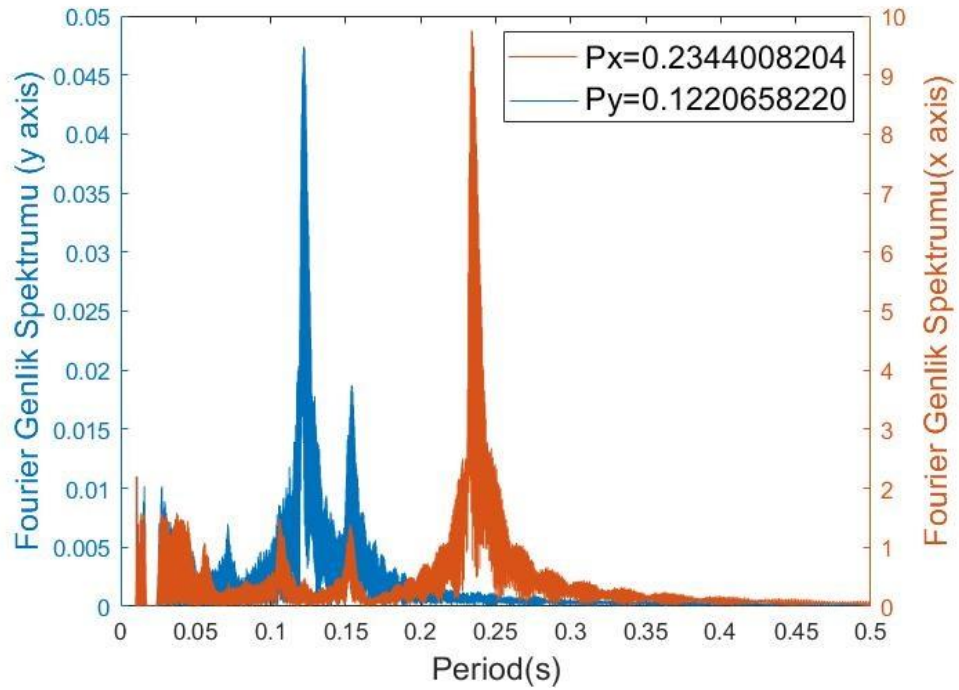
Şekil 4.22 Binanın hasarlı halinin Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.1.4.2 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.32’de gösterildiği gibi Ö4 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.23 Binanın hasarlı halinin Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



Şekil 4.24 Binanın hasarlı halinin Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

Çizelge 4.5 Birinci deney için yapılan ölçümler

Ölçüm/Periyot		Px	Py
DUVARLI	Ö1	0,2209285666	0,0762200660
	Ö2	0,2232149920	0,0773939060
	Ö3	0,2238205372	0,0777891332
	Ö4	0,2244036508	0,0788922987
	ORT.	0,2230919367	0,0775738510
ÇÇ'li BEÇÇ'siz	Ö2	0,1719539973	0,0729536750
	Ö4	0,1717171522	0,0701599626
	ORT.	0,1718355748	0,0715568188
ÇÇ'li BEÇÇ'li	Ö1	0,1696227191	0,0693221158
	Ö2	0,1699835016	0,0689288286
	Ö3	0,1697132958	0,0688586644
	Ö4	0,1696637123	0,0688841330
	ORT.	0,1697458072	0,0689984355
HASARLI	Ö2	0,2326913373	0,1200340633
	Ö4	0,2344008204	0,1220658220
	ORT.	0,2335460789	0,1210499427

4.2 İkinci Deney İvme ve Periyot Sonuçları

Temel güçlendirmesi yapıldıktan sonra güçlendirme yapılan deney elemanında dört farklı aşamada çeşitli sayıda ölçümler yapılmıştır. Bu aşamalar ve ölçüm sayıları;

Betonarme çerçeveye dolgu duvar örüldükten sonra dört adet,

Güçlendirme çerçevesine BEÇÇ montajı yapılmadan iki adet,

Güçlendirme çerçevesine BEÇÇ montajı yapıldıktan sonra dört adet,

Deney elemanına yatay kuvvet uygulandıktan sonra hasarlı yapıda dört adet olmak üzere dört aşamada toplam on dört ölçüm yapılmıştır.

4.2.1 İkinci Deney Duvarlı Binanın İvme ve Periyot Sonuçları

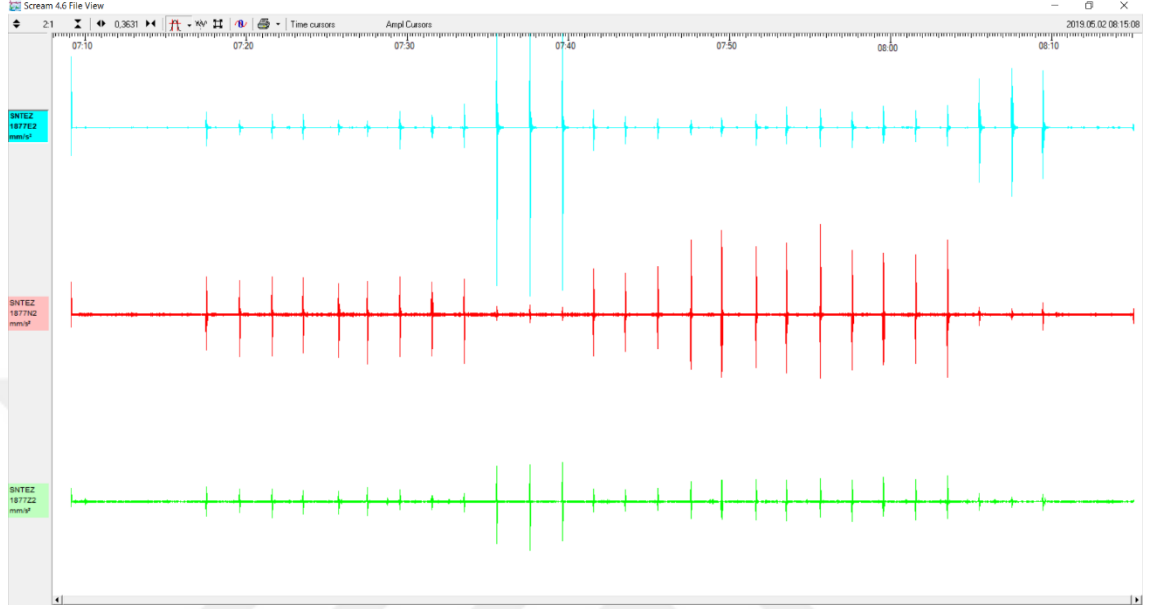
Önceki görsellerde detaylı bir şekilde gösterilen Ö1,Ö2,Ö3 ve Ö4 noktalarından olmak üzere toplam 4 ölçüm yapılmıştır. Deney elemanın duvarlı halinde her biri 3 kez olmak üzere V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8 ve V9 noktalarından toplam 27 kez tahrik edilmiştir. Binanın duvarlı haline ait periyotlar ve ortalama değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Binanın duvarlı haline ait ölçümler

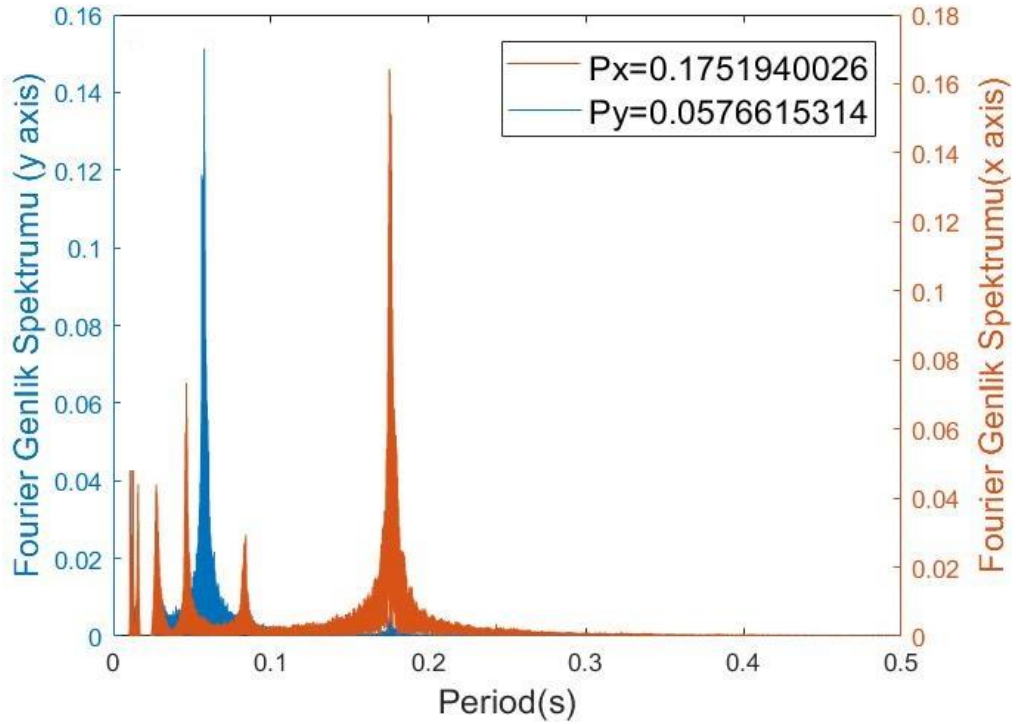
Ölçüm/Periyot	P _x	P _y
Ö1	0,1751940026	0,0576615314
Ö2	0,1762920028	0,0581796865
Ö3	0,1769496091	0,0583523776
Ö4	0,1766696551	0,0590372550
Ortalama	0,1762763174	0,0583077126

4.2.1.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü , Şekil 3.29’da gösterildiği gibi Ö1 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



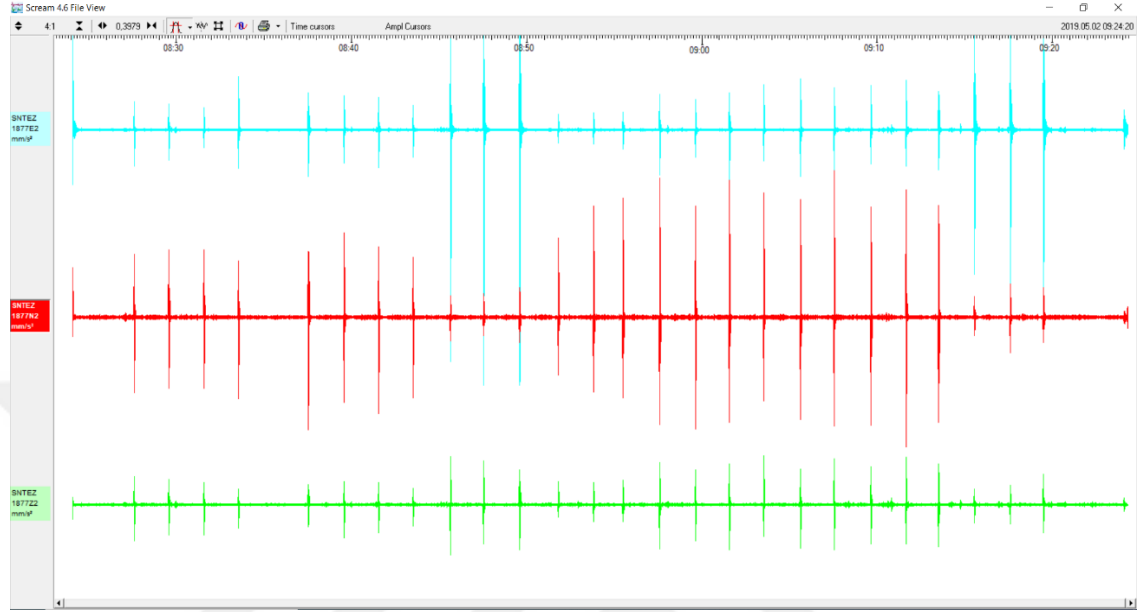
Şekil 4.25 Duvarlı binanın Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



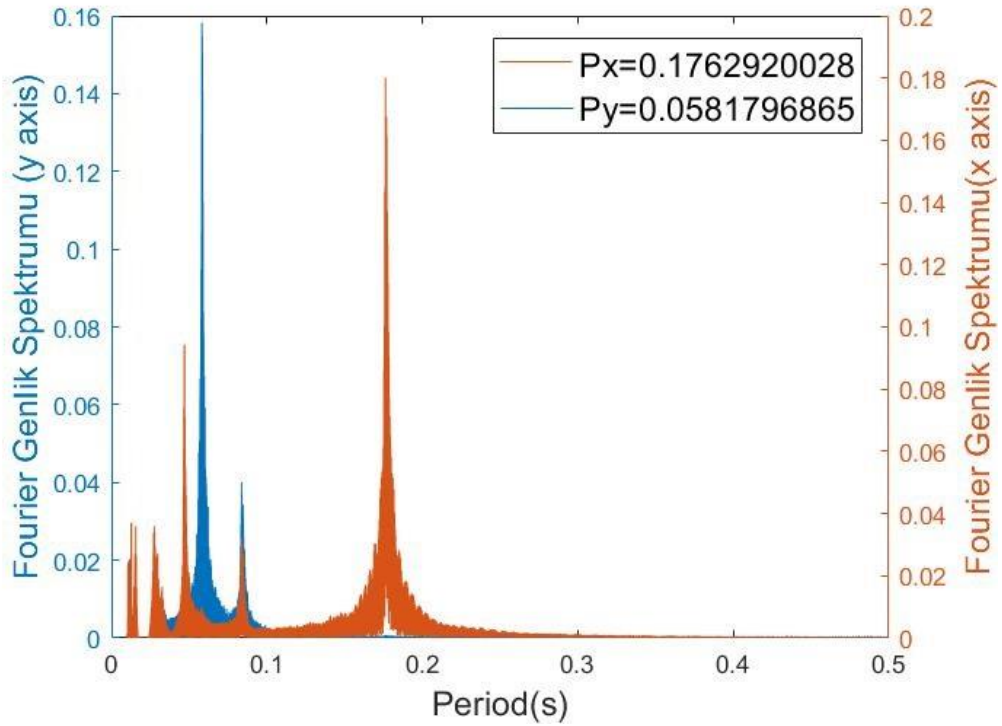
Şekil 4.26 Duvarlı binanın Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.1.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.30’da gösterildiği gibi Ö2 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



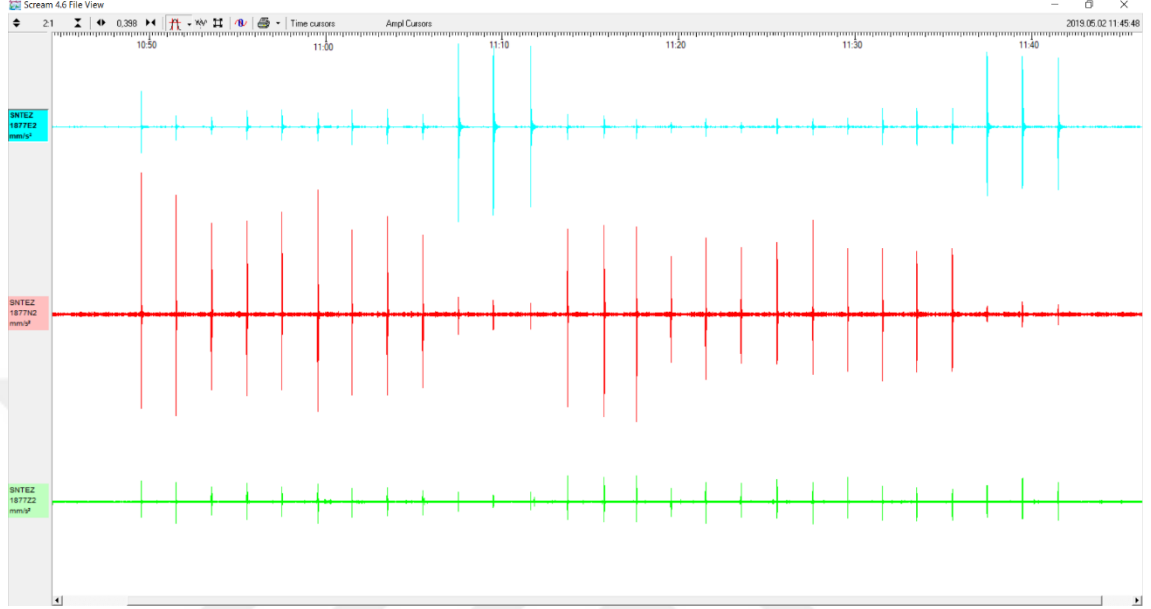
Şekil 4.27 Duvarlı binanın Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



