



Betonarme Yapılarda Bölme Duvarların Yapıların Dinamik Davranışlarına Etkilerinin Tam Ölçekli Ve Hasarlı Deneylerle Araştırılması

Program Kodu: 3501

Proje No: 214M235

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. Fuat ARAS

Araştırmacılar:

Yrd. Doç. Dr. Seyit ÇERİBAŞI

Bursiyerler:

Emrah KURT

Erdem KOÇ

MART 2017
İSTANBUL

ÖNSÖZ

İnşaat ve deprem mühendisliği ile ilgili herhangi bir bilimsel problemin laboratuvar şartlarında incelenmesi yerine gerçek yapılarda ve gerçek koşullar altında incelenmesi son derece önemlidir. Çünkü laboratuvarlarda ölçeklendirilerek yeniden hazırlanan deney numuneleri ve bunlar üzerinde gerçekleştirilen deneyler her zaman gerçek yapı ve yükleme durumlarından farklılıklar gösterecektir. Elde edilen sonuçlarda da değerlendirilmesi oldukça zor olan bir hata payı oluşacaktır.

2014 yılının ikinci döneminde Tübitak tarafından 3501 – Kariyer projesi olarak kabul edilerek desteklenen bu projede Türkiye'nin genel yapı stoku ile ilgili genel bir problem gerçek bir bina üzerinde yapılan testlerle araştırılmıştır. "Betonarme Yapılarda Bölme Duvarların Yapıların Dinamik Davranışlarına Etkilerinin Tam Ölçekli Ve Hasarlı Deneylerle Araştırılması" isimli ve 214M235 numaralı projede mevcut bir binanın duvarlı hali için çevresel titreşim analizi uygulanmış, daha sonra zemin kat duvarları etkisizleştirilmiş ve çevresel titreşim analizleri tekrarlanmıştır. Bu analizlerle binanın duvarlı ve duvarsız halinin dinamik özellikleri tespit edilmiştir. Elde edilen dinamik mod şekilleri ve titreşim frekanslarının karşılaştırılması ile bölme duvarların yapı davranışına olan etkileri gerçekçi bir şekilde ortaya çıkarılmıştır.

Ayrıca aynı binanın duvarlı ve duvarsız halleri sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiş ve binanın her iki durumu için dinamik özellikler sayısal olarak belirlenmiştir. Sayısal modellerde gerekli olan malzeme özellikleri hem betonarme elemanlar için hem de bölme duvarlar için yapıdan alınan deney numunelerinin test edilmesiyle elde edilmiştir. Böylelikle gerçek yapıları tam temsil eden sayısal modeller oluşturulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sayısal ve sayısal sonuçlar karşılaştırılarak gerçek bina davranışının sayısal modellerle ne kadar temsil edilebildiği tartışılmıştır.

Elde edilen sonuçlarla, Türk deprem yönetmeliğinde bulunan bina düzensizliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler bölme duvarlar açısından irdelenmiştir. Özellikle zayıf kat ve yumuşak kat süreksizliği kontrolleri bölme duvarlar açısından yorumlanmıştır.

Proje sonuçlarıyla indeksli dergilere yayınlar gönderilmiştir ve aynı zamanda iki adet Y. Lisans öğrencisinin tez konuları belirlenmiştir. Tüm bu çalışmalar TÜBİTAK tarafından alınan destek sayesinde gerçekleştirilebilmiştir. Çalışmalarımızı 214M235 Nolu Proje kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİL LİSTESİ.....	IIV
TABLO LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ VE LİTERATÜR ÖZETİ.....	1
2. ÇALIŞMANIN YÜRÜTÜLDÜĞÜ BİNA	7
3. MEVCUT BİNADA ÇEVRESEL MODAL ANALİZ	13
3.1 PEAK PICKING METODU İLE MODAL TANIMLAMA	16
3.2 FREQUENCY DOMAIN DECOMPOSITION METODU İLE MODAL TANIMLAMA	22
3.3 SÖNÜM ORANLARININ BELİRLENMESİ	25
3.4 MEVCUT BİNANIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN PROJEDEN ÖNCE SAHİP OLUNAN İVMEÖLÇERLERLE BELİRLENMESİ	26
4. ZEMİN KAT DUVARLARININ KALDIRILMASI.....	29
5. DUVAR DENEYLERİ.....	30
6. ZEMİN KATTA DUVAR OLAMAYAN BİNADA ÇEVRESEL TİTREŞİM ANALİZİ	40
6.1 PEAK PICKING METODU İLE DİNAMİK TANIMLAMA	41
6.2 FREQUENCY DOMAIN DECOMPOSITION METODU İLE DİNAMİK TANIMLAMA	45
6.3 SÖNÜM ORANLARININ BELİRLENMESİ	48
7. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	48
8. MEVCUT BİNADA SAYISAL ANALİZLER VE MODEL AYARLAMA.....	51
9. MEVCUT BİNA İÇİN DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	54
10. ZEMİN KATTA DUVAR OLAMAYAN BİNADA SAYISAL ANALİZ.....	57
11. ZEMİN KATTA BÖLME DUVARLARI OLMAYAN BİNA İÇİN DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	59
12. KOMŞU KATLAR ARASI DAYANIM DÜZENSİZLİĞİNİN İRDELENMESİ.....	60
13. KOMŞU KATLAR ARASI RİJİTLİK DÜZENSİZLİĞİNİN İRDELENMESİ	63
14. SONUÇLAR	64
15. KAYNAKLAR.....	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	Betonarme bir yapıdan alınan ivme kaydı ve PSD dönüşümü	3
Şekil 2.	Sönüm oranının belirlenmesi (Chatzi, 2014).....	4
Şekil 3.	Çalışmanın yürütüldüğü bina.....	8
Şekil 4.	Binanın belirlenen taşıyıcı sistemi	8
Şekil 5.	Bina bodrum katı duvar yerleşimleri	9
Şekil 6.	Bina zemin ve normal katlarında duvar yerleşimleri.....	9
Şekil 7.	Binadan alınan beton karot yerleri ve belirlenen donatı aralıkları.....	11
Şekil 8.	Binadan alınan beton numuneleri ve betonda tespit edilen karbonatlaşma.....	11
Şekil 9.	Binada yapılan kiriş sıyırma işlemi.....	12
Şekil 10.	Bina betonarme yapı elemanları donatılarındaki aşırı korozyon.....	12
Şekil 11.	İvmeölçerin bina köşesinde konumlandırılması ve güç bağlantılarının yapılması	14
Şekil 12.	Binanın beşinci katından X, Y ve Z yönünde alınan ivme kayıtları	15
Şekil 13.	İvme ölçümleri ve kaydedilen titreşimler (A, B: ivmeölçerler, C: çekiçleme, D: X ve Y yönünde kaydedilen ivme ölçümleri ve çekiçleme detayları)	15
Şekil 14.	Binanın beşinci katından alınan ölçümlerin frekans ortamında gösterimi.....	16
Şekil 15.	Referans noktasından alınan sekiz adet ölçümün ölçeklendirilmiş FFT'leri (X yönü).....	18
Şekil 16.	Referans noktasından alınan sekiz adet ölçümün ölçeklendirilmiş FFT'leri (Y yönü).....	19
Şekil 17.	Bina yüksekliğince A köşesinden alınan sinyallerin frekans tabanında gösterimleri	20
Şekil 18.	Binanın X ve Y yönlerindeki deplasman modları (Bina ön yüzündeki iki köşeye göre elde edilmiştir)	21
Şekil 19.	B köşesi için X yönünde elde edilen CPSD Matris tekil değerleri	22
Şekil 20.	B köşesi için Y yönünde elde edilen CPSD Matris tekil değerleri	23
Şekil 21.	Frequency Domain Decomposition ile elde edilen mod şekilleri	24
Şekil 22.	Sönüm oranlarının Half Power Bandwidth metodu ile elde edilmesi	25
Şekil 23.	Tek eksenli ivmeölçerler ile yapılan dinamik tanımlama	26
Şekil 24.	Eski ivmeölçerler ile yapılan ölçümlerin ölçeklendirilmiş FFT'leri	27
Şekil 25.	Eski ivmeölçerle yapılan analizler sonucunda elde edilen bina mod şekilleri (A köşesinde bina yüksekliğince elde edilmiştir).....	28
Şekil 26.	Duvar ayırma işlemi sonrası yapının dışarıdan görünüşü	29
Şekil 27.	Duvar ayırma sonrasında yapı içinden görünüş.....	30
Şekil 28.	EN1052-1'e göre basınç testi için kullanılacak numune özellikleri	31
Şekil 29.	EN1052-3'e göre başlangıç kayna dayanımı testi için kullanılacak numune özellikleri (Bu çalışmada birinci tip deneyler yapılmıştır)	31
Şekil 30.	Duvar kesme işleminde kullanılan testere	32
Şekil 31.	Laboratuvarda test edilmek üzere kesilmiş duvar	33
Şekil 32.	Laboratuvarda gerçekleştirilen duvar basınç deneyi.....	34
Şekil 33.	Basınç yükü etkisinde aniden parçalanmış numune	35
Şekil 34.	Basınç gerilmesi altında bölme duvarlarda gerilme şekil değiştirme grafikleri.....	36
Şekil 35.	Basınç gerilmesi altında bölme duvarlarda gerilme şekil değiştirme grafikleri.....	37
Şekil 36.	Laboratuvarda gerçekleştirilen duvar kayma deneyi (Yüklemeye önceki ve yüklemeye yapılırken alt levha konumları farklı)	39
Şekil 37.	Kayma deneyi sonucunda oluşan kayma göçmesi	39