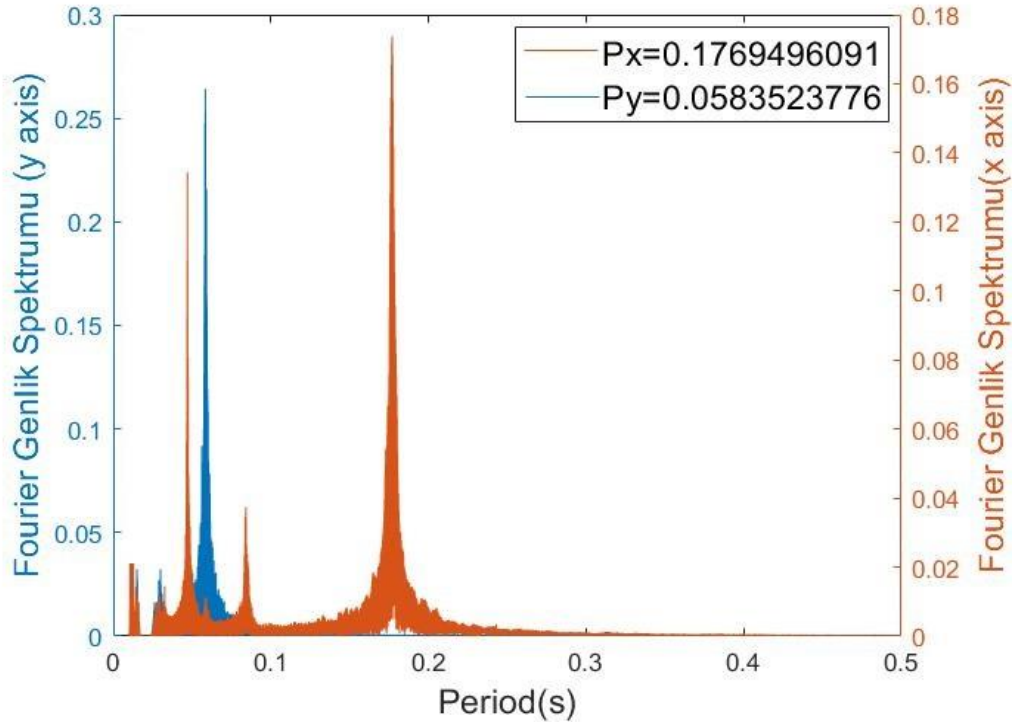
Şekil 4.28 Duvarlı binanın Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.1.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.31’de gösterildiği gibi Ö3 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



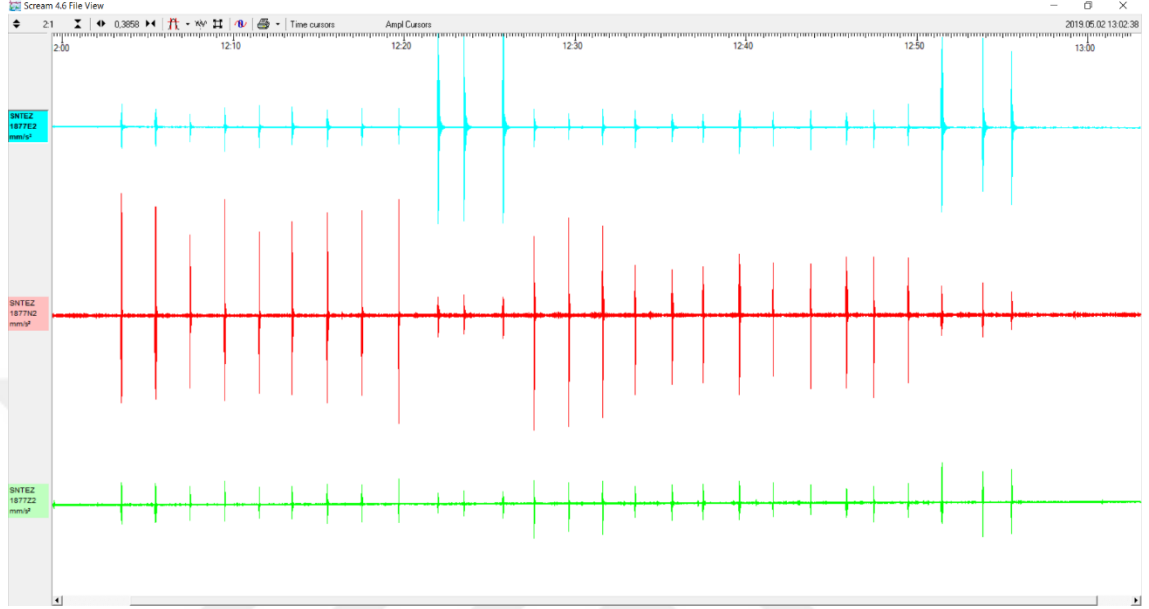
Şekil 4.29 Duvarlı binanın Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s^2)



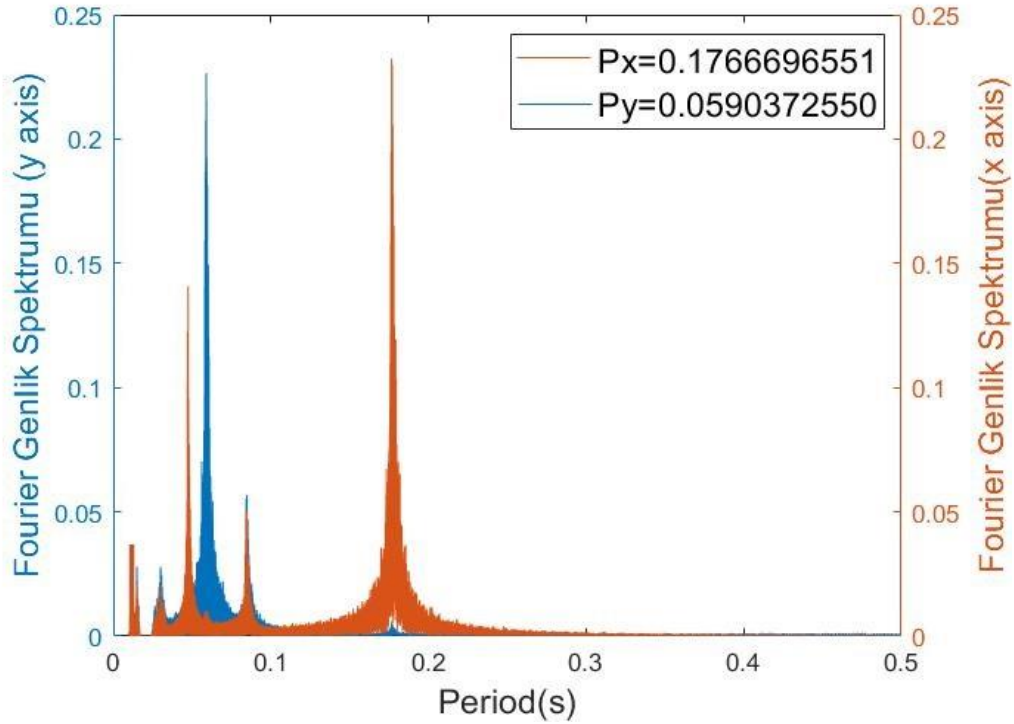
Şekil 4.30 Duvarlı binanın Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.1.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.32’de gösterildiği gibi Ö4 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.31 Duvarlı binanın Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



Şekil 4.32 Duvarlı binanın Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.2 İkinci Deney ÇÇ Montajı Yapıldıktan Sonra(BEÇÇ’ler Takılmadan) Binanın İvme ve Periyot Sonuçları

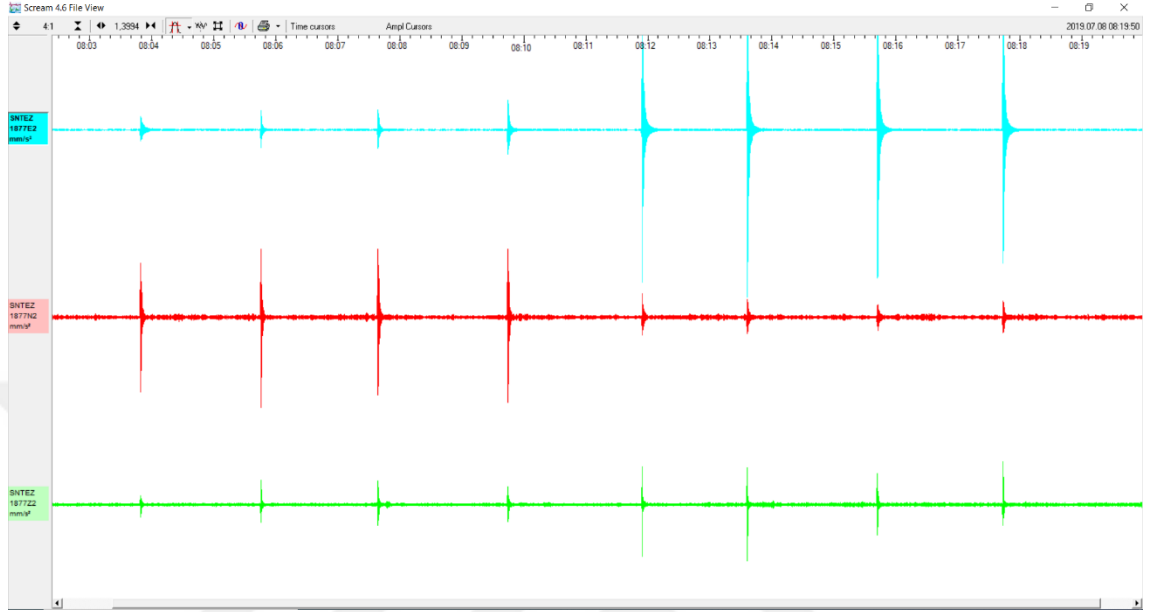
Önceki görsellerde detaylı bir şekilde gösterilen Ö2 ve Ö4 noktalarından olmak üzere toplam 2 ölçüm yapılmıştır. Deney elemanın ÇÇ’li BEÇÇ’siz halinde her biri 3 kez olmak üzere V1 ve V4 noktalarından toplam 6 kez tahrik edilmiştir. Binanın ÇÇ’li BEÇÇ’siz haline ait periyotlar ve ortalama değerleri Çizelge 4.7 de verilmiştir.

Çizelge 4.7 ÇÇ montajı yapıldıktan sonra (BEÇÇ’ler takılmadan) yapılan ölçümler

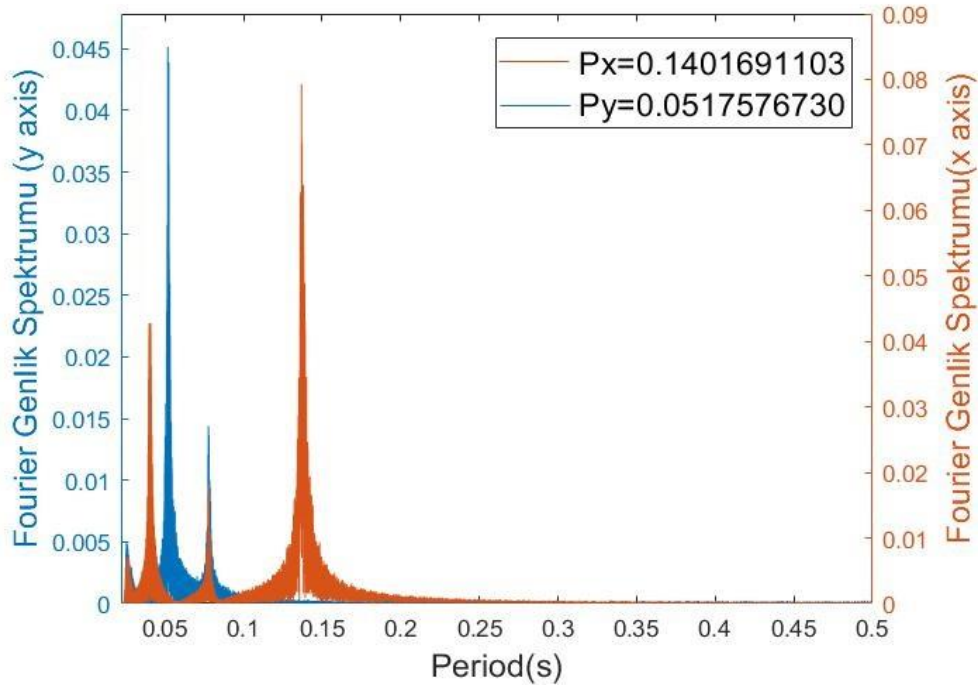
Ölçüm/Periyot	Px	Py
Ö2	0,1401691103	0,051757673
Ö4	0,139663231	0,0527321943
Ortalama	0,1399161707	0,0522449337

4.2.2.1 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.30’da gösterildiği gibi Ö2 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



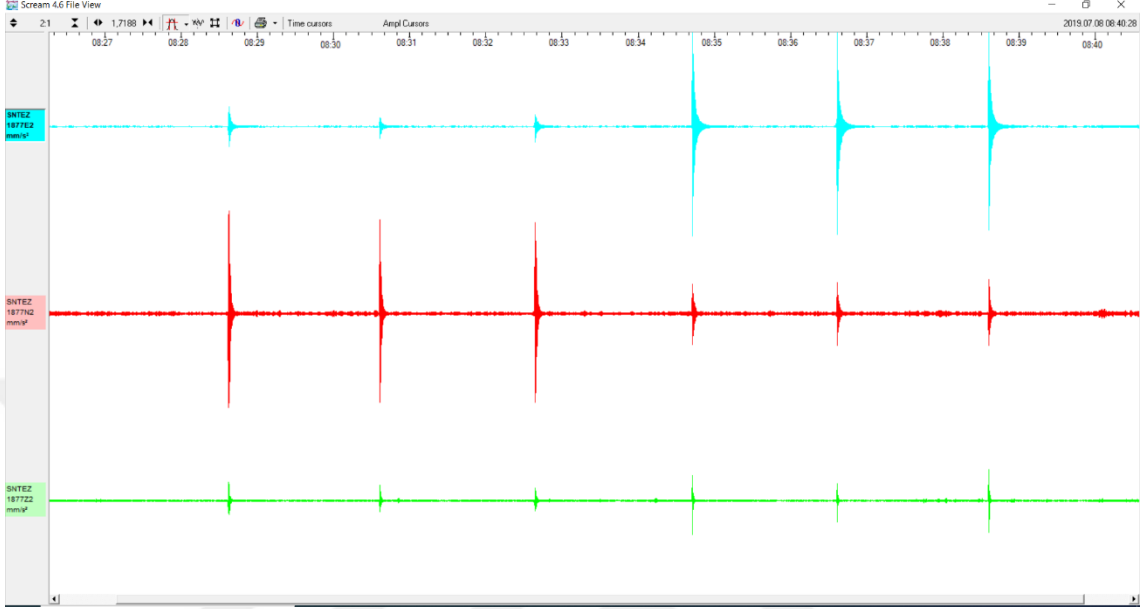
Şekil 4.33 Binanın BEÇÇ’siz ÇÇ’li Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



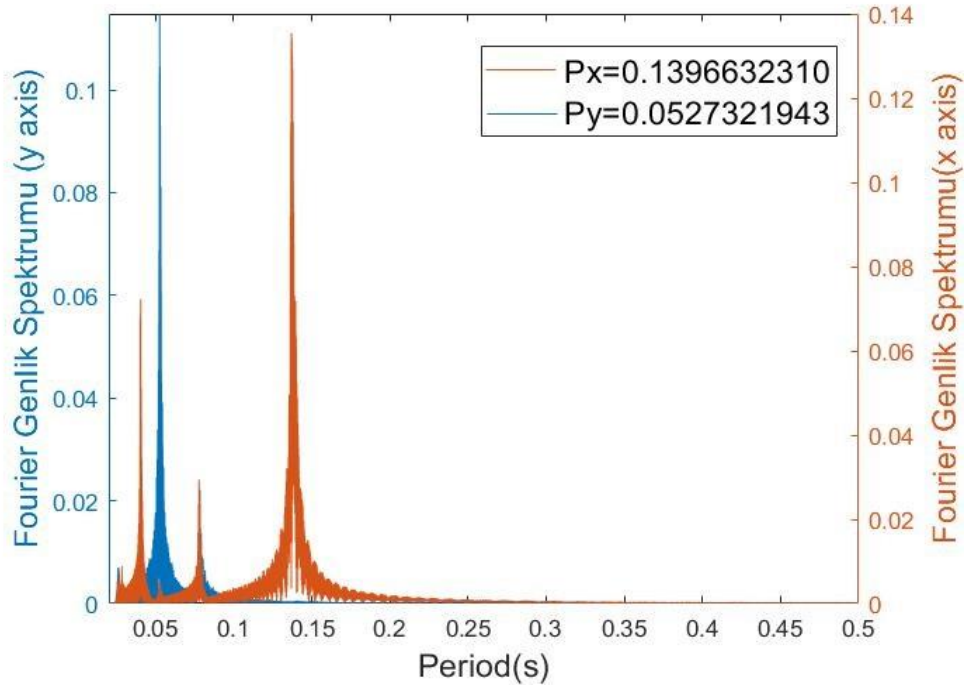
Şekil 4.34 Binanın BEÇÇ’siz ÇÇ’li Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.2.2 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.32’de gösterildiği gibi Ö4 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.35 Binanın BEÇÇ’siz ÇÇ’li Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



Şekil 4.36 Binanın BEÇÇ’siz ÇÇ’li Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.3 İkinci Deney ÇÇ Montajı Yapıldıktan Sonra (BEÇÇ’li) Binanın İvme ve Periyot Sonuçları

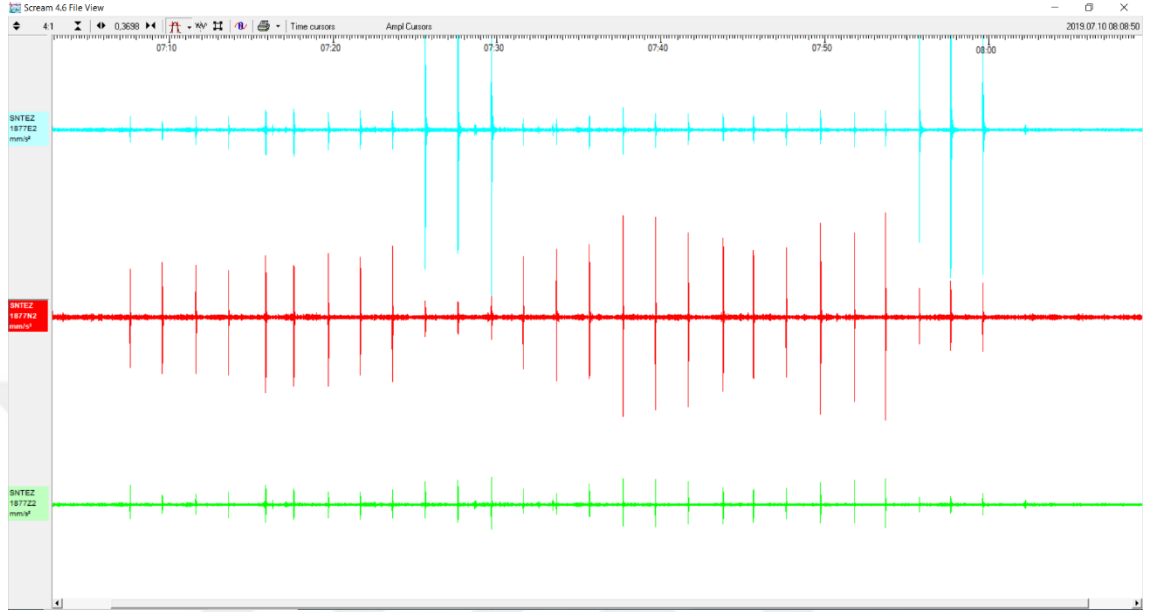
Önceki görsellerde detaylı bir şekilde gösterilen Ö1,Ö2,Ö3 ve Ö4 noktalarından olmak üzere toplam 4 ölçüm yapılmıştır. Deney elemanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li halinde her biri 3 kez olmak üzere V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8 ve V9 noktalarından toplam 27 kez tahrik edilmiştir. Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li haline ait periyotlar ve ortalama değerleri Çizelge 4.8 de verilmiştir.

Çizelge 4.8 ÇÇ montajı yapıldıktan sonra (BEÇÇ’li) yapılan ölçümler

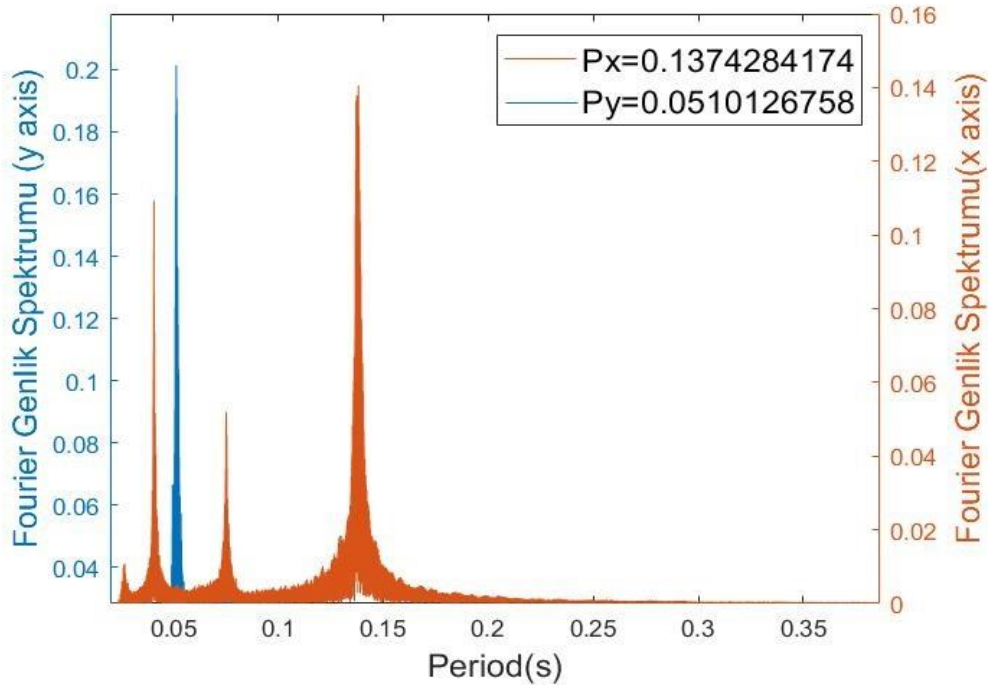
Ölçüm/Periyot	Px	Py
Ö1	0,1374284174	0,0510126758
Ö2	0,1370529668	0,0516412764
Ö3	0,1372909348	0,0517158980
Ö4	0,1384425262	0,0515793865
Ortalama	0,1375537113	0,0514873092

4.2.3.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.29’da gösterildiği gibi Ö1 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



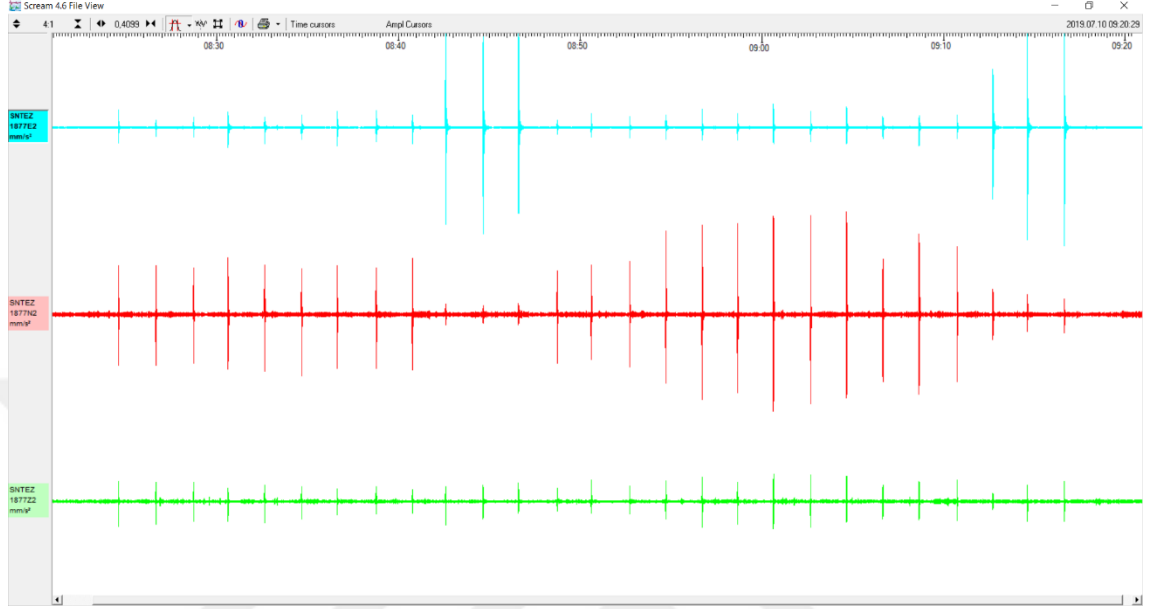
Şekil 4.37 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



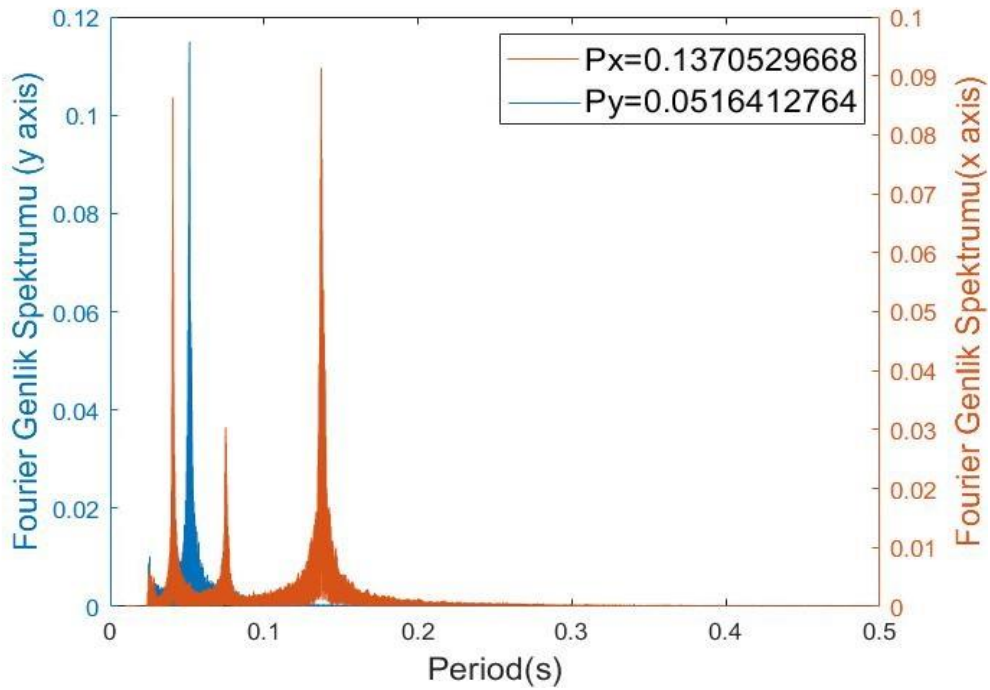
Şekil 4.38 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.3.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.30'da gösterildiği gibi Ö2 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



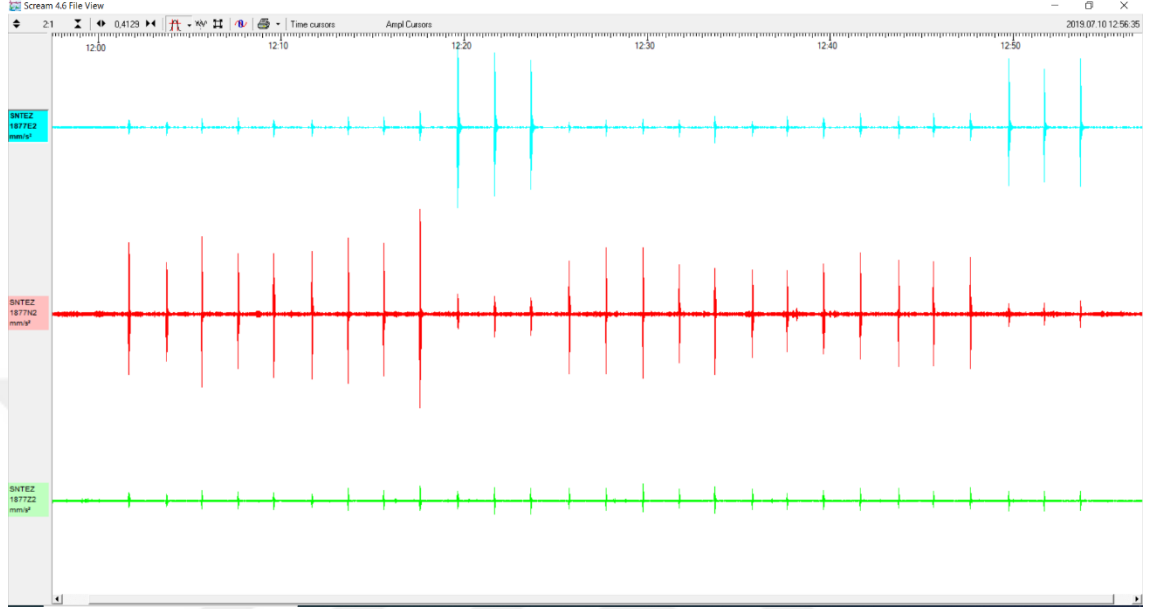
Şekil 4.39 Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



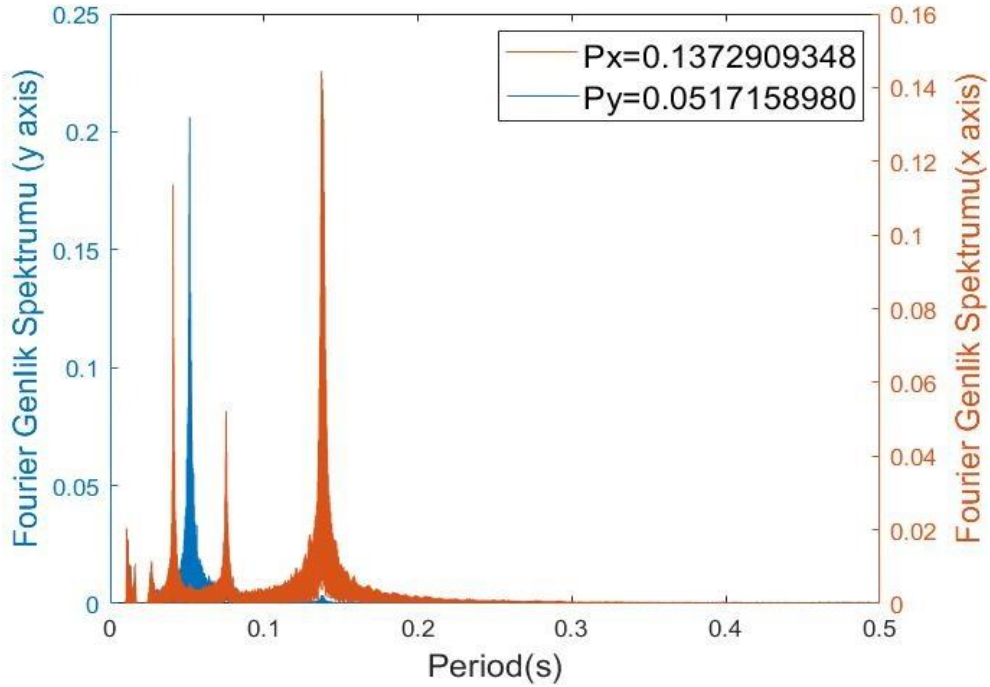
Şekil 4.40 Binanın ÇÇ'li ve BEÇÇ'li Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.3.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.31’de gösterildiği gibi Ö3 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



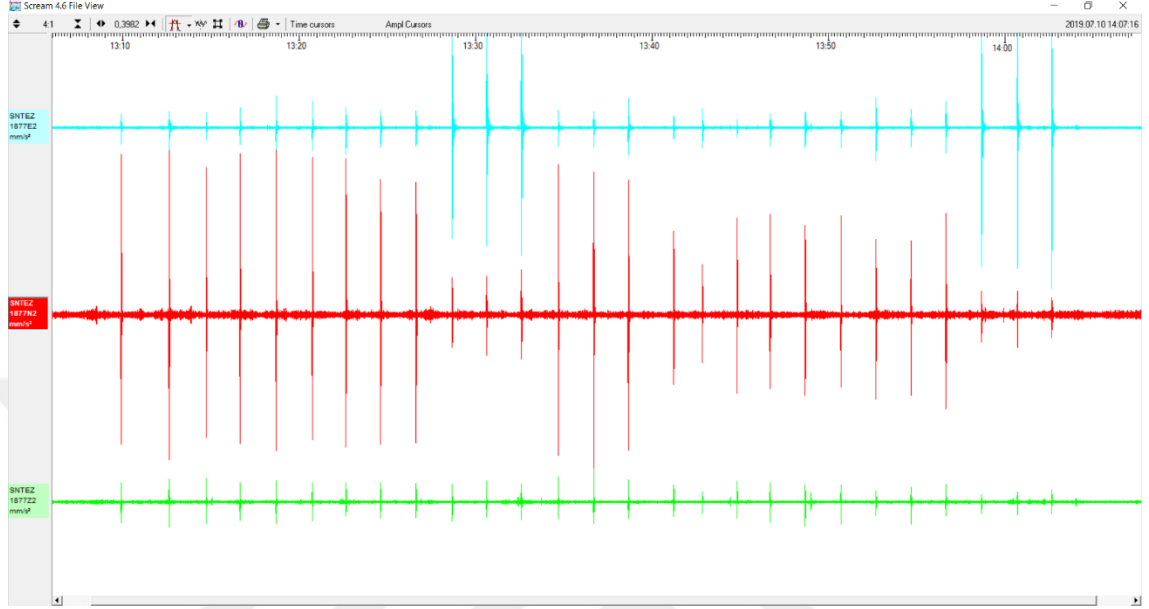
Şekil 4.41 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



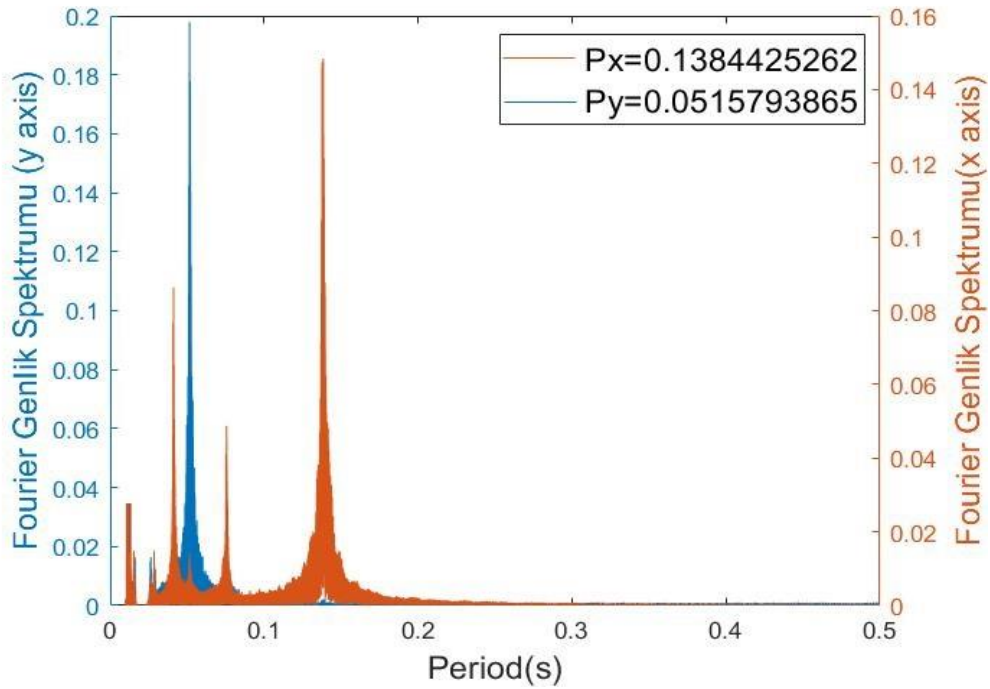
Şekil 4.42 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.3.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.32’de gösterildiği gibi Ö4 noktasından 27 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.43 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