Şekil 38.	Kayma deneyi sonunda oluşan tuğla kırılması.....	40
Şekil 39.	Zemin katında bölme duvarları etkisizleştirilmiş binadan titreşim kayıtlarının alınması	41
Şekil 40.	Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın 5. Katından alınan ölçümlerin frekans ortamında gösterilmesi	42
Şekil 41.	Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın B köşesi boyunca mod şekillerinin X ve Y yönlerinde Peak Picking ile elde edilmesi	43
Şekil 42.	Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın B köşesi boyunca Peak Picking ile elde edilen mod şekilleri.....	44
Şekil 43.	Zemin kattı duvarsız binada B köşesi için X yönünde elde edililen CPSD Matris tekil değerleri.....	45
Şekil 44.	Zemin kattı duvarsız binada B köşesi için Y yönünde elde edililen CPSD Matris tekil değerleri.....	46
Şekil 45.	Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın B köşesi boyunca Peak Picking ve Frequency Domain Decomposition metotları ile elde edilen mod şekilleri	47
Şekil 46.	Zemin katında duvarları olmayan binada sönüm oranının belirlenmesi.....	48
Şekil 47.	Binanın orijinal ve zemin katında bölme duvarların olmaması durumunda elde edilen mod şekilleri (FFD).....	50
Şekil 48.	Çalışılan binanın Sayısal Modeli.....	52
Şekil 49.	Sayısal dinamik analizden elde edilen mod şekilleri	53
Şekil 50.	Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın sayısal modeli.....	57
Şekil 51.	Zemin katta bölme duvarları olmayan binanın mod şekilleri.....	58

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.	Basınç testleri sonuçları (ham sonuçlar)	36
Tablo 2.	Trend analizi yapılmış grafiklerden elde edilen Elastisite modülleri	38
Tablo 3.	Kayma Testi Sonucunda Elde Edilen Sonuçlar	40
Tablo 4.	Bina ham modeline göre belirlenen dinamik özellikler	53
Tablo 5.	Kalibre edilmiş sayısal modelde elde edilen dinamik özellikler	56
Tablo 6.	Orijinal binada deneysel ve sayısal yollarla tespit edilen dinamik özellikler	56
Tablo 7.	Zemin katta bölme duvarları olmayan binanın dinamik özellikleri	58
Tablo 8.	Zemin katında bölme duvarları etkisizleştirilen binada deneysel ve sayısal yollarla tespit edilen dinamik özellikler.....	59
Tablo 9.	Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan Zayıf Kat süreksizliği.....	62
Tablo 10.	Duvarlı Binada Komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin kontrolü.....	63
Tablo 11.	Zemin katta Duvar bulunmayan Binada Komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin kontrolü.....	64

ÖZET

Bu projede, bölme duvarların betonarme yapıların dinamik özelliklerine olan katkısı araştırılmıştır. Bunun için İstanbul Medeniyet Üniversitesine ait olan 6 katlı betonarme bir bina deney numunesi olarak kullanılmıştır. İlk önce çalışmanın yapılacağı yapının mevcut dinamik özellikleri Çevresel Titreşim Analizleri (ÇTA) ile belirlenmiştir. Bu yöntem mevcut yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesi için sıklıkla uygulanan yöntemlerdir. Daha sonra mevcut yapının zemin katındaki bölme duvarlar yapı elemanlarına zarar vermeden yıkılmıştır. Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın dinamik özellikleri tekrar ÇTA ile belirlenmiştir. Binanın bölme duvarlı ve bölme duvarsız durumlarından elde edilen dinamik özelliklerin (titreşim periyotları, sönüm oranları ve mod şekilleri) karşılaştırılması bölme duvarların yapı dinamik özelliklerine etkisini kusursuz bir şekilde açığa çıkarılmıştır. Ayrıca duvar yıkımından hemen önce laboratuvarında test edilmek üzere duvar numuneleri basınç ve kayma testleri için alınmıştır. Laboratuvarında yapılan testlerle duvarların basınç ve kayma dayanımları ve elastisite modülleri belirlenmiştir.

Bölme duvarların yapı dinamik özelliklerine olan katkısı ayrıca sayısal analizlerle de araştırılmıştır. Bunun için çalışmanın yürütüldüğü binanın orijinal hali sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve bina dinamik özellikleri elde edilmiştir. Sayısal modelde beton ve duvar için yapılan malzeme testlerinden elde edilen malzemem değerleri kullanılmıştır. DeneySEL ve sayısal yolla elde edilen dinamik özellikler karşılaştırılmış ve bina sayısal modeli malzeme özelliklerine bağlı olarak ayarlanmıştır. Ayarlanan sayısal modelde bina zemin katındaki tüm duvar elemanlarının rijitlik etkisi kaldırılmış ve zemin katında bölme duvarları olmayan binanın dinamik özellikleri sayısal olarak elde edilmiştir. Sonuçlar binanın aynı durumu için deneySEL olarak elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Son olarak, Türk deprem yönetmeliğinde komşu katlar arası dayanım süreksizliği (zayıf kat) ve komşu katlar arasındaki rijitlik süreksizliği (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrol edilmesinde uygulanan yöntemler sorgulanmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre zayıf kat süreksizliği araştırmasında yığma duvar etkileri yeterli güvenlikte hesaba katılmaktadır. Ancak çalışma sonuçlarına göre bölme duvarlar kat rijitliklerini etkilemelerine rağmen, yumuşak kat düzensizliği irdelemesinde göz önüne alınmamaktadır.

Anahtar Kelimeler: bölme duvarlar, titreşim analizi, dinamik davranış, gerçek bina testleri, betonarme binalar

ABSTRACT

In this project, the contribution of the partition walls into dynamic behaviour of the reinforced concrete building is investigated. For this aim, a six-storey reinforced concrete building, belonging to Istanbul Medeniyet University is used as a test specimen. Firstly, the dynamic properties of the existing building are determined by Ambient Vibration Survey (AVS) This method is a frequently applied methods for the determination of dynamic properties of existing structures. Later on, the partition walls on the ground floor are demolished without damaging the structural members in the building. The comparison of the dynamic properties (periods, damping ratios and mode shapes) of the building with and without the partition walls revealed the effect of the partition walls on the dynamic properties of the building precisely. Moreover, partition wall specimens have be taken from the building's ground floor to test under compression and shear tests. Compressive and shear strength and modușus of elasticity of the partition walls were determined with the performed laboratory testing.

The contribution of the partition walls on the dynamic behaviour of the buildings is investigated by numerical analyses as well. For this aim the studied building is modelled by finite element method and its dynamic properties are obtained numerically. In the numerical model the material characteristics obtained from the materials testing of concrete and partition wall have been used. The dynamic properties obtained experimentally and numerically are compared and the numerical model is calibrated based on the material characteristics. In the calibrated numerical model, the rigidity effects of the ground floor' partition walls are eliminated and the dynamic properties are obtained again. The results are compared those obtained from the experimental analysis for the same phase of the building.

Finally, the method for the check of the inter-story strength irregularity (weak storey) and inter-storey stiffness irregularity (soft storey), defined in Turkish Earthquake Code is questioned. It is determined that, the effect of the partition walls is visualized correctly in the check of weak storey irregularity. However, the partition walls are not accounted in the assessment of soft storey irregularity although they affect the storey stiffness.

Keywords: partition walls, vibration analyses, dynamic behaviour, real building tests, reinforced concrete buildings

1. GİRİŞ VE LİTERATÜR ÖZETİ

Betonarme binalarda bulunan duvarlar binaların içi bölümlerinin ayrılmasında ve mekânların dış etkilerden korunmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Genel olarak yapısal olmayan elemanlar olarak sınıflandırılan bölme duvarla tasarım aşamasında dikkate alınmamasına rağmen yapının genel davranışını etkilerler. Son zamanlarda bölme duvarların yapısal davranışa olan etkilerinin ortaya çıkarılması ve tasarım aşamasında göz önüne gerçekçi olarak alınması için yapılmış birçok deneysel ve sayısal araştırmalar mevcuttur.

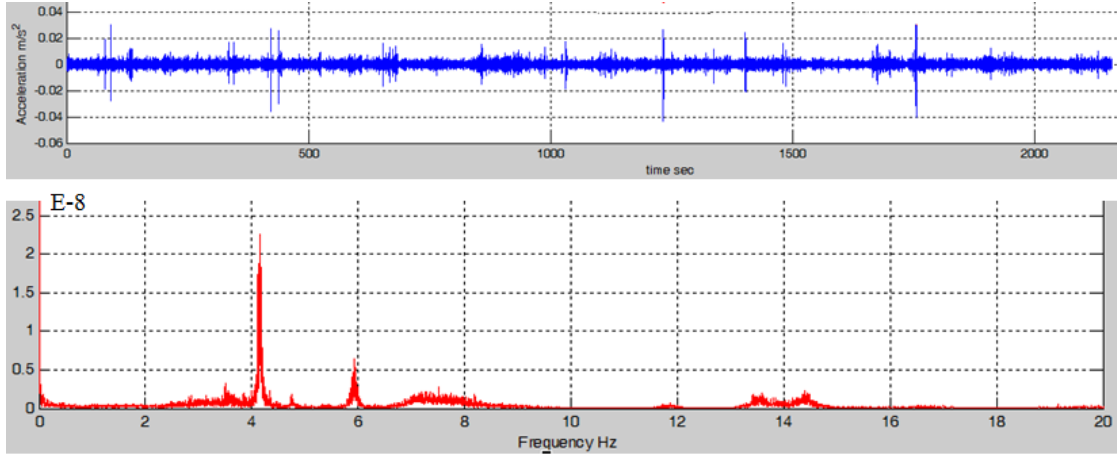
Fiore vd. (2012) literatürde bulunan çerçeve üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmaları, sonlu elemanlar yöntemi ile doğrulamaya çalışarak, bölme duvarların yapısal davranışını modellemeye çalışmışlardır. Uva vd. (2012) güney İtalya'da bulunan bölme duvarlı betonarme bir bina için bölme duvarların etkisini doğrusal olmayan sayısal analizlerle araştırmışlardır. Mevcut yapının bölme duvarlarından alınan deney numuneleri laboratuvarında test edilmiş ve sonuçlar sayısal modellerde kullanılmıştır. Bölme duvarların değişik mukavemet değerlerine göre yapı dinamik davranışında ve performansında sayısal analizlerde görülen değişimler sunulmuştur. Bir başka çalışmada ise Köse (2009) sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş 189 adet bina için sayısal analizler sonucunda bölme duvarların yapı periyoduna olan etkisini araştırmıştır. Yapılan sayısal analizler sonucunda bölme duvarların yapıların periyotlarını % 5 -%10 mertebesinde düşürdüğü sonucuna varılmıştır (Köse 2009). Bölme duvarların betonarme binaların performanslarına olan etkileri Cuiqiang vd. (2011) tarafından da incelenmiştir. Yapılan sayısal analizler ve Çin'de meydana gelen deprem gözlemlerine dayanarak bölme duvarların yapı performanslarını önemli derecede etkileyebileceklerinin altı çizilmiştir ve bölme duvarların yapı tasarımlarında muhakkak göz önüne alınmaları önerilmiştir (Cuiqiang vd. 2011). Literatürde karşılaşılan sarsma tablası deneyleri (Mehrabi vd., 1996; Zarnic vd., 2001; Hashemi ve Mosalam, 2006) genel olarak yığma duvarların dayanım ve sünekliğe olan katkısını araştırmıştır. Dolgu duvarların betonarme yapıların dinamik davranışına olan katkısını araştıran çalışmaların en önemlilerinden birisi Türkiye'de yürütülmüştür. İzmir Teknoloji Enstitüsünde bir Master Tezi olarak yayınlanan çalışmada Çankaya (2011) dört adet 1/5 oranında küçültülmüş dört katlı ve tek açıklıklı deney numuneleri üzerinde bölme duvarların yapı dinamik özelliklerine olan etkisini incelemiştir. Gerçekleştirilen dinamik ve statik testler sonucunda yığma duvarların yapı dinamik özelliklerini değiştirmesi yanında, yapı rijitliği, yapı dayanımı ve yapı sönüm oranına yaptığı katkının altı çizilmiştir.