Şekil 4.44 Binanın ÇÇ’li ve BEÇÇ’li Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.4 İkinci Deney Hasarlı Binanın İvme ve Periyot Sonuçları

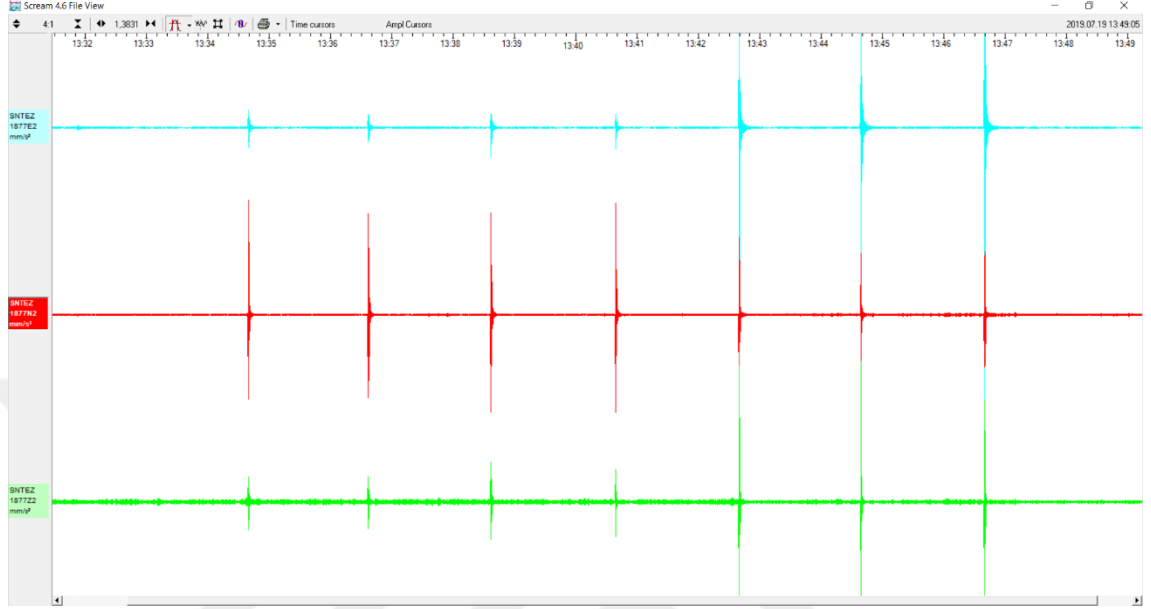
Önceki görsellerde detaylı bir şekilde gösterilen Ö1,Ö2,Ö3 ve Ö4 noktalarından olmak üzere toplam 4 ölçüm yapılmıştır. Deney elemanın hasarlı halinde her biri 3 kez olmak üzere V1 ve V4 noktalarından toplam 6 kez tahrik edilmiştir. Binanın hasarlı haline ait periyotlar ve ortalama değerleri Çizelge 4.9 de verilmiştir.

Çizelge 4.9 Binanın hasarlı haline ait ölçümler

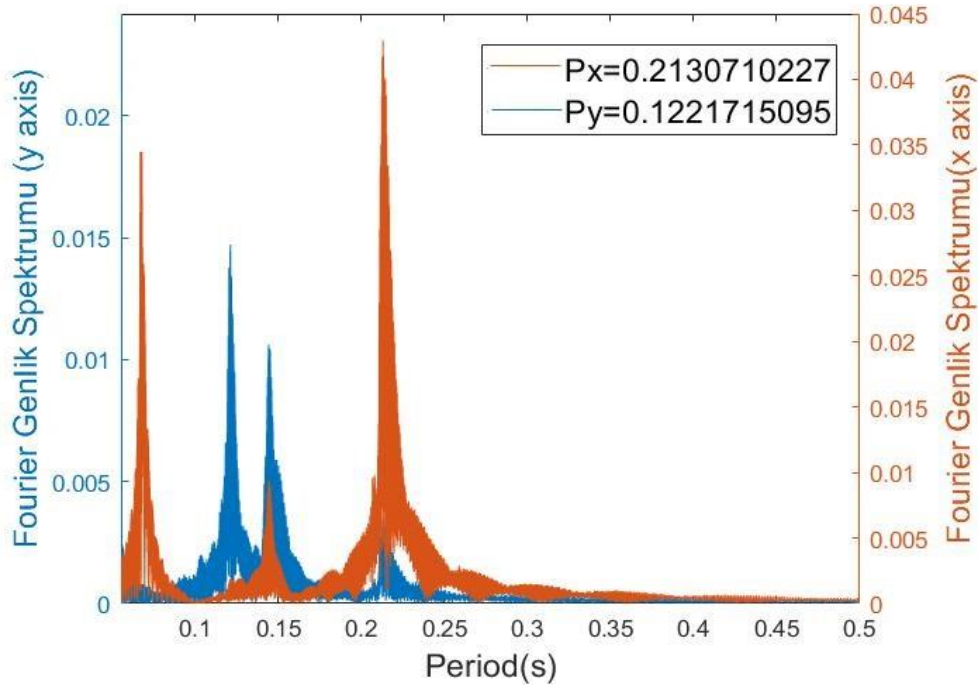
Ölçüm/Periyot	P _x	P _y
Ö1	0,2130710227	0,1221715095
Ö2	0,2173409091	0,1221499856
Ö3	0,2129385148	0,1228139392
Ö4	0,2142501339	0,1225505515
Ortalama	0,2144001451	0,1224214965

4.2.4.1 Birinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.29’da gösterildiği gibi Ö1 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



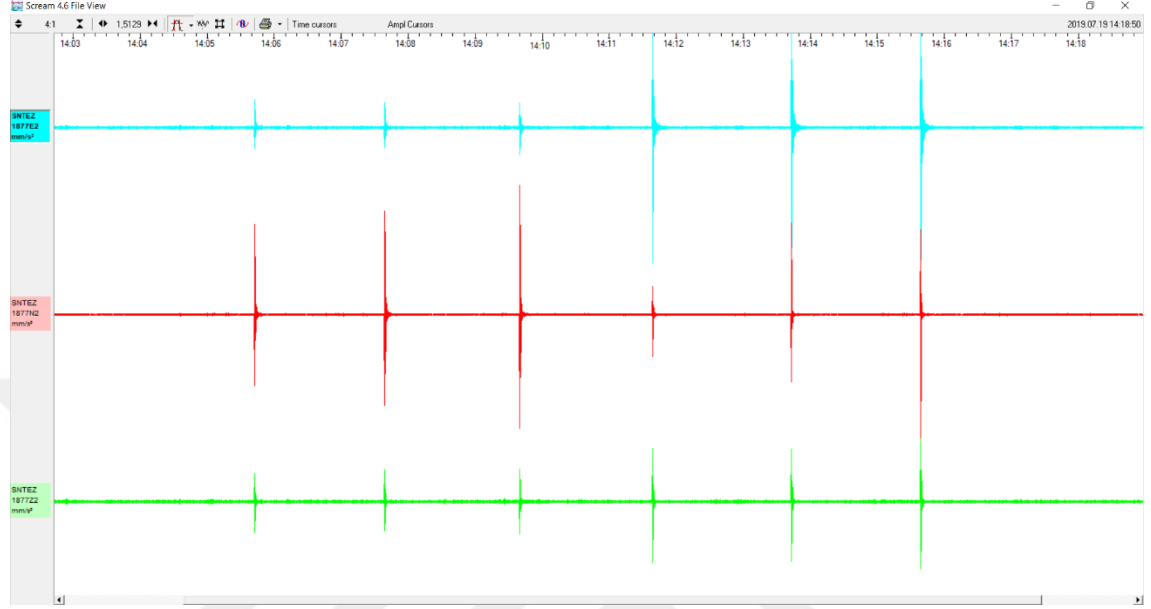
Şekil 4.45 Binanın hasarlı halinin Ö1 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



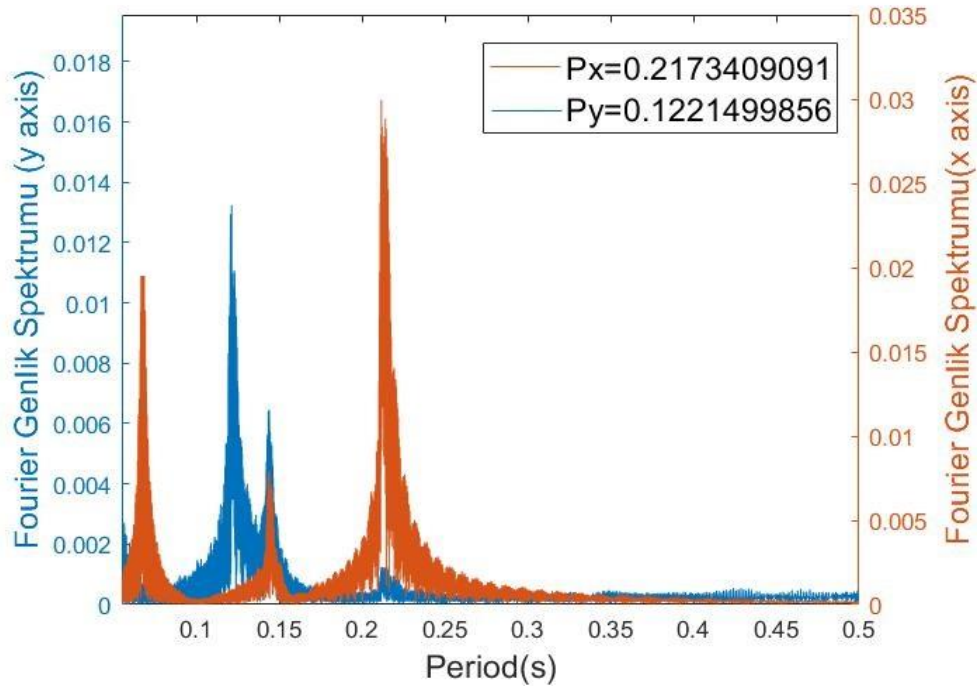
Şekil 4.46 Binanın hasarlı halinin Ö1 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.4.2 Birinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.30’da gösterildiği gibi Ö2 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



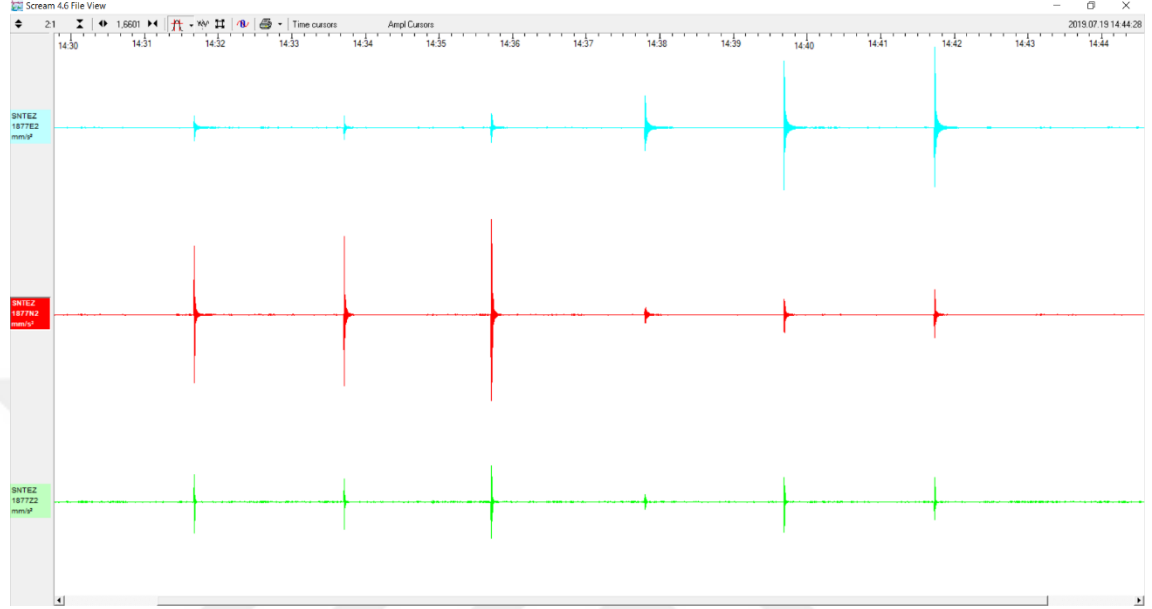
Şekil 4.47 Binanın hasarlı halinin Ö2 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



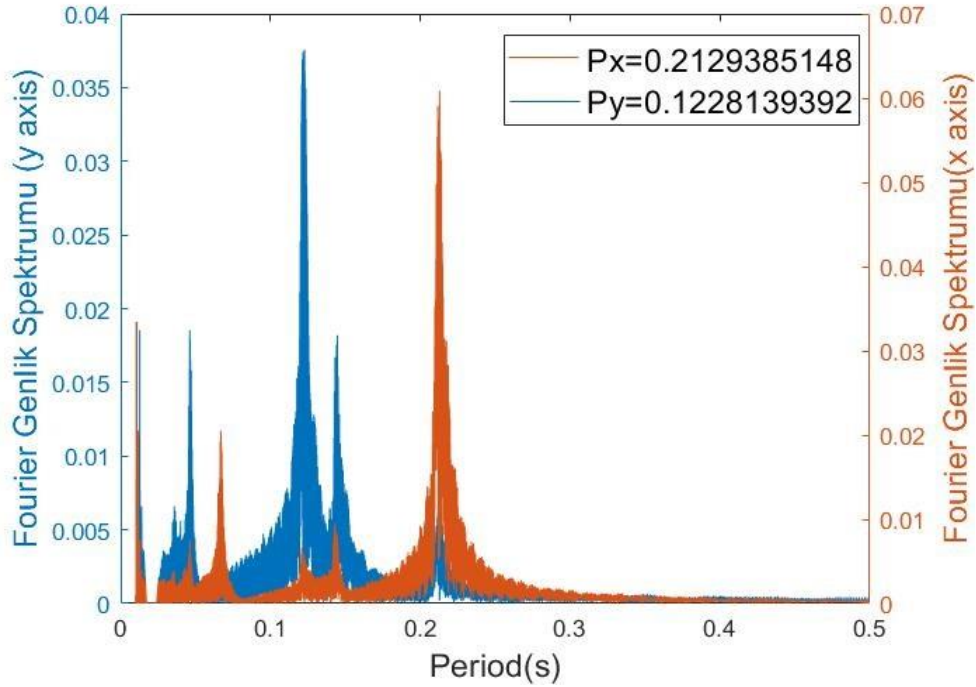
Şekil 4.48 Binanın hasarlı halinin Ö2 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.4.3 İkinci Kat Sol Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.31’de gösterildiği gibi Ö3 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



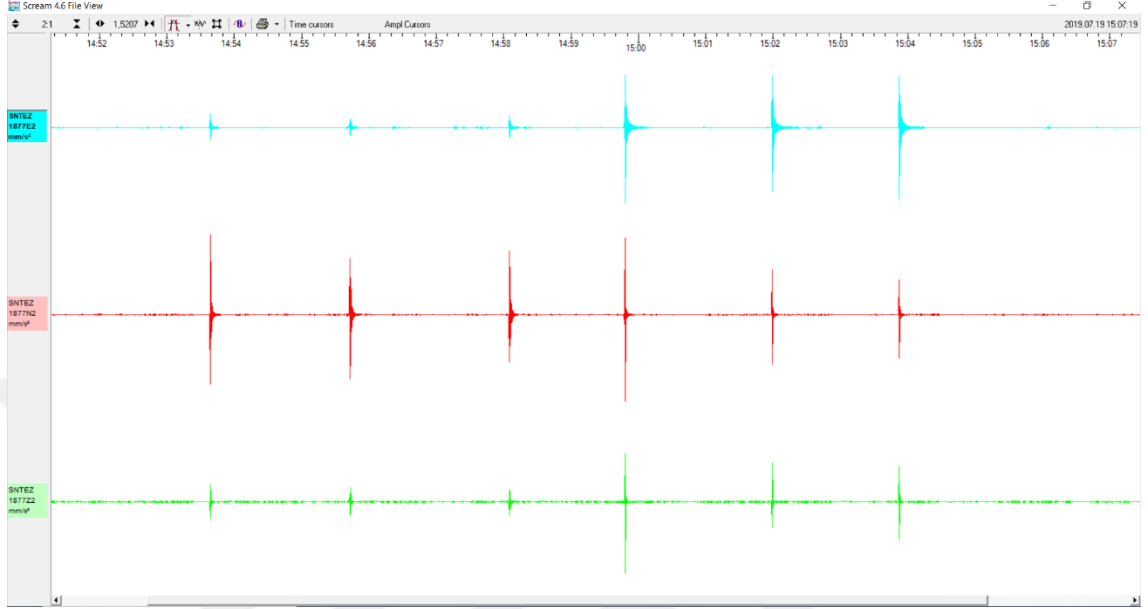
Şekil 4.49 Binanın hasarlı halinin Ö3 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



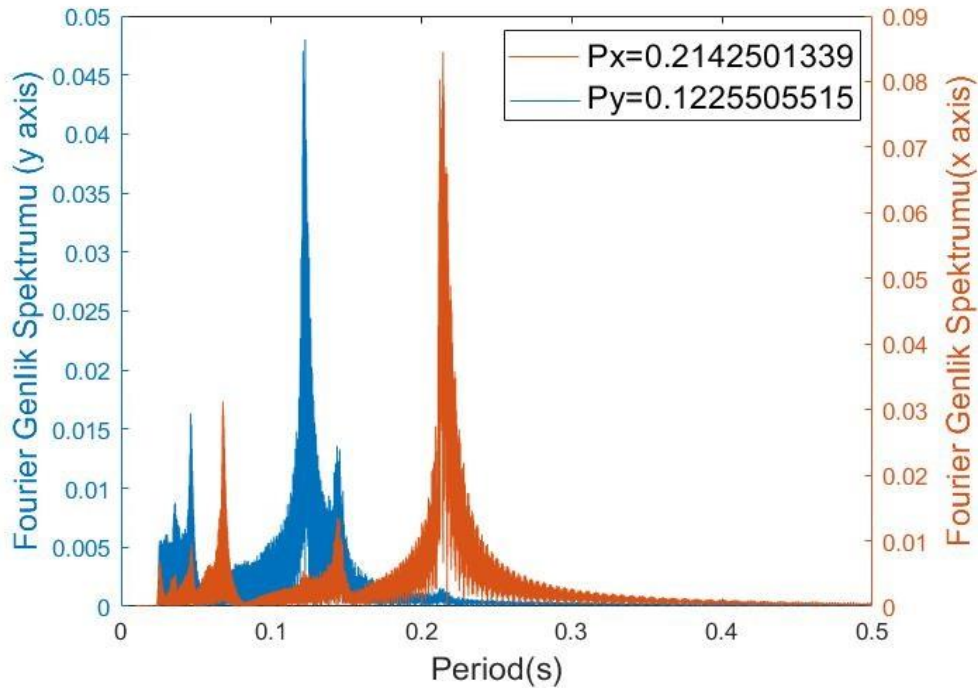
Şekil 4.50 Binanın hasarlı halinin Ö3 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

4.2.4.4 İkinci Kat Sağ Taraf Ölçümleri

İvme ölçümü, Şekil 3.32’de gösterildiği gibi Ö4 noktasından 6 vuruşla yapılmıştır. Ölçüme ait ivme-zaman kayıtları ve x ve y doğrultularına ait periyot değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.51 Binanın hasarlı halinin Ö4 ölçümüne ait ivme-zaman kayıtları(mm/s²)



Şekil 4.52 Binanın hasarlı halinin Ö4 ölçümüne ait X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri

Çizelge 4.10 İkinci deney için yapılan ölçümler

Ölçüm/Periyot		Px	Py
DUVARLI	Ö1	0,1751940026	0,0576615314
	Ö2	0,1762920028	0,0581796865
	Ö3	0,1769496091	0,0583523776
	Ö4	0,1766696551	0,0590372550
	ORT.	0,1762763174	0,0583077126
ÇÇ'li BEÇÇ'siz	Ö2	0,1401691103	0,0517576730
	Ö4	0,1396632310	0,0527321943
	ORT.	0,1399161707	0,0522449337
ÇÇ'li BEÇÇ'li	Ö1	0,1374284174	0,0510126758
	Ö2	0,1370529668	0,0516412764
	Ö3	0,1372909348	0,0517158980
	Ö4	0,1384425262	0,0515793865
	ORT.	0,1375537113	0,0514873092
HASARLI	Ö1	0,2130710227	0,1221715095
	Ö2	0,2173409091	0,1221499856
	Ö3	0,2129385148	0,1228139392
	Ö4	0,2142501339	0,1225505515
	ORT.	0,2144001451	0,1224214965

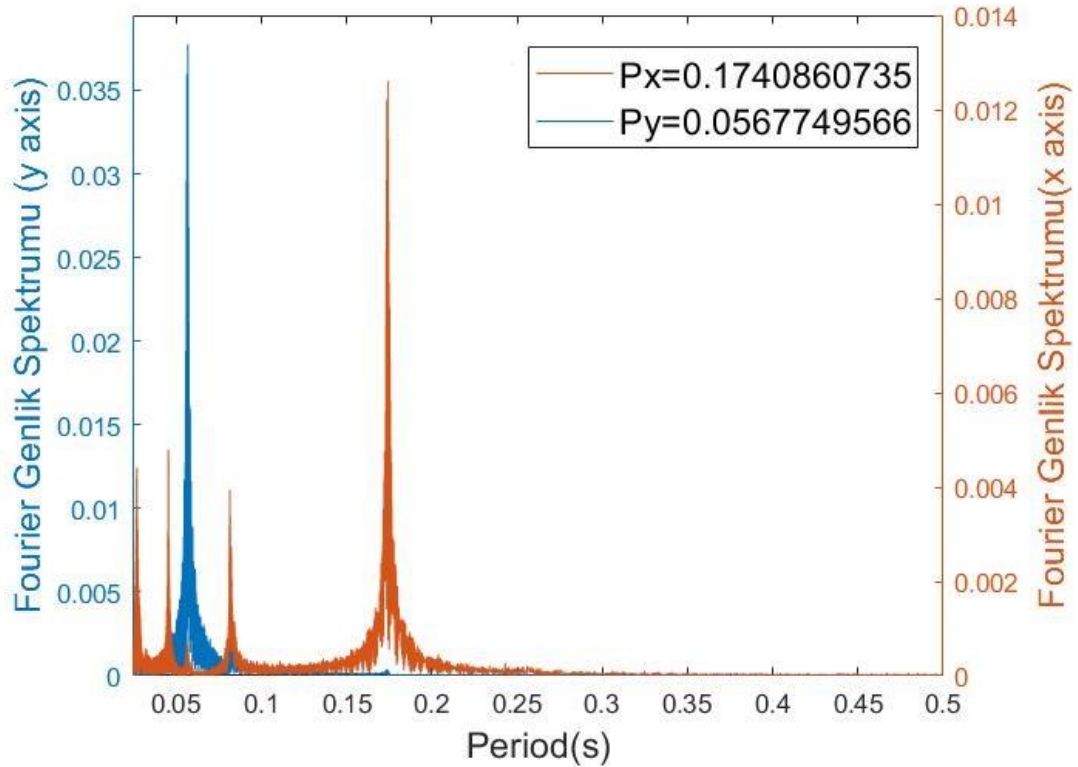
4.3 İkinci Deney Duvarlı Halinin Ö1 Ölçümüne Ait İvme ve Periyot Değerlerinin Vuruş Yerlerine Göre İncelenmesi

Vuruş yerlerine göre periyot değerlerinin değişimini incelemek için ikinci deneyin duvarlı haline ait Ö1 ölçümü seçilmiştir. Buna göre ayrı ayrı V1,V2,V3 V4,V5,V6,V7,V8 ve V9 vuruş yerlerine ait periyot değerleri Şekil 4.53, 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60, 4.61 ve çizelge 4.11’de verilmiştir.

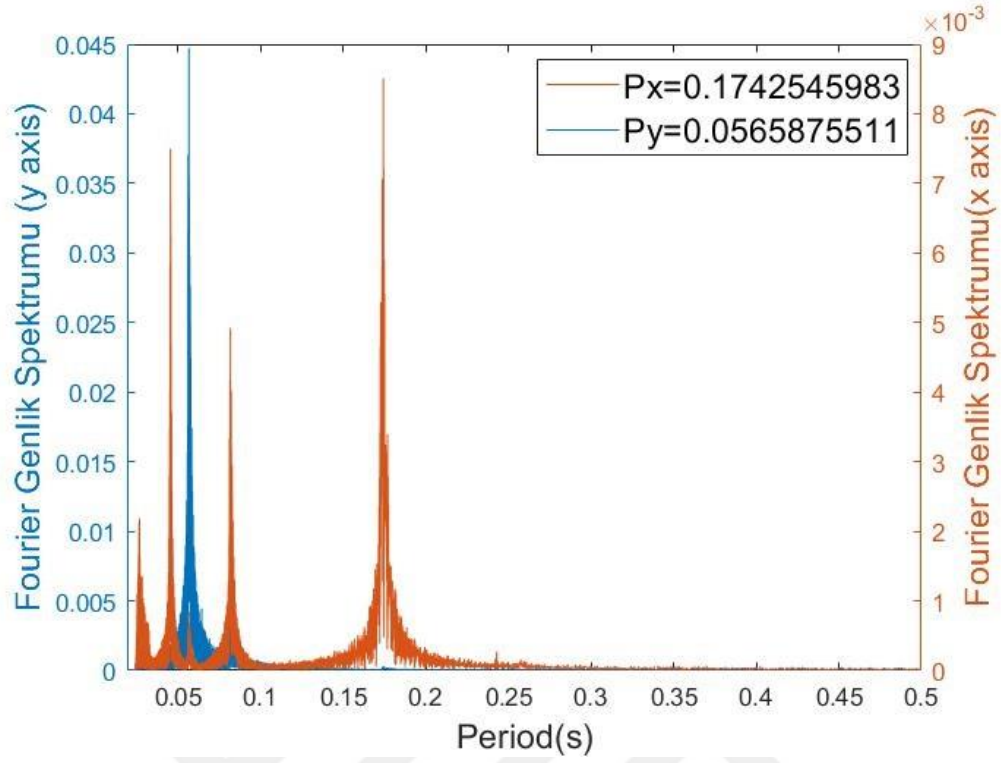
Çizelge 4.11 İkinci deney duvarlı halinin Ö1 ölçümünün vuruş yerlerine göre periyot değerlerinin incelenmesi

Ölçüm/Periyot	P _x	P _y
V1	0,1740860735	0,0567749566
V2	0,1742545983	0,0565875511
V3	0,1741702951	0,0561901046
V4	0,1751941288	0,0561898254
V5	0,1747428857	0,0576717746
V6	0,1751112163	0,0577508975
V7	0,1749319728	0,0577401764
V8	0,1756344086	0,0577193272
V9	0,1754432133	0,0566333830
Ö1	0,1751940026	0,0576615314

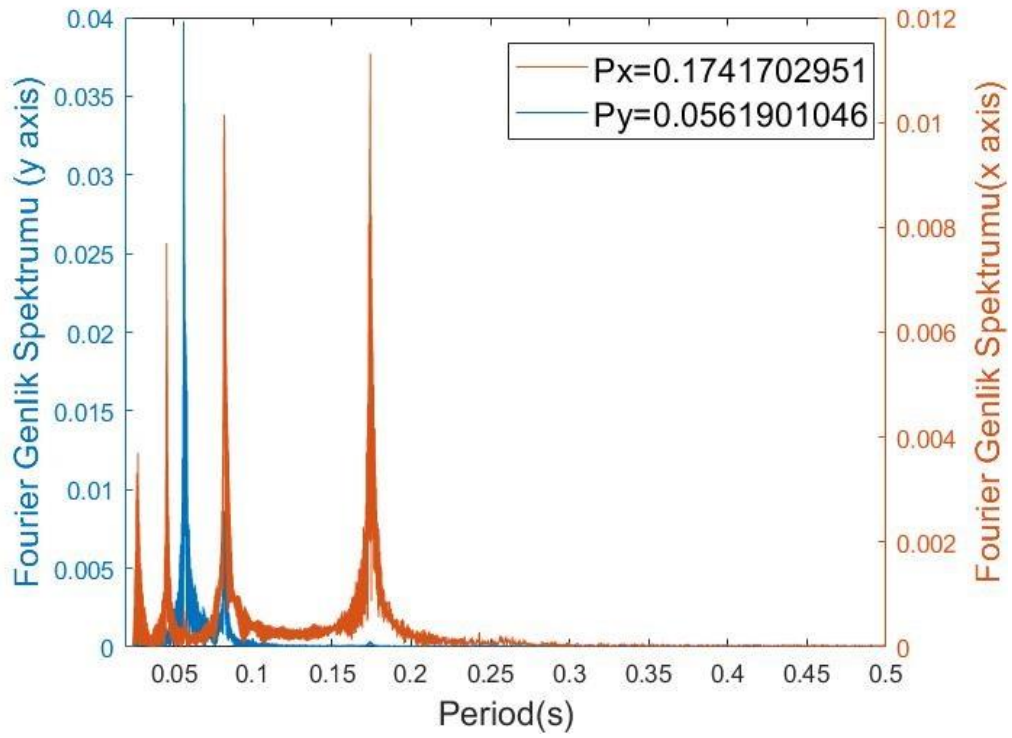
Bu veriler ışığında ivme ölçüm işleminde vuruş (tahrik) noktasının periyot değerine etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu anlaşılmıştır.



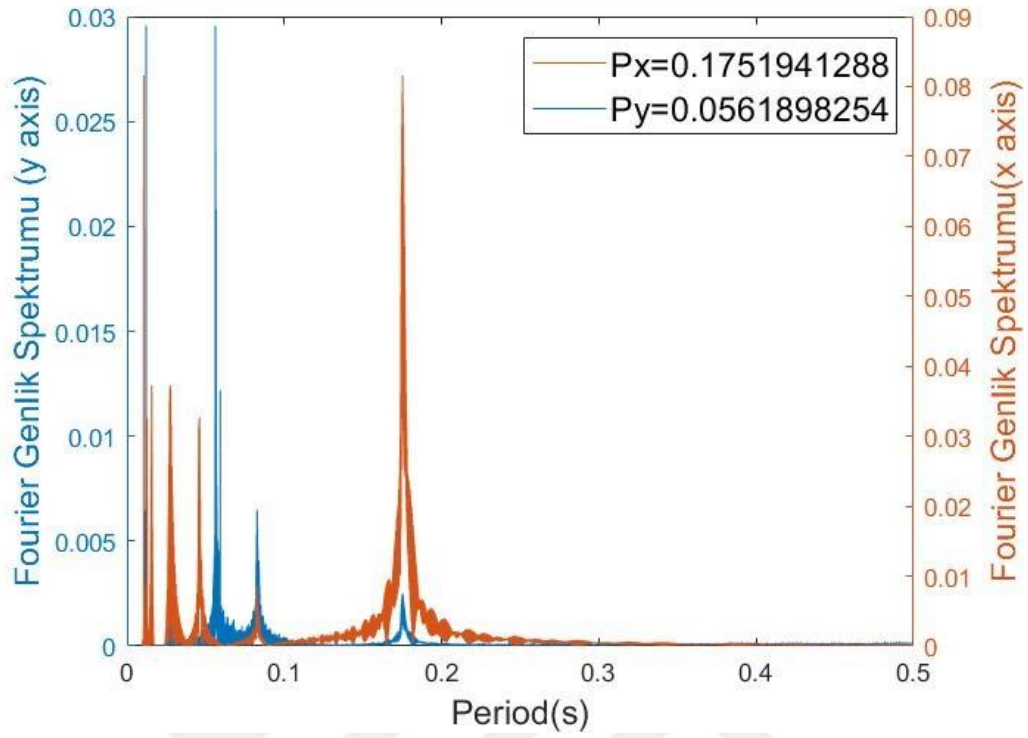
Şekil 4.53 V1 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



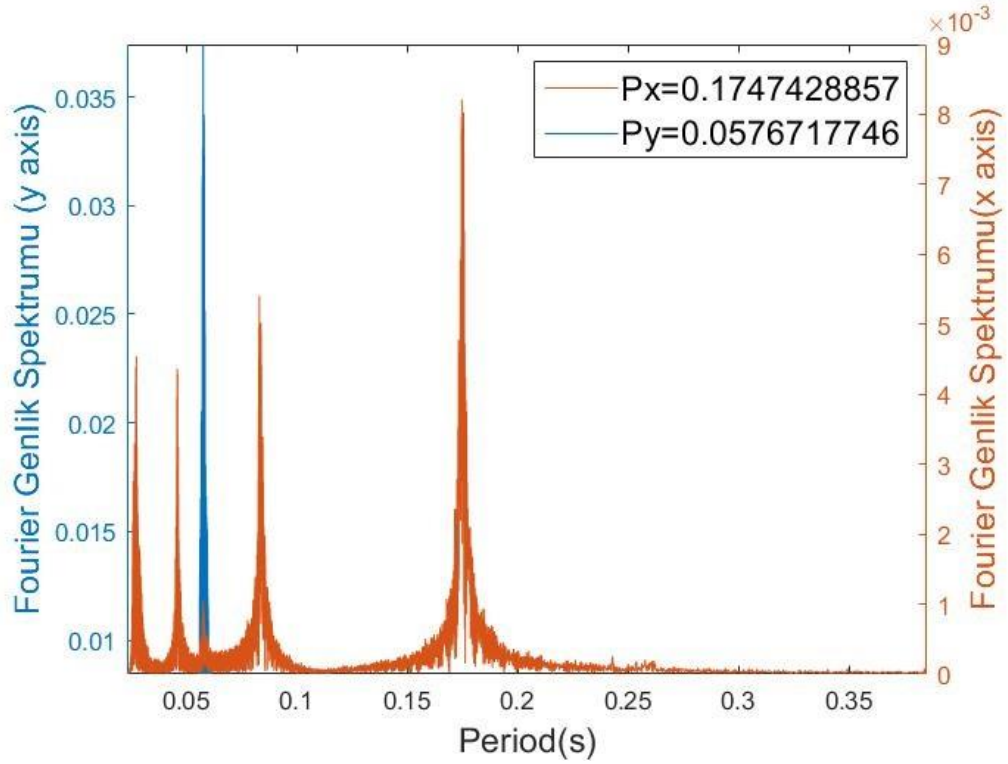
Şekil 4.54 V2 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