Bu projede mevcut ve bölme duvarları kaldırılmış yapının dinamik özellikleri çevresel titreşim analizleri ile belirlenmesi planlanmıştır. Yapılardan elde edilen titreşim kayıtları birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaktadır. Makine parçalarının titreşim analizleri, uçaklardaki titreşim problemlerinin belirlenmesi, yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi titreşim analizlerinin yaygın kullanıldığı alanlardan bazılarıdır (Bayraktar vd., 2010a; Ewins, 1995). Yapılar üzerinde titreşimlerin ölçülmesi ve ölçümlerden yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi deneysel modal analiz yöntemleri olarak bilinmektedir. Çevresel titreşim analizlerinin gerçek betonarme yapılarda uygulanması ve yapı dinamik özelliklerinin çıkarıldığı çalışmalar da mevcuttur. Michel vd. (2010) Fransa'da bulunan 54 adet betonarme binada çevresel titreşim analizi yapmış ve elde edilen frekans değerlerini kendi yönetmeliklerindeki formüllerle karşılaştırmışlardır. Yönetmeliklerde bulunan ampirik periyot formüllerini irdeleyen başka bir çalışmada Türkiye'de yapılmıştır (Güler vd., 2008). Güler vd. (2008) 12 katlı betonarme bir binanın inşası sırasında binanın duvarsız, duvarlı ve sıvalı durumları için çevresel titreşim analizlerini yürütmüş ve belirlenen periyotlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre, yapıya uygulanan sivanın duvarlı yapıda yol açtığı periyot düşüşünün, duvarların duvarsız yapıda meydana getirdiği periyot düşüşünden yüksek olması ilk önce şaşırtıcı olmakla beraber duvarlı ve sıvasız yapıda duvarların yanıl rijitliğe katkı yapmaması ve sivanın yapı elemanları ve duvar arasında bağ oluşturması ile açıklanabilir. Ayrıca bu çalışmanın zamana bağlı deformasyon etkilerini de içermeyişi açıktır. Çevresel titreşim analizlerinin betonarme yapılara uygulandığı bir başka çalışmada Soyöz vd. (2013) titreşim analizlerini güçlendirme yapılacak bir binanın güçlendirmeden önceki ve sonraki durumları için uygulamıştır. Ayrıca perde eklemesi için yıkılan bölme duvarların etkisi incelenmiş ve bu bölme duvarların yıkılmasının yapı periyodunu %11 civarında yükselttiği belirlenmiştir.

Literatürde bölme duvarların betonarme yapıların dinamik davranışına ve performansına yönelik yürütülmüş başka sayısal ve deneysel çalışmalar da vardır. Literatürde bulunan deneysel çalışmalar, sayısal analizlere göre daha güvenilir olmakla beraber, ölçekleme etkileri, numune hazırlama yöntemi, numune malzemesi ve detayları ve yükleme etkileri nedeni ile birçok belirsizliği de barındırmaktadır. Ayrıca zamana bağlı deformasyonlar yığma duvar etkisini araştıran bir deneysel projede üretilecek numunelerin yıllarca yük altında bekletilmesini gerektirmektedir. Önerilen projenin yöntemi, kapsamı ve ölçeği bakımından literatüre olan katkısı kesin ve açıktır.

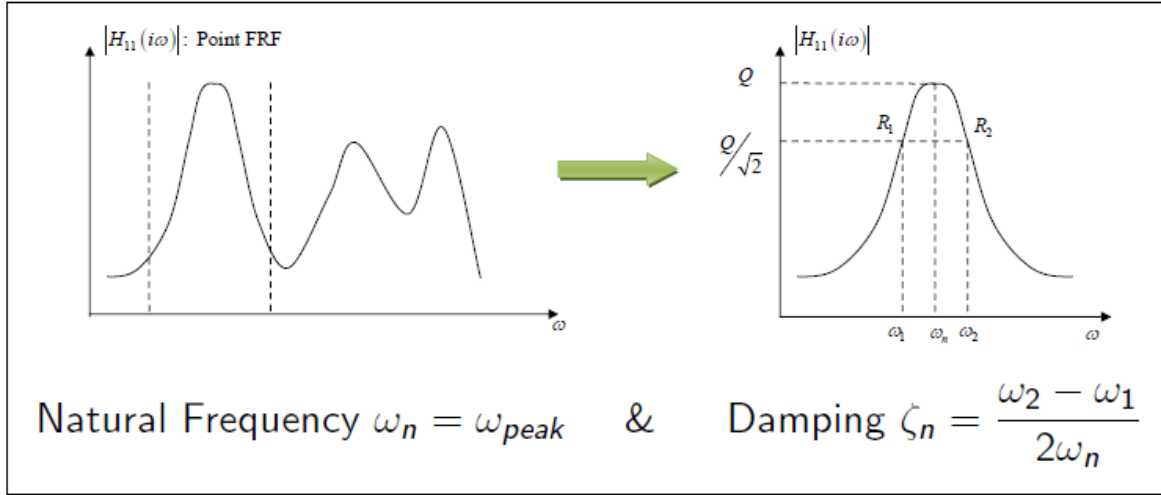
Titreşim analizlerinde yapılar ya bilinen bir etki ile titreştirilmekte ya da çevresel titreşimler dikkate alınarak ölçümler yapılabilmektedir (Bayraktar vd., 2010a). Ölçümlerde kullanılan titreşim kuvvetinin değeri bilinmiyorsa (trafik ve rüzgar gibi etkiler) Çevresel Titreşim Analizi, titreşim etkisi biliniyorsa (yapıya uygulanan kuvvet veya titreştirici etkileri) dış etki altında titreşim analizi olarak ikiye ayrılır. Dış etki altında titreşim analizleri, çevresel titreşim analizlerine göre uygulaması zor ve maliyetli olduğundan bu projede uygulanmayacaktır ve detayına girilmemiştir. Bu projede ihtiyaç duyulan tüm bilgiler çevresel titreşim analizleri ile de elde edilebilecektir.

Mühendislik yapılarının deprem, rüzgâr, taşıt ve insan hareketleri, makine titreşimleri gibi genliği ve zamanla değişimi tam olarak bilinmeyen titreştiriciler tarafından tetiklendiği bilinmektedir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve elektronik imkânlar, titreşimlere maruz mühendislik yapılarının ölçümlerinde bir titreştirici kullanmak yerine yapıdaki mevcut titreşimleri dikkate alarak ölçüm yapılabilmeyi mümkün kılmaktadır. Çok hassas sensörler yardımı ile zaman tanım alanında alınan ivme, hız veya yer değiştirme ölçümleri bilgisayarlar sayesinde uygulamaları basitleşen matematiksel işlemlerle (Fourier Transform (FT), Power Spectral Density (PSD)) frekans alanına çevrilebilmekte ve yapının titreşim modlarına ait frekansları elde edilebilmektedir. Şekil 1 betonarme bir binadan alınan ivme kaydının PSD analiziyle frekans tanım alanına dönüştürülmüş halini göstermektedir (Aras 2016).



Şekil 1. Betonarme bir yapıdan alınan ivme kaydı ve PSD dönüşümü

Her bir titreşim moduna karşı gelen sönüm oranları ise yine kayıtların frekans alanında elde edilen dönüşümlerinden hesaplanabilir. Half-power bandwidth metodu olarak bilinen ve tek serbestlik dereceli bir sistemin davranışını esas alan yöntem literatürde en çok kullanılan ve en basit olan yöntemdir (Chopra 2007). Şekil 2 yöntemin uygulanmasını özetlemektedir (Chatzi 2014).



Şekil 2. Sönüm oranının belirlenmesi (Chatzi, 2014)

Ancak mod şekillerinin belirlenmesi frekans ve sönüm oranlarının belirlenmesi kadar kolay değildir. Deneysel Modal Analiz veya Operasyonel Modal Analiz olarak anılan ve çalışılan yapının dinamik mod şekillerinin elde edilmesini amaçlayan analizlerde en çok kullanılan yöntemler Peak Picking (Zirve Seçimi) ve Frequency Domain Decomposition (Frekans Ortamında Ayrışma) yöntemleridir (Miche vd. 2008).

Peak Picking yöntemi genel olarak yapıların farklı noktalarından alınan titreşim kayıtlarının frekans ortamına aktarılma ve sonrasında baskın frekansların seçilmesi ve bu frekanslarda oluşan sinyal gücü değerinin karekökünden modal deplasmanlara geçilmesidir (Ewins 1995). Üzerinden çalışılan yapının beklenen dinamik özelliklerine göre ölçüm sayısı önceden ayarlanmalıdır. Sensör sayısının az olması halinde bir sensör referans sensörü olarak seçilir ve diğer sensörler yapının serbestlik derecelerine ayrı zamanlarda yerleştirilerek birden fazla ölçüm yapılabilir. Referans sensörü için elde edilen modal deplasmanlar farklı ölçüm setlerinde farklı serbestlik dereceleri için elde edilen modal deplasmanların ayarlanmasında kullanılır.