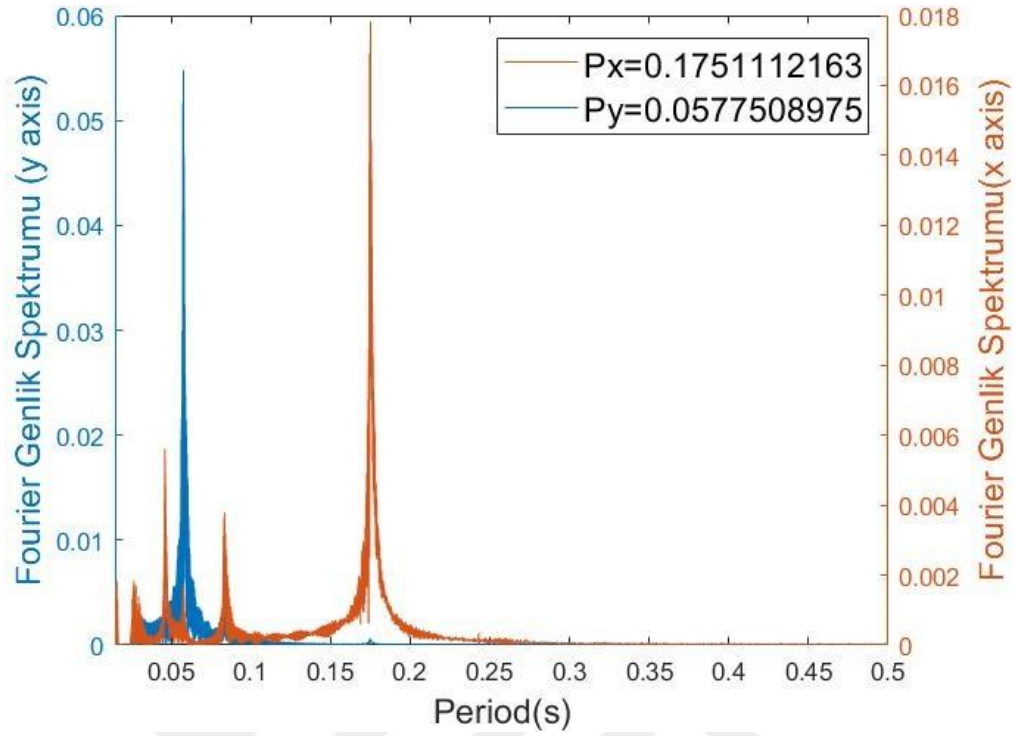
Şekil 4.55 V3 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



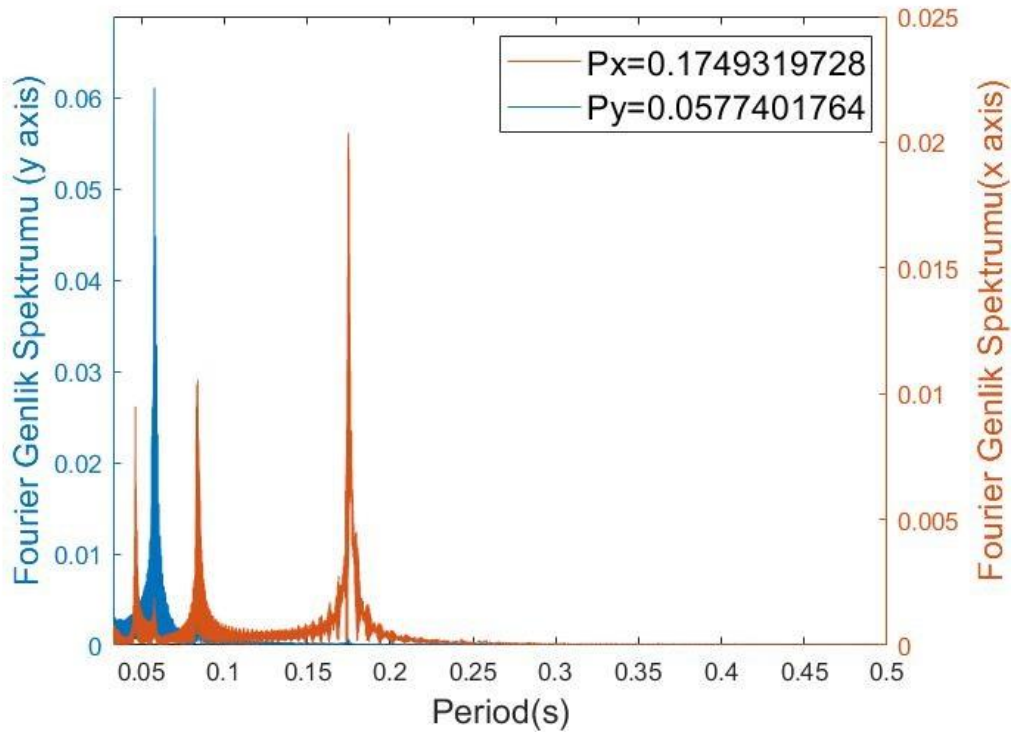
Şekil 4.56 V4 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



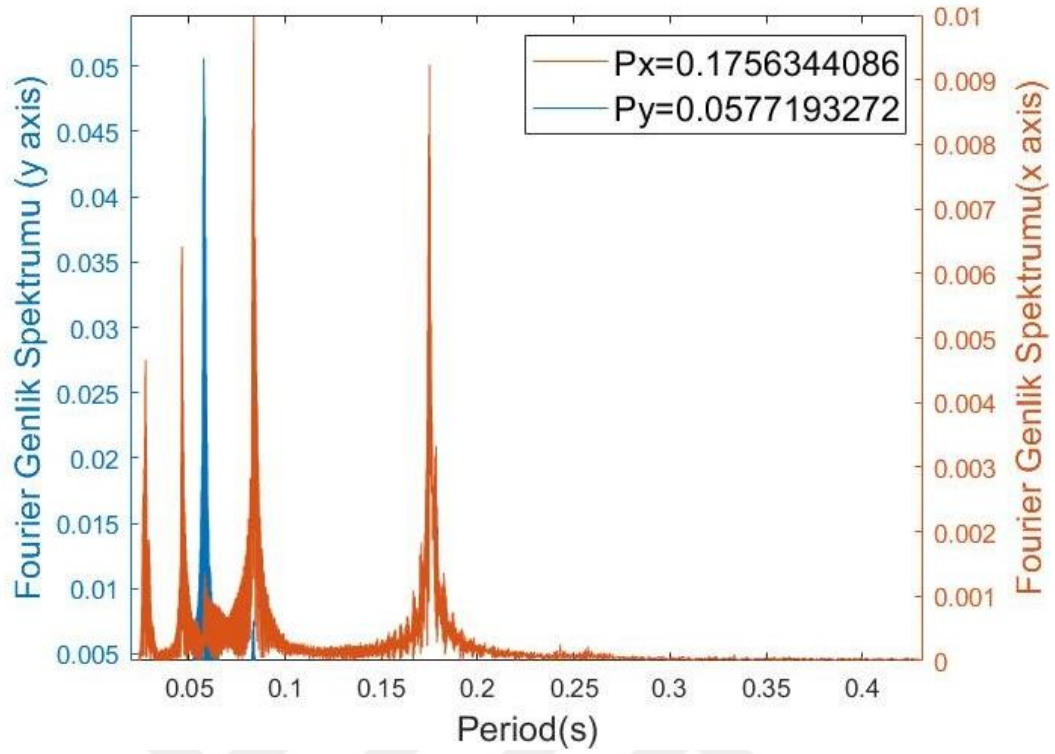
Şekil 4.57 V5 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



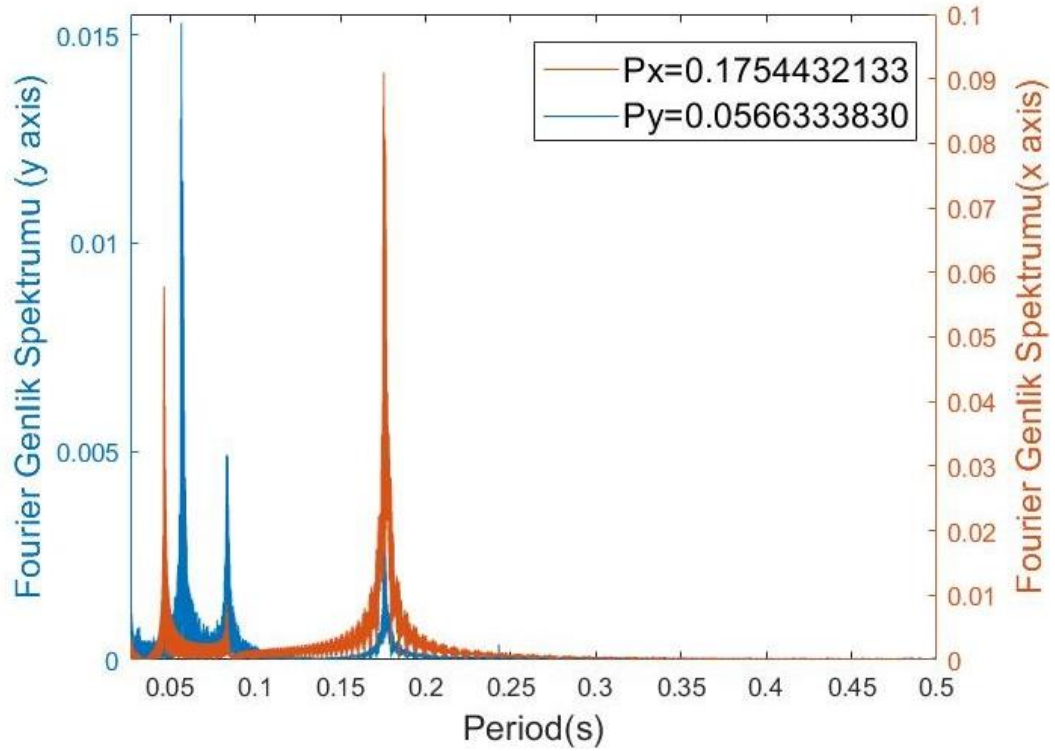
Şekil 4.58 V6 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



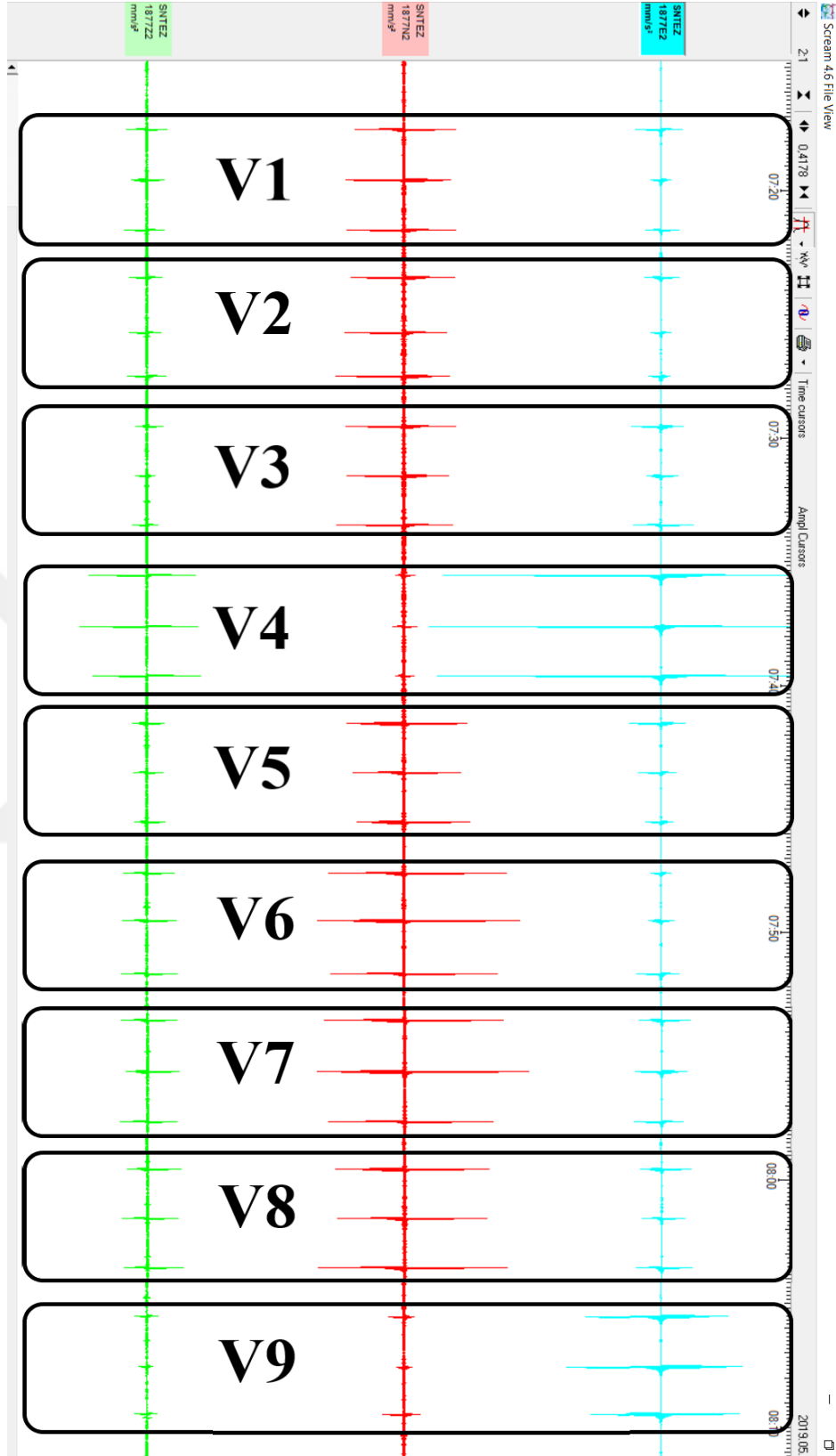
Şekil 4.59 V7 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



Şekil 4.60 V8 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



Şekil 4.61 V9 vuruş yerine göre X ve Y doğrultularının Periyot(s) değerleri



Şekil 4.62 İkinci deney duvarlı halinin Ö1 ölçümünün vuruş yerlerine göre ivme-zaman kaydı(mm/s^2)

4.4 Görelî Kat Ötelemelerine Göre Deney Elemanlarında Gözlenen Hasarlar ve Deney Elemanına Ait Grafikler

4.4.1 Birinci Deneyde Gözlenen Hasarlar ve Grafikler

%0,3 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.63'te gösterilmiştir. İkinci kat duvarlarında kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Betonarme taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.63 %0,3 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%0,5 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.64'te gösterilmiştir. İkinci kat duvarlarındaki mevcut kılcal çatlaklar yayılmaya ve genişlemeye devam etmiştir.



Şekil 4.64 %0,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%1 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.65'te gösterilmiştir. İkinci kat duvarlarındaki mevcut çatlaklar yayılmaya ve genişlemeye devam etmiş ve yeni çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Dış açıklıktaki birinci kattaki kirişlerde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Dolgu duvar ve betonarme çerçeve arasında kılcal seviyede ayrılmalar meydana gelmiştir.



Şekil 4.65 %1 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%1,5 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.66’da gösterilmiştir. Birinci kat kolon temel filizlerinde pas payı dökülmeye başlamıştır ve bindirme bölgesindeki donatılar betondan sıyrılmıştır. İkinci kat duvarlarındaki çatlaklar genişlemeye devam etmiştir. Her iki katta özellikle dış açıklıktaki girişlerde mevcut çatlaklar genişlemeye devam etmiş ve yeni çatlaklar oluşmuştur. Orta açıklıktaki sürekli temellerde güçlendirme çerçevesinin taban plakası çevresinde çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 4.66 %1,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%2 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.67’de gösterilmiştir. Birinci kat kolon temel filizlerinde ileri seviyede açılma meydana gelmiştir. Orta açıklıktaki sürekli temellerdeki mevcut çatlaklar yayılmaya devam etmiştir ve temellerde ciddi hasarlar meydana gelmiştir.



Şekil 4.67 %2 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%2,5 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.68’de gösterilmiştir. Birinci kat orta açıklıktaki duvarlar temelden ayrılmıştır. 2. kat dış açıklık duvarlarındaki çatlaklar belirgin bir şekilde genişlemiştir. Orta açıklıktaki sürekli temelleri taban plakalarından ayrılmıştır.

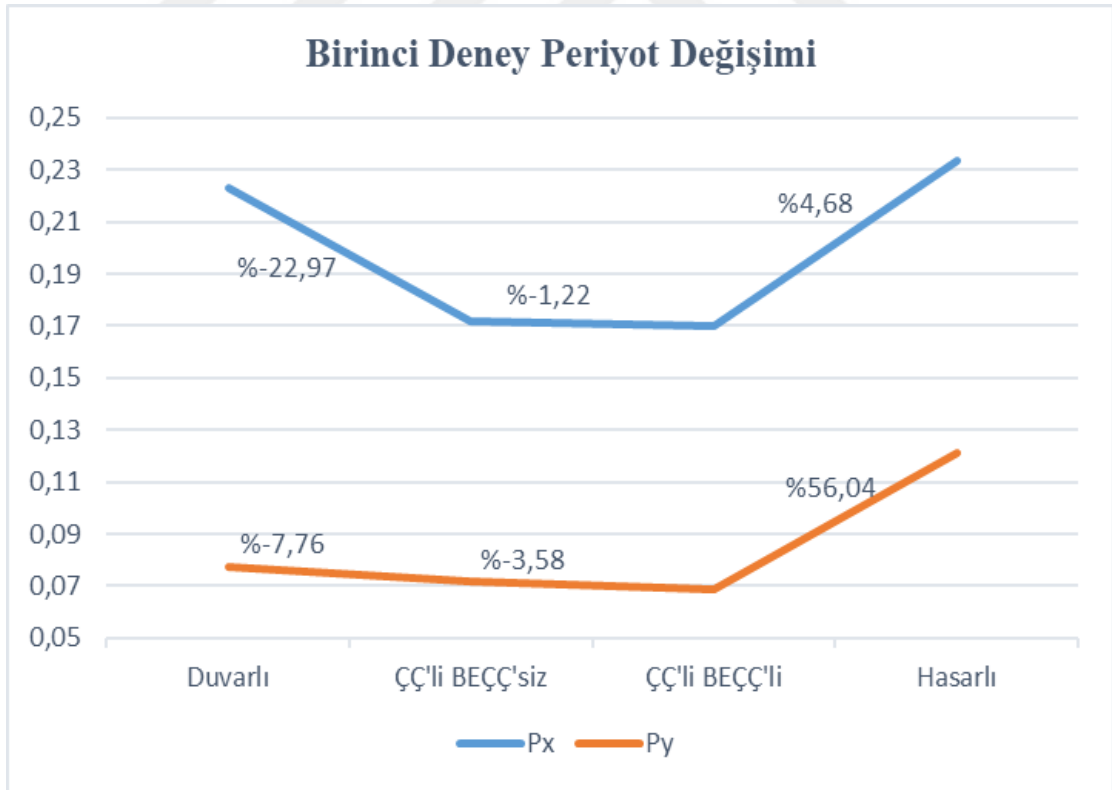


Şekil 4.68 %2,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%3 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.69’da gösterilmiştir. Betonarme bina ciddi bir hasar almış ve deney sonlanmıştır.



Şekil 4.69 %3 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar



Şekil 4.70 Birinci deneye ait periyot değişimi

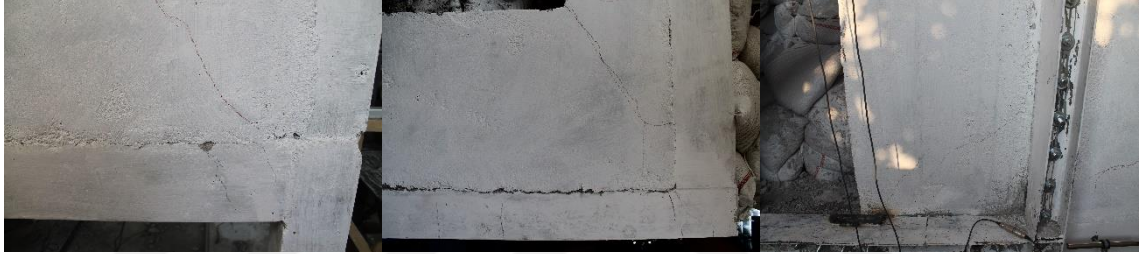
4.4.2 İkinci Deneyde Gözlenen Hasarlar ve Grafikler

%0,3 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.71’de gösterilmiştir. İkinci kat duvarlarında kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Betonarme taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.71 %0,3 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%0,5 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.72’de gösterilmiştir. İkinci kat duvarlarındaki mevcut kılcal çatlaklar yayılmaya ve genişlemeye devam etmiştir.



Şekil 4.72 %0,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%1 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.73’te gösterilmiştir. İkinci kat duvarlarındaki mevcut çatlaklar yayılmaya ve genişlemeye devam etmiş ve yeni çatlaklar oluşmaya başlamıştır.



Şekil 4.73 %1 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%1,5 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.74'te gösterilmiştir. Birinci kat orta açıklık duvarlarında belirgin diyagonal çatlaklar oluşmuştur. İkinci kat duvarlarındaki çatlaklar genişlemeye devam etmiştir. Güçlendirme çerçevesinin montajlandığı orta açıklıkta birinci kat kolon kiriş birleşimlerinde kesme çatlakları



oluşturmuştur.

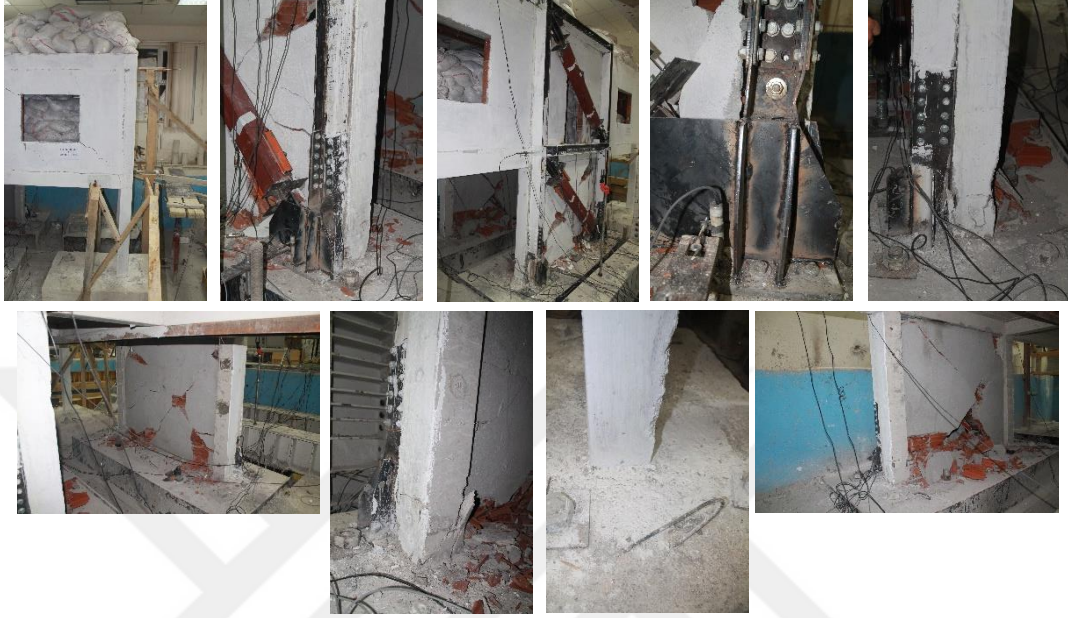
Şekil 4.74 %1,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%2 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.75'te gösterilmiştir. Birinci ve ikinci katlar duvarlarındaki çatlaklar genişlemeye devam etmiş ve yeni çatlaklar oluşmuştur. Önceki çatlaklara ek olarak dış açıklık birinci kat kolon kiriş birleşimlerinde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca güçlendirme çerçevesinin kolon başlıklarında eğilmeler meydana gelmiştir.



Şekil 4.75 %2 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

%2,5 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.76’da gösterilmiştir. Birinci ve ikinci kat duvarlarındaki çatlaklar giderek genişlemiştir. Kolon kiriş birleşimlerinde hasarlar yaygınlaşmıştır. Temel kolon birleşimlerinde pas payları dökülmeye başlamıştır.



Şekil 4.76 %2,5 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

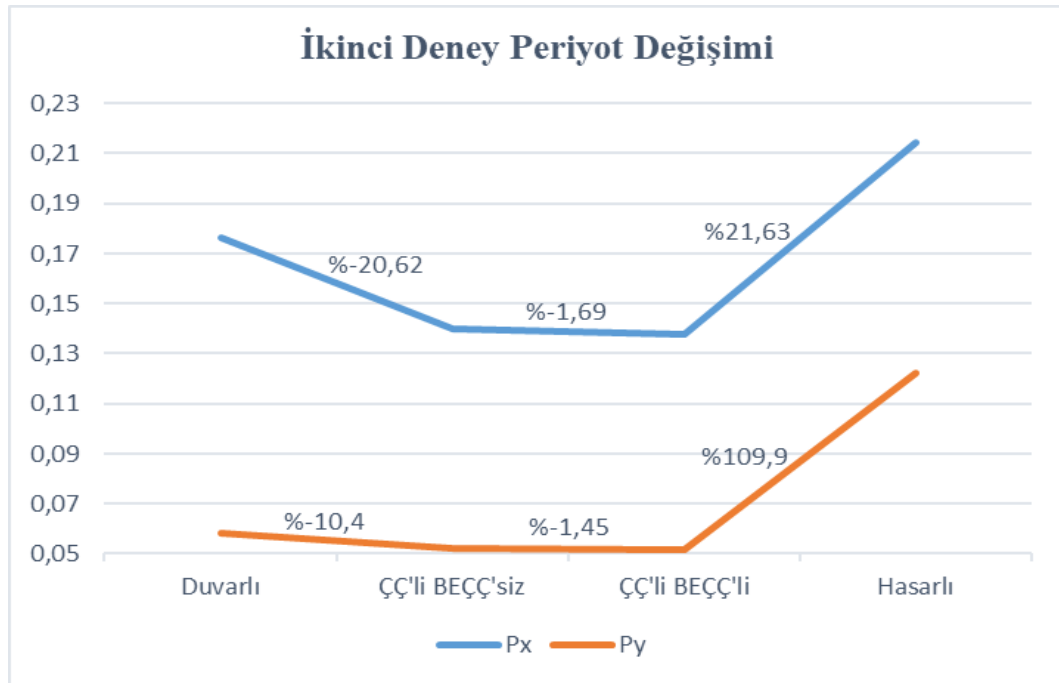
%3 görelî kat ötelemesine ait hasarlar Şekil 4.77 ve Şekil 4.78’de gösterilmiştir. Betonarme bina ciddi bir hasar almış ve deney sonlanmıştır.



Şekil 4.77 %2 görelî kat ötelemesinde gözlenen hasarlar



Şekil 4.78 %2 göreli kat ötelemesinde gözlenen hasarlar

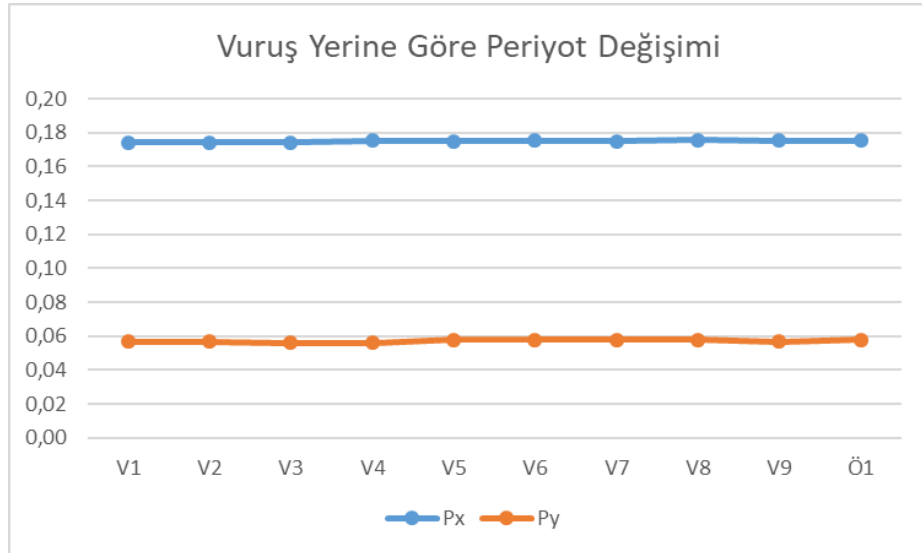


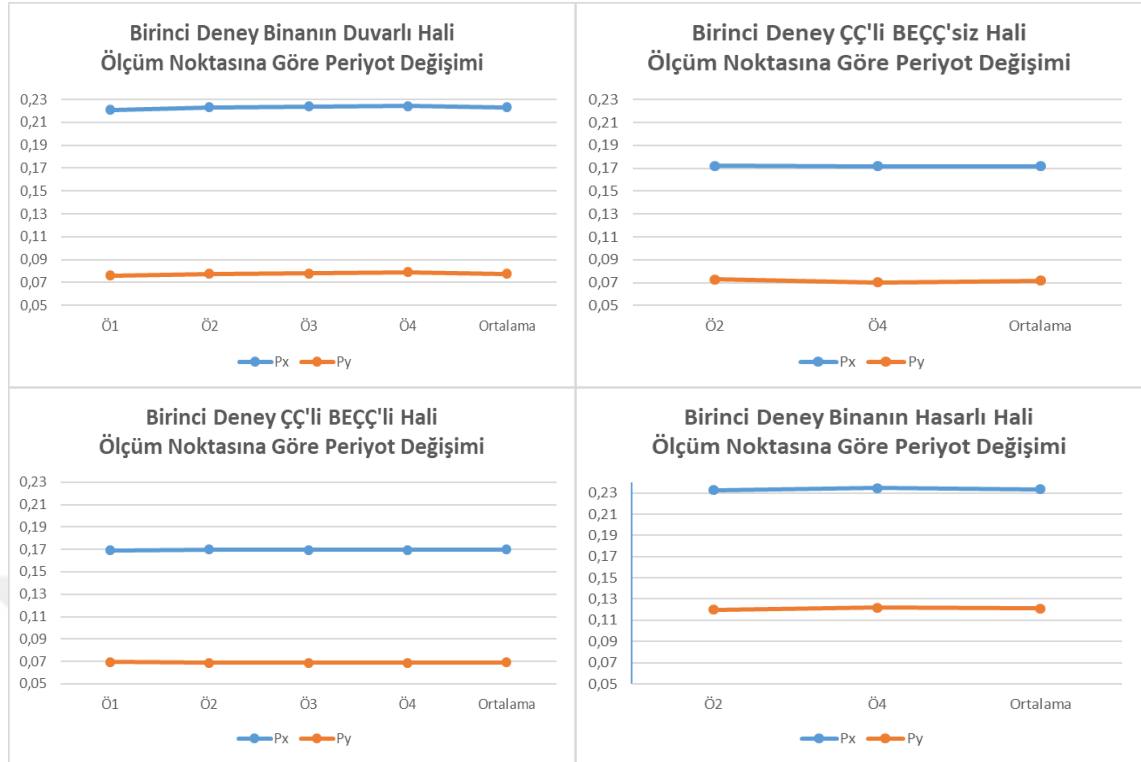
Şekil 4.79 İkinci deneye ait periyot değişimi

Temeli güçlendirilmeden yapılan birinci deneyde Ö1, Ö2, Ö3 ve Ö4 ölçüm noktaları ve V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8 ve V9 vuruş noktaları kullanılarak binanın duvarlı halinde 4 adet , ÇÇ'li BEÇÇ'siz halinde 2 adet ÇÇ'li BEÇÇ'li halinde 4 adet , hidrolik piston yardımıyla verilen yatay kuvvetten sonra binanın hasarlı halinde 2 adet olmak üzere toplam 12 ivme ölçümü yapılmıştır. Her bir ölçümün periyot değerleri hesaplanmıştır. Bu periyot değerlerine göre Çizelge 4.1 , Çizelge 4.2 , Çizelge 4.3 , Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5 hazırlanmıştır. Bu çizelgelere bakıldığında ivme ölçümü yapılacak yerin yapı periyodunu neredeyse hiç etkilemediği sonucuna varılmıştır.

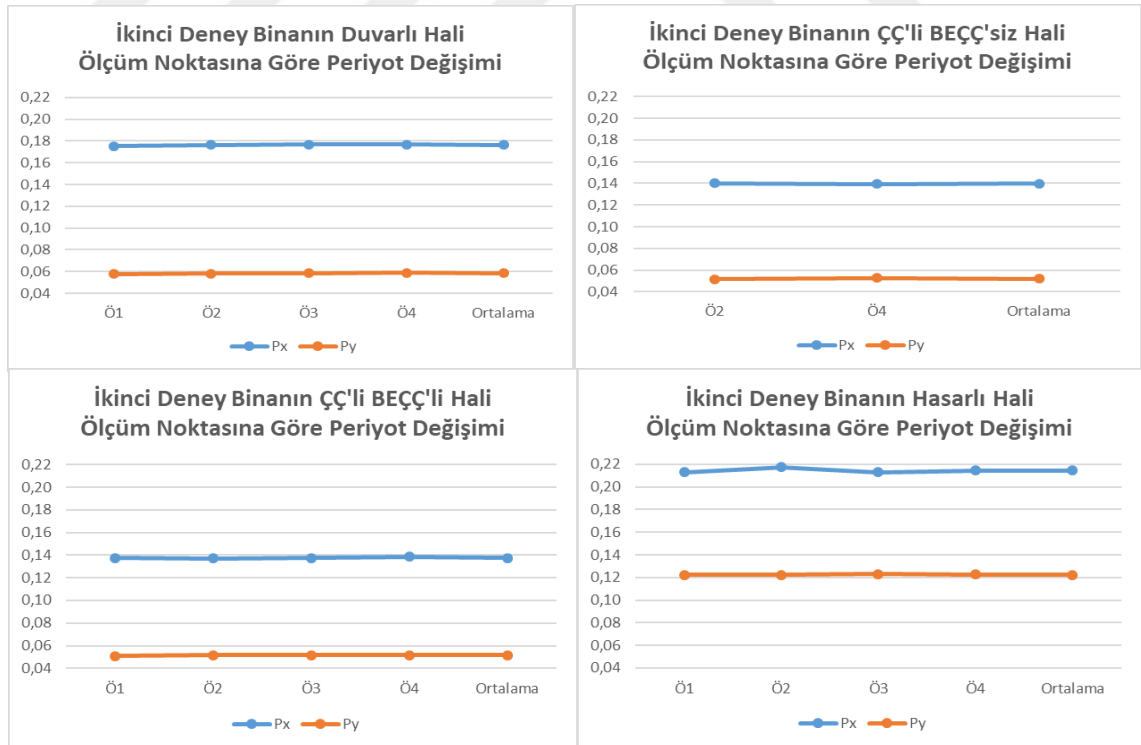
Temeli güçlendirilerek yapılan ikinci deneyde yine Ö1, Ö2, Ö3 ve Ö4 ölçüm noktaları ve yine V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8 ve V9 vuruş noktaları kullanılarak binanın duvarlı halinde 4 adet , ÇÇ'li BEÇÇ'siz halinde 2 adet ÇÇ'li BEÇÇ'li halinde 4 adet , hidrolik piston yardımıyla verilen yatay kuvvetten sonra binanın hasarlı halinde 4 adet olmak üzere toplam 14 ivme ölçümü yapılmıştır. Her bir ölçümün periyot değerleri hesaplanmıştır. Bu periyot değerlerine göre Çizelge 4.6 , Çizelge 4.7 , Çizelge 4.8 , Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 hazırlanmıştır. Bu çizelgelere bakıldığında yine ivme ölçümü yapılacak yerin yapı periyodunu neredeyse hiç etkilemediği sonucuna varılmıştır.