Frequency Domain Decomposition metodu genel olarak Peak Picking metodunun geliştirilmiş halidir. Yöntemin esasları Michel vd. (2008) ve Bayraktar vd. (2010) tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. Özetle;

Bilinmeyen etki ve ölçülen tepki fonksiyonları arasındaki bağıntı,

$$[G_{yy}(w)] = [H(w)]^* [G_{xx}(w)] [H(w)]^T \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada $[G_{xx}(w)]$ ve $[G_{yy}(w)]$ etki ve tepki sinyallerine ait güç spektral yoğunluk fonksiyonlarını, $[H(w)]$ ise frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir. Bu ifadedeki * ve T fonksiyonların eşlenik ve transpozisini göstermektedir. Bu bağıntıda etkinin beyaz gürültü olduğu varsayılarak etki sinyaline ait spektral yoğunluk fonksiyonu sabit alınmıştır. Tepki sinyaline ait güç spektral yoğunluk fonksiyonu, tekil değer ayrışımı gerçekleştirilerek ayırık değerler olarak,

$$G_{yy}(jw_i) = U_i S_i U_i^H \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada; U_i , u_{ij} tekil vektörlerinden (mod vektörlerinden) oluşan birim matrisi, S_i , s_{ij} tekil değerlerden (öz değerlerden) oluşan diyagonal matrisi göstermektedir. Bu yöntemde yapıyı titreştirmek amacıyla uygulanan kuvvetin genliği ve zamanla değişimi tam olarak bilinemediğinden dolayı, ölçümler yapının ölçüm yapılan frekans aralığında tahrik edilmesini temin edebilecek kadar uzun süreli alınmalıdır. Ölçümlerde sadece yapıya ait tepkiler zaman ortamında belirli noktalardan ölçülmekte ve farklı yöntemler kullanılarak yapı dinamik parametreleri elde edilmektedir (Bayraktar vd., 2010a).

Çevresel titreşim analizleri İnşaat Mühendisliği yapılarında, normal analiz yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda sıklıkla kullanılmakla beraber, teknolojik altyapının artmasıyla beraber kullanımı giderek genişlemektedir. Yapı malzeme özelliklerinin normal testlerle belirlenemediği tarihi binalarda (Aras vd., 2011), sınır koşullarının (mesnet şartları veya eleman bağlantıları) tam belli olmadığı yapılarda, dinamik özelliklerin yapı kullanımı için çok önemli olduğu köprülerde (Macdonald ve Daniell (2005), Bayraktar vd., 2008; 2010b), deprem güvenliğinin çok büyük önem arz ettiği mevcut barajlarda (Sevim ve dig. 2011) veya hasar durumunun belirlenemediği özel yapılarda (Ramos vd., 2010a; Shiradhonkar ve Shrikhande, 2011; Chellini vd., 2010) sıklıkla kullanılmaktadır. Bu analizler için gerçek yapının beklenen dinamik davranışına göre ölçüm yerleri belirlenmekte ve titreşim kayıtlarının analiz edilmesinden sonra bu ölçüm yerlerine bağlı olarak yapı dinamik özellikleri elde edilmektedir. Elde edilen dinamik parametreler yapının sayısal modelinin

doğrulanmasında kullanılmakta ve bu işlem dinamik tanımlama veya sistem tanımlama olarak adlandırılmaktadır (Cantieni, 2005). Ivanovic vd. (2000) deprem etkisi altında hasar görmüş betonarme bir yapıya çevresel titreşim analizi uygulamıştır. Betonarme yapılar ile ilgili bir başka çalışma ise Ventura vd., (2003) titreşim analizlerini çok katlı yüksek binalar için kullandığı çalışmadır. Gentile ve Saisi (2007) titreşim analizleri ile 17. Yüzyılda inşa edilmiş 74 metre yüksekliğindeki tarihi yığma bir kulenin mevcut durumunu incelemişlerdir. Tarihi yapıların incelenmesi için literatürde karşımıza çıkan iki önemli araştırma; Bayraktar ve diğerlerinin (2007) geleneksel Türk minarelerinin dinamik özelliklerinin belirlenmesi için yaptığı çalışma ve Ramos vd. (2010b) iki yığma bina için yaptığı çalışmalarıdır. Ayrıca çelik binalar (Nateghi-A, 1997), köprüler (Altunışık vd., 2011) ve silolar (Amiri ve Sabbagh-Yazdi, 2011) içinde çevresel titreşim analizleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistem tanımlama sonucunda sayısal modeldeki belirsizlikler ortaya çıkarılmaktadır. Bu belirsizlikler; yapı malzeme özellikleri, hasar durumu, mesnet koşulları veya yapı kütle ve yüküne bağlı parametreler olabilir.

Çevresel titreşim analizleri ile ilgili İnşaat Mühendisliği araştırma ve uygulama teknikleri burada adı geçen çalışmalar ile sınırlı değildir. Literatürde hem uygulanan analiz teknikleri hem de farklı uygulama yapıları ve amaçları ile çok çeşitli örnekler vardır. Ancak temelde bütün bu uygulamalar yapıdan elde edilen kayıtların işlenerek yapının dinamik özelliklerinin belirlenmesini ve bu özelliklerden yola çıkılarak yapının mevcut durumunda önemli görülen malzeme özellikleri, hasar durumu ve sınır koşulları gibi parametrelerin ortaya çıkarılmasını hedeflemektedir.

Bu proje kapsamında üzerinde çalışılacak bina ve uygulanacak yöntem çalışmanın amacına ulaşması için birbirini tamamlayan iki uyumlu faktördür. Her şeyden önce kullanılacak bina 1980'li yıllarda inşa edilmiş ve 2014 yılı başına kadar kullanılmıştır. Bu nedenle binada zamana bağlı deformasyonların (sünme) büyük ölçüde tamamlandığı ve betonarme elemanlar ile bölme duvarların beraber çalışmalarının sağlandığı söylenebilir. Bu nedenle mevcut yapıdan alınacak çevresel titreşimler (düşük büyüklükteki titreşim) altında elde edilecek dinamik parametreler bölme duvarların etkisini de içerecektir. Bölme duvarların kaldırılmasından sonra yapıda rijitlik kaybı meydana gelecek ve uygulanacak titreşim analizleri bölme duvarsız yapının dinamik özelliklerini verecektir. Benzer bir çalışma, çerçeve inşaatı yeni tamamlanan bir binadan ölçüm almak, bölme duvarların inşasından sonra ölçümleri tekrarlamak ve elde edilen dinamik özelliklerin karşılaştırılmakla yapılamaz.

Deneylerden elde edilecek sonuçlar üzerinde bina frekanslarının, sönüm oranlarının ve mod şekillerinin bölme duvarlar nedeni ile nasıl değiştiği incelenecektir. Çalışmada ayrıca sayısal modellerle binanın bölme duvarlı ve bölme duvarsız halleri bilimsel araştırmalarda sıklıkla kullanılan bilgisayar programı (SAP2000) ile analiz edilecektir. Modellerde başlangıç malzeme özellikleri deneysel olarak elde edilen değerlerden alınacaktır. Titreşim analizlerinden elde edilen modal özellikler, laboratuvar deneyleri ile elde edilen malzeme özelliklerini doğrulanmasında kullanılacaktır. Bir başka deyişle, sayısal modeller deneysel modal analiz sonuçlarına göre kalibre edilecek ve yığma duvar modellerinin sayısal analizlerdeki katkısı araştırılacaktır. Bu yönüyle de çalışma literatüre katkı sağlayacaktır.

2. ÇALIŞMANIN YÜRÜTÜLDÜĞÜ BİNA

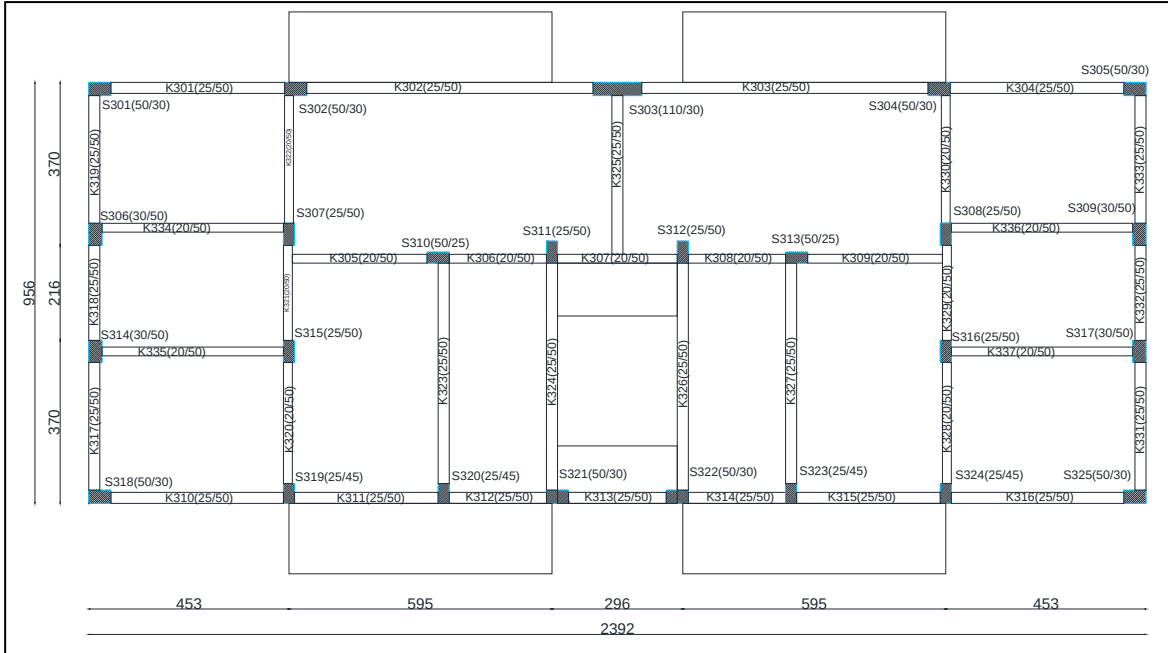
Bu projede deney numunesi olarak kullanılacak bina Şekil 3’de gösterilmiştir. Bina 1980’li yıllarda 1975 yönetmeliğine göre inşa edilmiş, 6 katlı, zemin ve normal katlarında ikişer bağımsız bölüm ve bodrum katında bir daire ve teknik oda olan bir yapıdır. Halk arasında çift daire olarak anılan bina tipi Türkiye’de sıklıkla projelendirilip inşa edilen bir bina tipidir. Bina projeleri ilgili Üsküdar Belediyesinden istenmiş ancak belediye envanterinde olmadığı bildirilmiştir.