Ayrıca ölçüm noktasının yanında vuruş(tahrik) noktasının da öneminin tayini için bir ölçüm seçilmiş ve vuruş yerlerine göre periyot sonuçları incelenmiştir. İncelenmek üzere seçilen ölçüm ikinci deney duvarlı haline ait Ö1 ölçümüdür. İvme ölçümü V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8 ve V9 vuruş noktaları ayrı ayrı değerlendirilerek periyotları ayrı ayrı tespit edilmiştir. Tespit edilen periyotlar karşılaştırılmış ve Çizelge 4.11 ve Şekil 4.80'de de görüldüğü üzere vuruş noktasının periyot değerine etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür.

**Şekil 4.80** İkinci deney duvarlı halinin Ö1 ölçümünün vuruş yerlerine göre periyot değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.81 Birinci deney elemanının ölçüm aşamalarının ölçüm noktalarına göre periyot değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.82 İkinci deney elemanının ölçüm aşamalarının ölçüm noktalarına göre periyot değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Temeli güçlendirmeden yapılan birinci deneyin duvarlı halinde yapılan 4 adet ivme ölçümünün ortalama değeri X doğrultusu için 0,2230919367 s , Y doğrultusu için 0,0775738510 s ; güçlendirme aşamaları olan ÇÇ'li BEÇÇ'siz halinde yapılan 2 ölçümün ortalama değeri X doğrultusu için 0,1718355748 s , Y doğrultusu için 0,0715568188 s ve ÇÇ'li BEÇÇ'li halinde yapılan 4 ölçümün ortalama değeri X doğrultusu için 0,1697458072 s , Y doğrultusu için 0,0689984355 s olarak bulunmuştur. Sonrasında hidrolik piston yardımıyla uygulanan yatay kuvvet sonrası hasarlı yapıda yapılan 2 ölçümünün ortalama değeri X doğrultusu için 0,2335460789 s , Y doğrultusu için 0,1210499427 s olarak bulunmuştur.

Güçlendirmenin ilk aşaması olan çelik çerçeve montajı yapıldıktan sonra yapı periyodunda yapının duvarlı haline göre X doğrultusu için %22,97 , Y doğrultusu için %7,76 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Güçlendirmenin sonraki aşamasında çelik çerçevelere BEÇÇ elemanlarının montajı gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada yapının duvarlı haline göre yapı periyodunda X doğrultusu için %23,91 , Y doğrultusu için %11,05 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Yine aynı aşamayı bir önceki güçlendirme aşamasıyla kıyaslarsak yapı periyodunda X doğrultusunda %1,22 , Y doğrultusu içinse %3,58 oranında azalma gerçekleşmiştir. Binada güçlendirme işlemi tamamlandıktan sonra binaya hidrolik piston yardımıyla yatay kuvvet uygulanarak binaya hasar verilmiştir. Hasarlı binadaki periyot değerleri bir önceki aşama olan binanın güçlendirilmiş haline göre kıyaslarsak X doğrultusu için %37,58, Y doğrultusu içinse %75,43 artış göstermiştir. Yine hasarlı binanın periyot değerlerinde binanın duvarlı haline göre X doğrultusunda %4,68 , Y doğrultusuna göre %56,04 oranında bir artış gözlemlenmiştir.

Temel güçlendirmesi yapılarak yapılan ikinci deneyin duvarlı halinde yapılan 4 adet ivme ölçümünün ortalama değeri X doğrultusu için 0,1762763174 s , Y doğrultusu için 0,0583077126 s ; güçlendirme aşamaları olan ÇÇ'li BEÇÇ'siz halinde yapılan 2 ölçümün ortalama değeri X doğrultusu için 0,1399161707 s , Y doğrultusu için 0,0522449337 s ve ÇÇ'li BEÇÇ'li halinde yapılan 4 ölçümün ortalama değeri X doğrultusu için 0,1375537113 s , Y doğrultusu için 0,0514873092 s olarak bulunmuştur. Sonrasında hidrolik piston yardımıyla uygulanan yatay kuvvet sonrası hasarlı yapıda yapılan 4 ölçümünün ortalama değeri X doğrultusu için 0,2144001451 s , Y doğrultusu için 0,1224214965 s olarak bulunmuştur.

Güçlendirmenin ilk aşaması olan çelik çerçeve montajı yapıldıktan sonra yapı periyodunda yapının duvarlı haline göre X doğrultusu için %20,62 , Y doğrultusu için %10,4 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Güçlendirmenin sonraki aşamasında çelik çerçevelere BEÇÇ elemanlarının montajı gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada yapının duvarlı haline göre yapı periyodunda X doğrultusu için %21,97 , Y doğrultusu için %11,7 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Yine aynı aşamayı bir önceki güçlendirme aşamasıyla kıyaslarsak yapı periyodunda X doğrultusunda %1,69 , Y doğrultusu içinse %1,45 oranında azalma gerçekleşmiştir. Binada güçlendirme işlemi tamamlandıktan sonra binaya hidrolik piston yardımıyla yatay kuvvet uygulanarak binaya hasar

verilmiştir. Hasarlı binadaki periyot değerleri bir önceki aşama olan binanın güçlendirilmiş haline göre kıyaslarsak X doğrultusu için %55,85 , Y doğrultusu içinse %137,7 artış göstermiştir. Yine hasarlı binanın periyot değerlerinde binanın duvarlı haline göre X doğrultusunda %21,63 , Y doğrultusuna göre %109,9 oranında bir artış gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışması ve 116M231 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında test edilen iki adet , kusurlu, üç boyutlu, iki katlı, 3x1 açıklıklı, ½ ölçekli betonarme yapı, testlerde gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için ülkemizde özellikle 2000 yılı öncesi imal edilen mevcut yapıların gerek tasarımsal açıdan gerekse yapının imalat aşamasındaki yetersiz denetimden kaynaklanan yapısal kusurlar deney elemanlarına yansıtılmıştır. Bu kusurların başlıcaları , düşük dayanımlı beton , yetersiz sargılı kolon ve kirişler (Maksimum etriye aralığından daha fazla etriye aralığı ve 90 derece bükülmüş etriyeler) , yetersiz bindirme ve filiz boyu , düz boyuna donatı , yetersiz boyuna donatı miktarı , sargısız kolon-kiriş birleşimi ve güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesinin tersine güçlü kiriş-zayıf kolon tasarımına sahip olmasıdır. Tez kapsamında yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda yapıda güçlendirme yapılırken yapı rijitliğindeki artışla eş güdümlü olarak yapı periyodu düşmüştür. Yapıya hidrolik piston yardımıyla yatay kuvvet verilip hasar oluşturulduğunda kolon-kiriş birleşimlerinde ve kolon-temel birleşimlerinde ciddi çatlaklar oluşmuş bazı bölgelerde pas payı tamamen dökülmüş, buna bağlı olarak periyot artmıştır. Hasarlı yapı incelendiğinde betonarme çerçevenin ciddi hasar aldığı ve periyot değerlerinin artışı %100'e ulaştığı görülse de bu periyot artışının yapıyı güçlendirmek üzere sonradan eklenen BEÇÇ'ler tarafından sınırlandırıldığı anlaşılmıştır. Deney elemanlarında mevcut yapı stokumuzda gözlenen hemen hemen bütün kusurların bir arada uygulandığı ve yapının hasar sonrası ayakta kaldığı da göz önüne alınacak olursa yapılan güçlendirmenin can güvenliği açısından uygun bir güçlendirme olduğu varsayılmıştır.

Ayrıca yapı üzerindeki ivme ölçüm yerinin ve tahrik noktasının elde edilen periyot değerlerine etkisi hemen hemen yok seviyesinde olduğu sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Aras, F. 2018 *Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneylerle Araştırılması Teknik Dergi*, 2018 8651-8667
- Bayraktar, A. Türker, T. Altunışık, A.C. Şahin, A. Özcan, D.M 2010. *Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi İMO Teknik Dergi*, 2010 5185-5205, Yazı 337
- Cam, M. Sener D. Erdil, E.F. Ozcelik, R. 2019 *The Vibration Tests of a 3-Dimensional Deficient Reinforced Concrete Structure 4th Eurasian Conference on Civil and Environmental Engineering (ECOCEE)* page 628-634
- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği 2017. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 1. Baskı: 452 s.
- DBYBHY. 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı
- Engineersgarage ,Accelerometers , 2012, Erişim tarihi:20 Eylül 2020 , https://www.engineersgarage.com/article_page/accelerometers/
- Erdil, E.F. Ozcelik, R. Cam, M. Sener, D. ,2019 *The Vibration Tests of a 3-Dimensional Deficient Reinforced Concrete Structure 4th Eurasian Conference on Civil and Environmental Engineering (ECOCEE)* page 647-658
- Erdil, E.F. 2021 Betonarme Yapıların Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar İle Dış Güçlendirme Metotlarının Geliştirilmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya
- Gara, F. Regnia M. Carbonaria, S. Balduccib, A. Dezi, L. 2017. *Dynamic behaviour of a retrofitted school building subjected to the after-shock sequence of the 2016 Central Italy earthquake , Procedia Engineering* 199 (2017) 2084–2089
- Goksu, C. Inci, P. Demir, U. Yazgan, U. İlki, A. 2015. *Field testing of substandard RC buildings through forced vibration tests; Bull Earthquake Eng (2017)* 15:3245–3263.
- Guerreroa, H. Jib, T. Escobara, J. A. Teran-Gilmorec, A. 2018. *Effects of Buckling-Restrained Braces on reinforced concrete precast models subjected to shaking table excitation , Engineering Structures* 163 (2018) 294–310
- Guler, K. Yuksel, E. and Kocak, A. 2008. *Estimation of the Fundamental Vibration Period of Existing RC Buildings in Turkey Utilizing Ambient Vibration Records Journal of Earthquake Engineering*, 12:S2, 140-150

- Mutlu, A.H. 2015. *Mevcut Yapıların Güçlendirilmesi ya da Yıkılmasına Karar Verilmesi Aşamasında Göz Önüne Alınması Gereken Kriterler 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 14-16 Ekim 2015 – DEÜ – İZMİR*
- Oliveira, C. S. Navarro, M. 2010. *Fundamental periods of vibration of RC buildings in Portugal from in-situ experimental and numerical techniques Bull Earthquake Eng (2010) 8:609–642*
- Özçelik, R. 2016. *Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(3): 160-170.*
- Özçelik, R. 2017 , *Betonarme Yapıların Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar İle Dış Güçlendirme Metotlarının Geliştirilmesi , Proje no: TÜBİTAK 116M231*
- Özçelik, R. Dikicişik, Y. Erdil, E.F. 2017. *The development of the buckling restrained braces with new end restrains", Journal Of Constructional Steel Research, vol.138, pp.208-220, 2017*
- Sarno, L. D. and Manfredi, G. 2011. *Experimental tests on full-scale RC unretrofitted frame and retrofitted with buckling-restrained Braces Earthquake Engineering And Structural Dynamics 41:315–333*
- Soyoz, S. Taciroglu, E. M. ASCE Orakcal, K. Nigbor, R. Skolnik, D. Lus, H. and Safak, E. 2013. *Ambient and Forced Vibration Testing of a Reinforced Concrete Building before and after Its Seismic Retrofitting Journal of Structural Engineering/Volume 139 Issue 10 - October 2013*
- TBDY 2018 . *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.*
- Yang, D. 2013. *Natural Period of Masonry In-filled R/C Frame Structures Tested in Earthquake Field Investigation, Applied Mechanics and Materials Vols 303-306 (2013) pp 2885-2888*

7. EKLER

7.1 Fast Furier Transform için kullanılan MATLAB kodu

```

clc
clearvars
close all

format long
%% Data E
%acc=load('SNTEZ-1877E2.txt');

fid = fopen('SNTEZ-1877E2.txt') ;
data = textscan(fid, '%f %f %f %f', 'HeaderLines',5) ;
data = cell2mat(data);
fclose(fid);
acc=data;

acc=acc(:,2);
dt=0.01;
n=length(acc);

df=1/(n*dt);
time=0:dt:(n-1)*dt;
freq=0:df:(n-1)*df;
figure('Name','Acc Time Series'),plot(time,acc);
time_start=input('Baslangic zamani ');
time_end=input('Bitis zamani ');

reduced_acc=acc(time_start/dt:time_end/dt);
reduced_time=time(time_start/dt:time_end/dt);

figure('Name','Reduced_Acc Time
Series'),plot(reduced_time,reduced_acc);
reduced_n=length(reduced_acc);
reduced_df=1/(reduced_n*dt);
reduced_freq=0:reduced_df:(reduced_n-1)*reduced_df;
fft_data_red=fft(reduced_acc,reduced_n);
FAS=abs(fft_data_red);
figure('Name','FAS Plot'), plot(1./reduced_freq,dt*FAS);
% hold on
set(gca,'Xlim',[0 1]);
set(get(gca,'XLabel'),'string','Period(s)');
set(get(gca,'YLabel'),'string','Fourier Genlik Spektrumu');

datacursormode on;

xIndex = find(dt*FAS == max(dt*FAS), 1, 'first');
maxXValue = reduced_freq(xIndex);

```

```

disp(1/maxXValue)

%% Data N
%acc=load('SNTEZ-1877N2.txt');

fid = fopen('SNTEZ-1877N2.txt') ;
data = textscan(fid,'%f %f %f %f','HeaderLines',5) ;
data = cell2mat(data);
fclose(fid);
acc=data;

acc=acc(:,2);
dt=0.01;
n=length(acc);

df=1/(n*dt);
time=0:dt:(n-1)*dt;
freq=0:df:(n-1)*df;
figure('Name','Acc Time Series'),plot(time,acc);
time_start=input('Baslangic zamani ');
time_end=input('Bitis zamani ');

reduced_acc=acc(time_start/dt:time_end/dt);
reduced_time=time(time_start/dt:time_end/dt);

figure('Name','Reduced_Acc Time
Series'),plot(reduced_time,reduced_acc);
reduced_n=length(reduced_acc);
reduced_df=1/(reduced_n*dt);
reduced_freq2=0:reduced_df:(reduced_n-1)*reduced_df;
fft_data_red=fft(reduced_acc,reduced_n);
FAS2=abs(fft_data_red);

figure('Name','FAS Plot')

yyaxis right
plot(1./reduced_freq,dt*FAS);
set(gca,'Xlim',[0 0.5]);
set(get(gca,'XLabel'),'string','Period(s)','fontsize',14);
set(get(gca,'YLabel'),'string','Fourier Genlik Spektrumu(x
axis)','fontsize',14);
datacursormode on;

yyaxis left
plot(1./reduced_freq2,dt*FAS2);
% hold on
set(gca,'Xlim',[0 0.5]);
set(get(gca,'XLabel'),'string','Period(s)','fontsize',14);

```

```
set(get(gca,'YLabel'),'string','Fourier Genlik Spektrumu (y  
axis)','fontsize',14);  
datacursormode on;  
  
xIndex = find(dt*FAS2 == max(dt*FAS2), 1, 'first');  
maxXValue2 = reduced_freq2(xIndex);  
disp(1/maxXValue2)  
  
legend(sprintf('Px=%.10f',1/maxXValue),...  
  
sprintf('Py=%.10f',1/maxXValue2)},'Location','Best','fontsi  
ze',14)
```



ÖZGEÇMİŞ

MÜCAHİT ÇAM
inmmucahitcam@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017-Devam Ediyor	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans 2012-2017	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
Lisans 2012-Devam Ediyor	Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, İşletme Bölümü, Eskişehir
Lise 2008-2012	Antalya Anadolu Lisesi Antalya

ESERLER:

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Cam M. , Sener D. , Erdil E.F. , Ozcelik R. ,2019 The Vibration Tests of a 3-Dimensional Deficient Reinforced Concrete Structure 4th Eurasian Conference on Civil and Environmental Engineering (ECOCCEE) page 628-634.
- 2- Erdil E.F. , Ozcelik R. , Cam M. , Sener D. ,2019 The Vibration Tests of a 3-Dimensional Deficient Reinforced Concrete Structure 4th Eurasian Conference on Civil and Environmental Engineering (ECOCCEE) page 647-658
- 3- Sogut H. , Özcelik R., Cam M. 2019 Determination of Hysteretic Behavior of Buckling Restrained Brace in Frame System ,Eighth International Steel Structures Symposium page 296-304