Proje kapsamında çalışmanın yapılacağı binanın taşıyıcı sistem planı çıkarılmıştır ve çizimleri hazırlanmıştır. Şekil 4 çalışılan binanın tüm katlarında geçerli taşıyıcı sistemini göstermektedir. Görüldüğü gibi bina taşıyıcı sistemi kolon ve kirişlerden oluşan betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Binada perde yoktur.

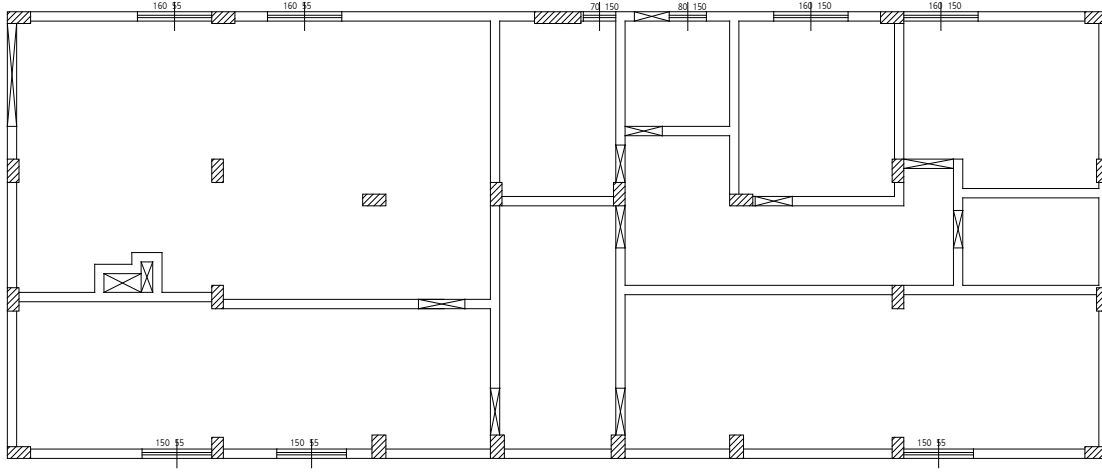
Ayrıca bu çalışmada önemli olduğundan dolayı duvar yerleşimleri de belirlenmiştir. Şekil 5 bodrum kattaki duvar yerleşimini gösterirken Şekil 6 zemin ve normal katlardaki duvar yerleşimini göstermektedir.



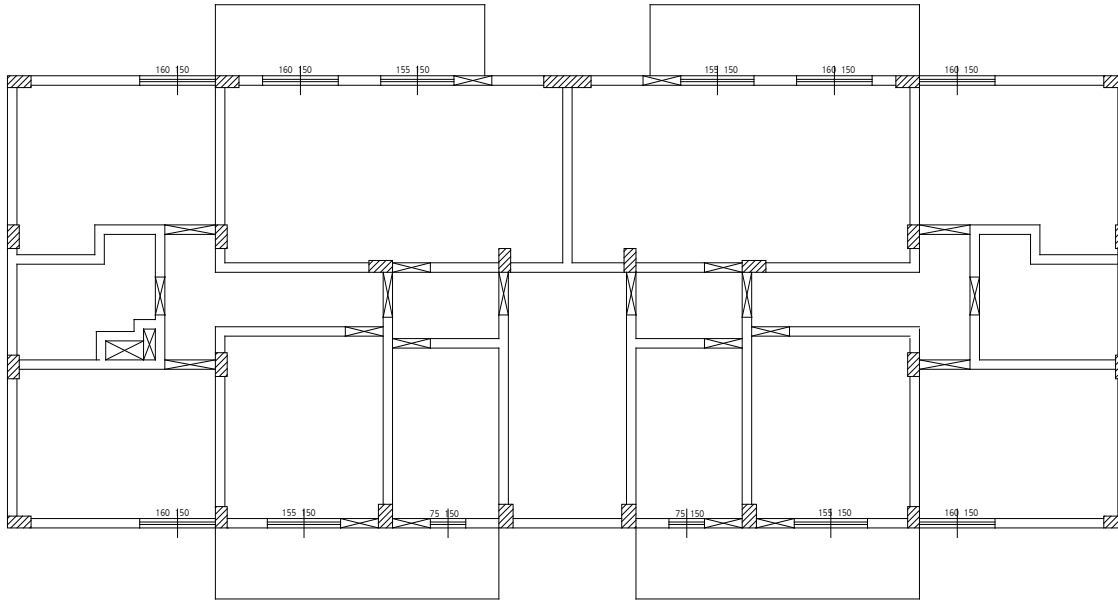
Şekil 3. Çalışmanın yürütüldüğü bina



Şekil 4. Binanın belirlenen taşıyıcı sistemi



Şekil 5. Bina bodrum katı duvar yerleşimleri



Şekil 6. Bina zemin ve normal katlarında duvar yerleşimleri

Binanın mevcut hali için kapsamlı beton sınıfı ve donatı düzeni araştırmaları yaptırılmıştır ve değerlendirme raporu ek olarak sunulmuştur (İSTON, 2015). Çalışma kapsamında binadan her katta üç adet olmak üzere toplam 18 adet beton karotu TS EN 13791'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak laboratuvarında test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda her

bir numune için belirlenen beton basınç dayanımları 8,97 MPa ile 28,20 MPa arasında değişmektedir.

TS EN 13791 yönetmeliğine göre yapıdaki karakteristik basınç dayanımının belirlenmesi için;

$$1. \quad f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \cdot s \quad (3)$$

veya

$$2. \quad f_{ck, is} = f_{is, en \text{ düşük}} + 4 \quad (4)$$

değerlerinden en küçük olan değer mevcut beton dayanımını verir. Bu formüllerde:

$f_{ck, is}$ = karakteristik basınç dayanımı (MPa)

$f_{m(n), is}$ = n adet numunenin yerinde basınç dayanımının ortalaması (MPa)

k_2 = n adet alınan karot sayısına göre katsayı, $k_2 = 1,48$

s = standart sapma

$f_{is, en \text{ düşük}}$ = alınan karotlar içerisindeki minimum karot dayanımı (MPa)

Alınan 18 adet karot numunesinin ortalama küp basınç dayanımı $f_{m(n), is} = 15,77 \text{ N/mm}^2$, En düşük karot numunesi basınç dayanımı ise $f_{is, en \text{ düşük}} = 8,97 \text{ N/mm}^2$, $s = 4,94 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir.

Bu verilerle 1. formül $f_{ckis} = 15,77 - 4,94 \cdot 1,48 = 8,46 \text{ N/mm}^2$, 2. formül $f_{ckis} = 8,97 + 4 = 12,97 \text{ N/mm}^2$ sonucunu vermektedir. Bu iki değerden küçük olan $8,46 \text{ N/mm}^2$ yapıdaki karakteristik dayanım ($f_{ck, is, kup}$) olarak elde edilir. Küp şeklindeki numune basınç dayanımlarını gösteren bu değer 0,80 - 0,85 ile çarpılarak silindir numune basınç dayanımına çevrilir (Ersoy 2005). Sonuç olarak alınan deney numunelerinden elde edilen sonuçlara göre betonun silindir basınç dayanımı, $0,85 \cdot 8,46 = 7,2 \text{ MPa}$ olarak elde edilebilir.

Ayrıca 42 adet yapı elemanında Schmidt okuması yapılmıştır. Karot deney sonuçları ile kalibre edilmiş beton çekici okumalarında da benzer değerler elde edilmiştir. Ayrıca alınan karot numuneleri üzerinde yapılan karbonatlaşma testinde 10 cm'e kadar karbonatlaşma görülmektedir. Şekil 7 binada karot alınan kolonlarından üç tanesini Şekil 8 ise alınan karotları ve betonda tespit edilen karbonatlaşmayı göstermektedir.



Şekil 7. Binadan alınan beton karot yerleri ve belirlenen donatı aralıkları



toplu karot



karbonatlaşma



karbonatlaşma

Şekil 8. Binadan alınan beton numuneleri ve betonda tespit edilen karbonatlaşma

Malzeme çalışması sırasında ayrıca binadaki mevcut donatı düzeni de araştırılmıştır. Bunun için betonarme kiriş ve kolonlarda sıyırma işlemleri yapılmış, donatı belirleme cihazı ile enine ve boyuna donatılar belirlenmiştir. Şekil 9 binanın dördüncü katında bulunan bir kirişe uygulanan sıyırma işlemini göstermektedir. Şekil 7’de aynı zamanda donatı belirleme cihazıyla tespit edilen donatılar görülmektedir. Yapıda kullanılan donatılarda ayrıca aşırı korozyon tespit edilmiştir (Şekil 10). Yürütülen malzeme belirleme çalışmasındaki detaylar binada yürütülen malzeme çalışması için hazırlanan raporda görülebilir (İston 2015).



Şekil 9. Binada yapılan kiriş sıyırma işlemi



Şekil 10. Bina betonarme yapı elemanları donatılarındaki aşırı korozyon

3. MEVCUT BİNADA ÇEVRESEL MODAL ANALİZ

Binanın dinamik özelliklerinin belirlenmesi için, proje kapsamından edinilen Kinematics, TSA-SMA marka ve modellenmiş ivmeölçerler kullanılarak kayıtlar alınmıştır. Çalışılan binada deneysel modal analiz işinin yapılması için her kat seviyesinden katın dinamik özelliğini ortaya çıkaracak sayıda ölçümün alınması gerekmektedir. Genel olarak serbestlik derecesi sayısı ölçüm sayısını belirlemektedir. Betonarme binaların en bilinen özelliklerinden birisi olan ve döşemeler tarafından sağlanan rijit kat seviyeleri sayesinde binadan alınması gereken ölçüm sayısını azaltmaktadır. Bina köşe noktaları ve diğer noktaların hareketleri birbirine bağlı olduğundan her katta yatay yönlerde toplam en az üç ölçüm yapılması yeterli olacaktır. Ancak bu proje kapsamında minimum ölçüm sayısı ile yetinilmemiştir. Şekil 11 proje konusu binadan ivme kaydı alınmasını ve ölçüm yerlerini göstermektedir.

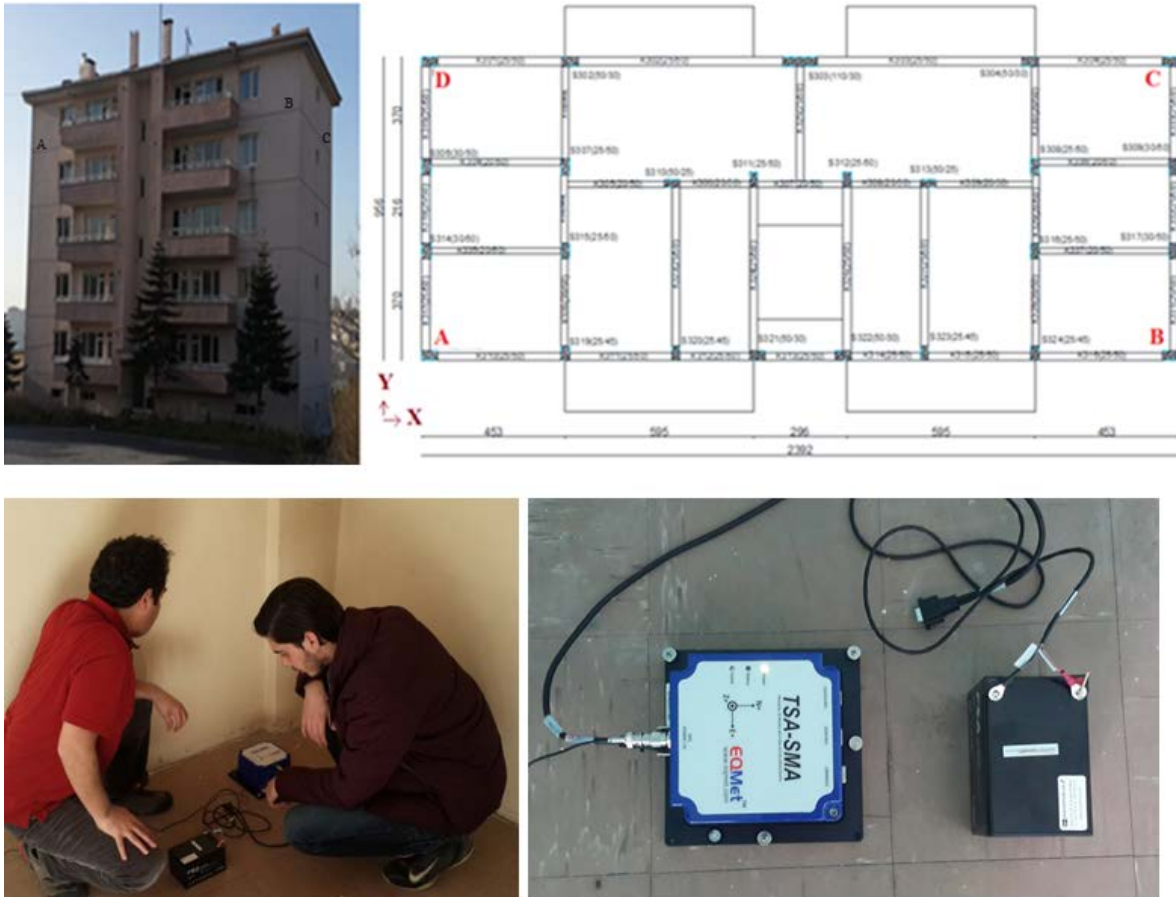
Dinamik modları oluşturan modal yer değiştirmeler binanın köşe noktaları için belirlenmelidir. Bunun için alınan ölçümler binanın köşe noktalarından alınmıştır. Çalışma boyunca binanın sağ ön köşesi A, sol ön köşesi B, sol arka köşesi C ve sağ arka köşesi D noktası olarak adlandırılmıştır. Kullanılan ivmeölçerler sayesinde ölçüm alınan her noktada birbirine dik iki yatay doğrultuda ve düşey doğrultuda ivme ölçümleri alınmıştır. Şekil 12 binadan alınan ivme kayıtlarının genel görüntüsünü göstermektedir.

Kullanılan ivmeölçerlerin aktive edilmesi (TRIGGER) için binanın zemin katında bulunan balkon korkuluğuna çekiç ile vurulmuş ve normal ivme değerlerinin üzerinde bir ivme oluşturulmuştur. Şekil 12'nin ilk bölümünde görülen yüksek ivmeler bu nedenle oluşmuştur. İvme kaydının sonraki bölümlerinde görülen tekil yüksek ivme değerleri ise çalışma sırasında rüzgâr nedeniyle oluşan kapı çarpmaları nedeniyle oluşmuştur. Şekil 13 ivme ölçümlerini, çekiçleme işlemini ve çekiçleme sonucunda kaydedilen ivmeleri detaylı olarak göstermektedir. İvmeölçerlerin iki yatay doğrultusu binanın boyuna (X) ve enine (Y) doğrultusu ile eşleştirilmiş ve tüm çalışma boyunca aynı yapılandırma kullanılmıştır.

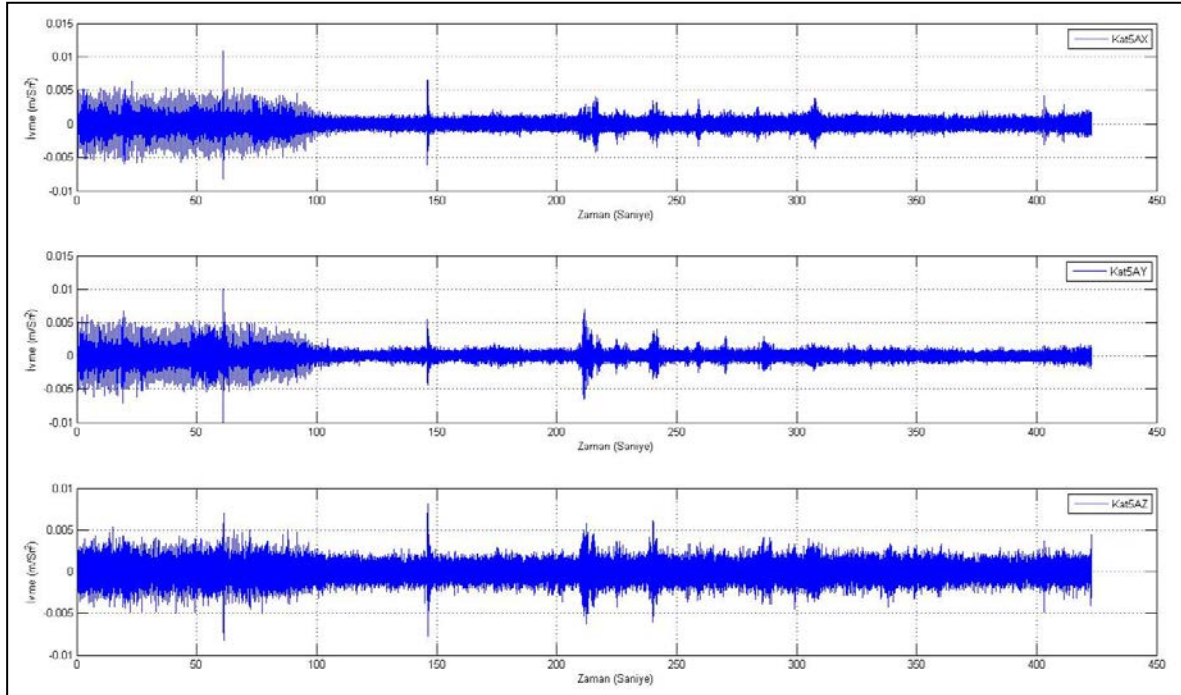
Çalışılan binada bulunan betonarme rijit kat diyafram özelliği gösteren döşemeler nedeniyle dinamik mod şekillerinin belirlenmesi için her kattan en az iki ölçüm alınması gerekmektedir (kullanılan üç eksenli ivmeölçerlerle). Proje kapsamında alınan üç adet üç eksenli ivmeölçerler ile altı katlı binanın dinamik özelliklerinin belirlenmesi için ivmeölçerlerden birisi sabit konumda tutulurken diğer ikisi katlar arasında binanın ön yüz köşelerine gelecek şekilde konumlanmalı ve her konumda ölçüm alınmalıdır. Sabit tutulan ivmeölçer yardımıyla hareket farklı katlarda alınan ölçümler beraber değerlendirilebilir. Bir çeşit ölçeklendirme

olarak tanımlanabilecek bu yöntem sayesinde az sayıda ivmeölçerle çok serbestlik dereceli sistemlerin dinamik tanımlanması yapılabilmektedir. Çalışmada binanın beşinci kat B köşesi referans ivmeölçerinin konumu olarak seçilmiştir. Sahip olunan ivmeölçer sayısının (üç adet) binanın dinamik modlarının elde edilmesi için gereken dinamik serbestlik derecesinden (10 adet; rijit döşemeler sayesinde her katta iki adet) az olması binadaki dinamik tanımlama işinin tek ölçümde yapılmasını olanaksız kılmaktadır. Bu nedenle dinamik tanımlama açıklanan yöntemle yapılmıştır.

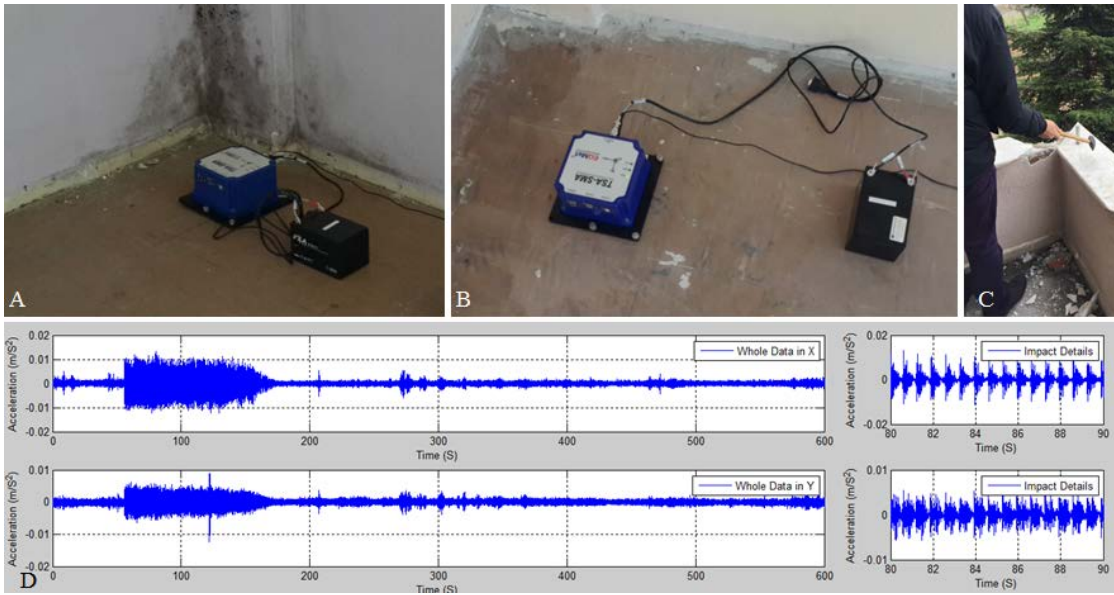
Binanın çatı katına ulaşma imkanı olmadığından bu katta ölçüm yapılmamıştır. Binanın en üst katı olması nedeniyle çatı katının bina dinamik davranışında önemli bir yeri vardır. Özellikle burulma modunun değerlendirilmesi için bu kattan ölçüm alınması önemli olabilir. Ancak betonarme bir binada tüm katların dinamik modlara katkısı vardır. Bu nedenle bu katta ölçümlerin alınmaması her hangi bir bilgi kaybı veya yanlış değerlendirmeye neden olmaz. Ayrıca yapı burulma modu bir alt kattan alınan ölçümlerle görülebilmektedir.



Şekil 11. İvmeölçerin bina köşelerinde konumlandırılması



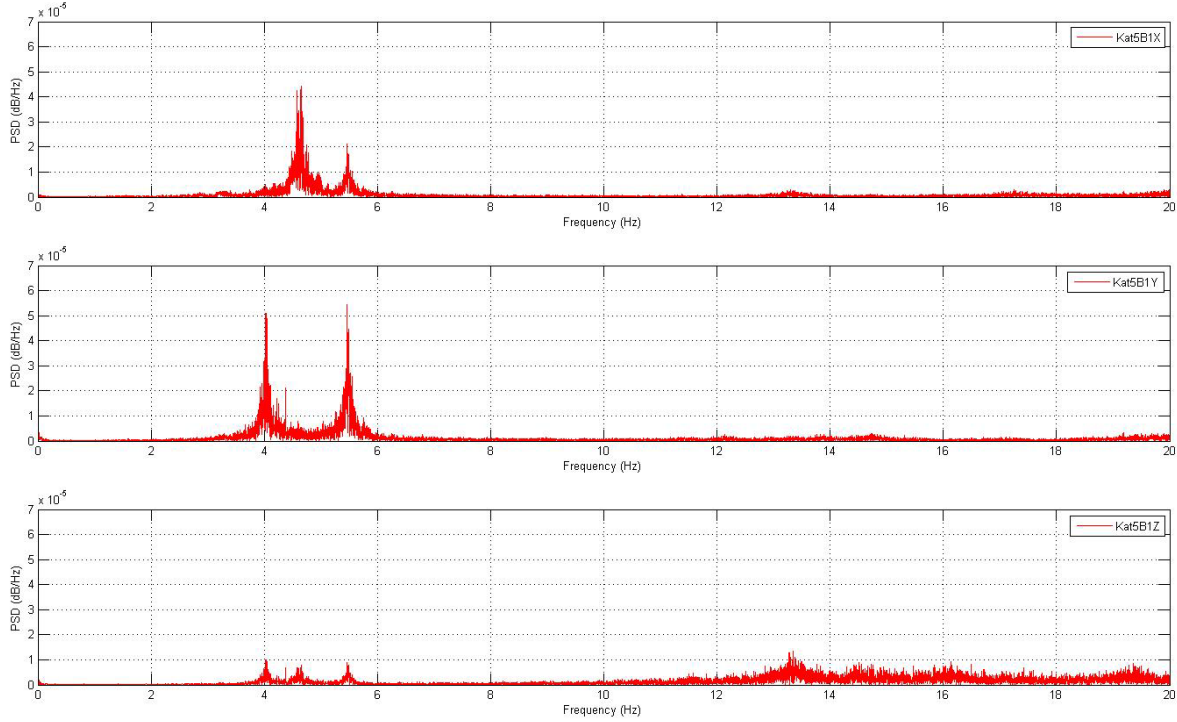
Şekil 12. Binanın beşinci katından X, Y ve Z yönünde alınan ivme kayıtları



Şekil 13. İvme ölçümleri ve kaydedilen titreşimler (A, B: ivmeölçerler, C: çekiçleme, D: X ve Y yönünde kaydedilen ivme ölçümleri ve çekiçleme detayları)

Binanın farklı katlarında kat köşelerinden alınan kayıtların binanın dinamik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak frekans ortamına aktarılması gerekmektedir. Bunun için Matlab

bilgisayar programının FFT (Fast Fourier Transformation) fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 12'de gösterilen ivme kaydının frekans ortamında gösterimi Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 14. Binanın beşinci katından alınan ölçümlerin frekans ortamında gösterimi

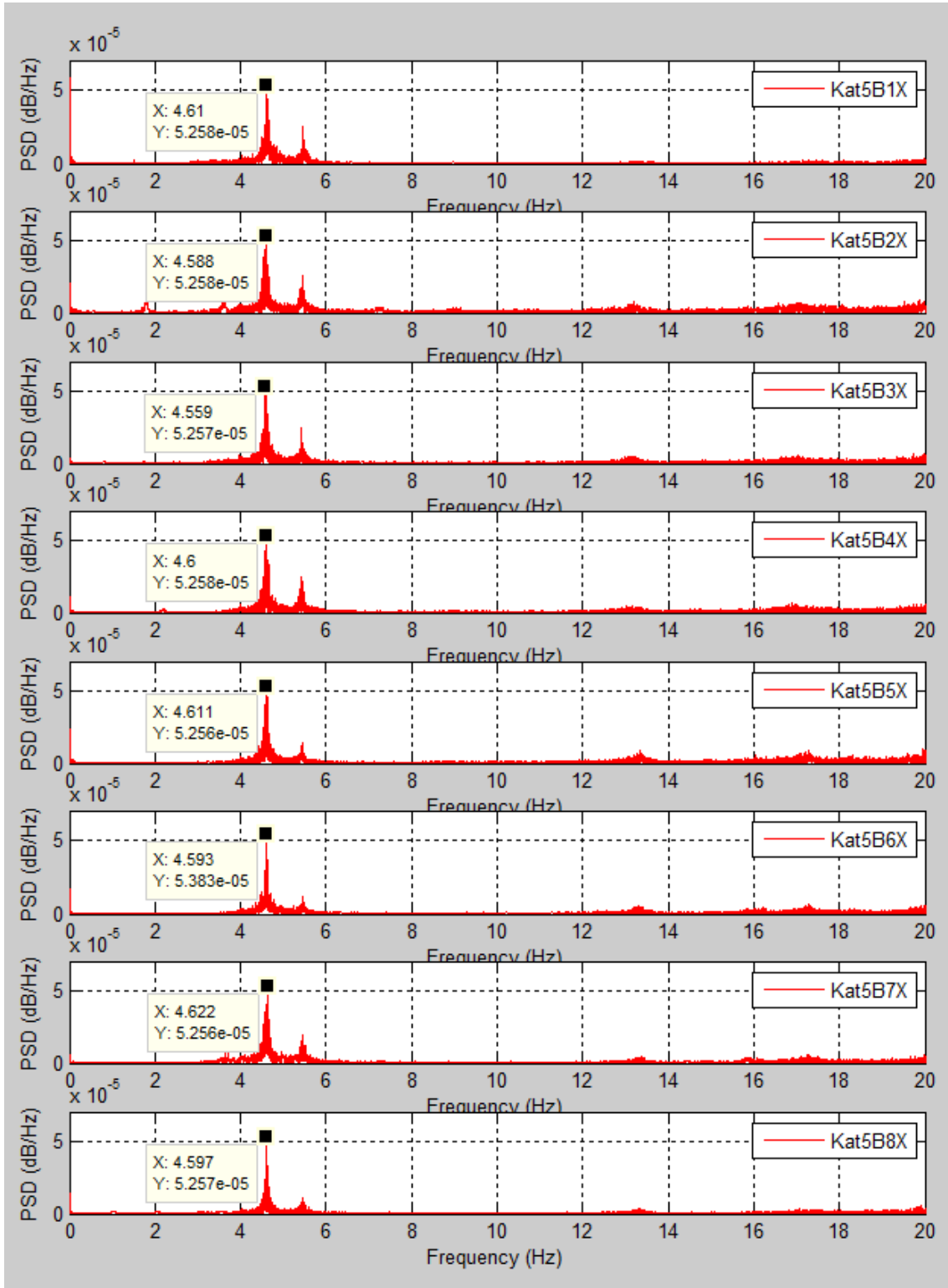
Alınan ölçümlerin ilk değerlendirmesine göre binanın mod şekilleri ve titreşim frekansları tahmin edilmiştir. Şekil 12'den de anlaşılacağı gibi binanın birinci modu 4 Hz civarında Y yönündeki salınımı göstermektedir. Binanın ikinci modu ise X yönünde 4,6 Hz frekansla salınımı göstermektedir. Binanın üçüncü modu ise 5,5 Hz frekansında burulma modudur. Binaya ait mod şekillerinin çıkarılması için Peak Picking ve Frequency Domain Decomposition metotları ayrı ayrı kullanılmıştır.

3.1. Peak Picking metodu ile Modal Tanımlama

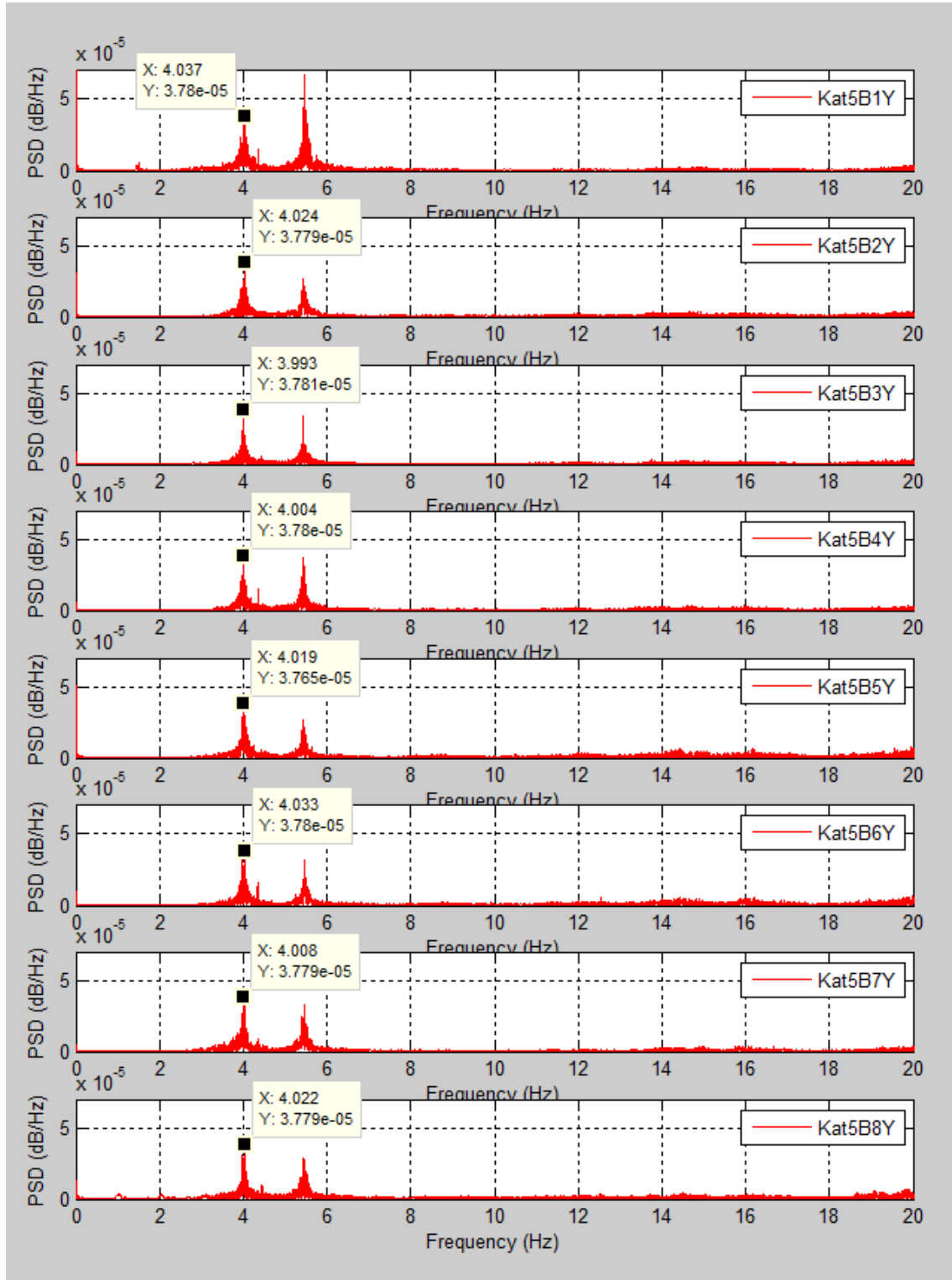
Binanın dinamik mod şekillerinin belirlenmesi için bina yüksekliği boyunca her kattan alınan sinyallerin frekans ortamına aktarılması, referans ivmeölçerine göre ölçeklendirilmeleri ve baskın frekans güçlerinin karekökleri baz alınarak modal deplasmanlarının hesaplanması gerekmektedir (Inman 2012). Peak Picking olarak adlandırılan bu yöntem mühendislik yapılarının dinamik tanımlaması için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bunun için ilk adım

ölçeklendirilmedi ve binada yapılan ölçümlerde beşinci kat sağ ön köşesi (B) referans konumu olarak belirlenmiş ve her ölçümde bu noktada bir ivmeölçer bulundurulmuştur. Diğer iki adet ivmeölçer ise binada diğer köşelerde dolaştırılarak ölçümler alınmıştır. Binanın dinamik özelliklerini belirlenmesi için alınan sekiz adet ölçüm ile yapılan ölçeklendirme sonucunda referans noktasından alınan ölçümlerin FFT gösterimleri Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmiştir. Ölçeklendirme X ve Y yönlerinde birinci baskın frekansın gücüne göre yapılmıştır. Ölçeklendirme sonucunda referans noktasından alınan kayıtların X yönü baskın frekansı gücü 5,26 E-5 dB/Hz, Y yönü baskın frekans gücü ise 3,78 E-5 dB/Hz olarak belirlenmiştir.

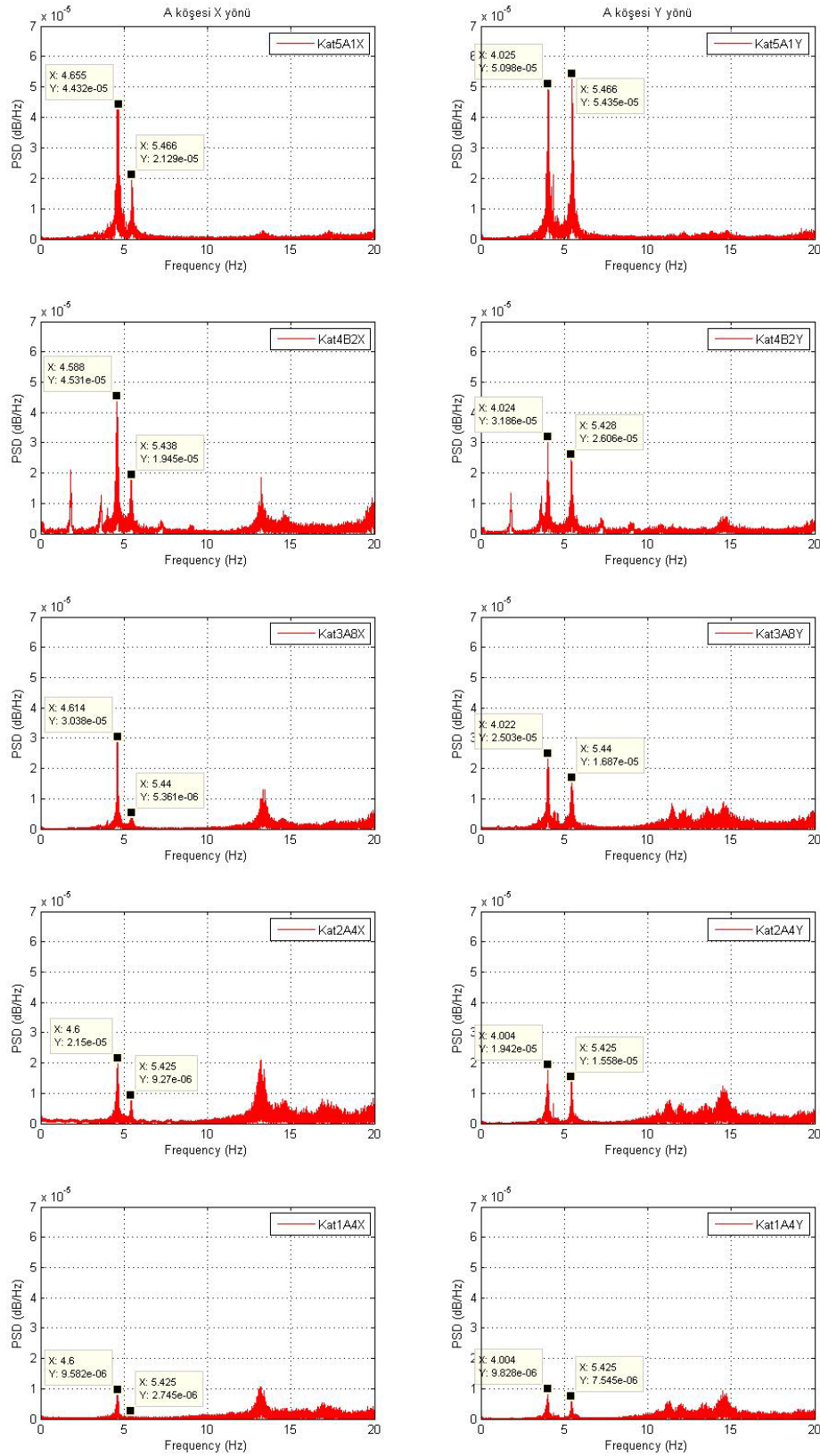
Kullanılan ivmeölçerlerin üçünün de aynı anda kayıt alamaması nedeniyle ilave ölçümler yapılmıştır. İvmeölçerlerin tetiklenme denilen ve ölçülen ivmenin belli bir değerin üstüne çıktıktan sonra inmesi olarak tanımlanabilecek TRIGGER olayını gerçekleştirememeleri nedeni ile kayıt alınamamıştır. Bu nedenle normalde beş adet ölçümle tamamlanacak dinamik mod belirleme işi sekiz adet ölçümle tamamlanabilmiştir. Sekiz adet ölçümle yapılan bu ölçekleme sonucunda binanın birinci ve ikinci mod şekilleri elde edilmiştir. X ve Y yönlerinde görülen ortak baskın frekans yapının burulma modunu temsil etmektedir. Referans noktasına göre ölçeklendirilmiş titreşimlerin frekans tabanında gösterimleri örnek olarak A köşesi için bina yüksekliğince Şekil 17'de gösterilmiştir. A ve B köşelerinde bina yüksekliğince elde edilen mod şekilleri de Şekil 18'de görüldüğü gibi belirlenmiştir. Yapının çatı seviyesi kapalı olduğundan dolayı bu katta ölçüm alınamamıştır. Bu nedenle şekillerde yapı beş katlı olarak görülmektedir. Bu sonuçlara göre yapının birinci modu Y yönünde basit harekettir ve titreşim frekansı 4 Hz'dir. Yapının ikinci modu X yönünde basit harekettir ve titreşim frekansı 4,6 Hz'dir. Yapının üçüncü modu burulma modudur ve titreşim frekansı 5,5 Hz'dir. Belirlenen frekans değerleri yerine periyot değerleri verilirse, yapının ilk üç moduna ait periyot değerleri, 0,25 saniye, 0,22 saniye ve 0,18 saniyedir.



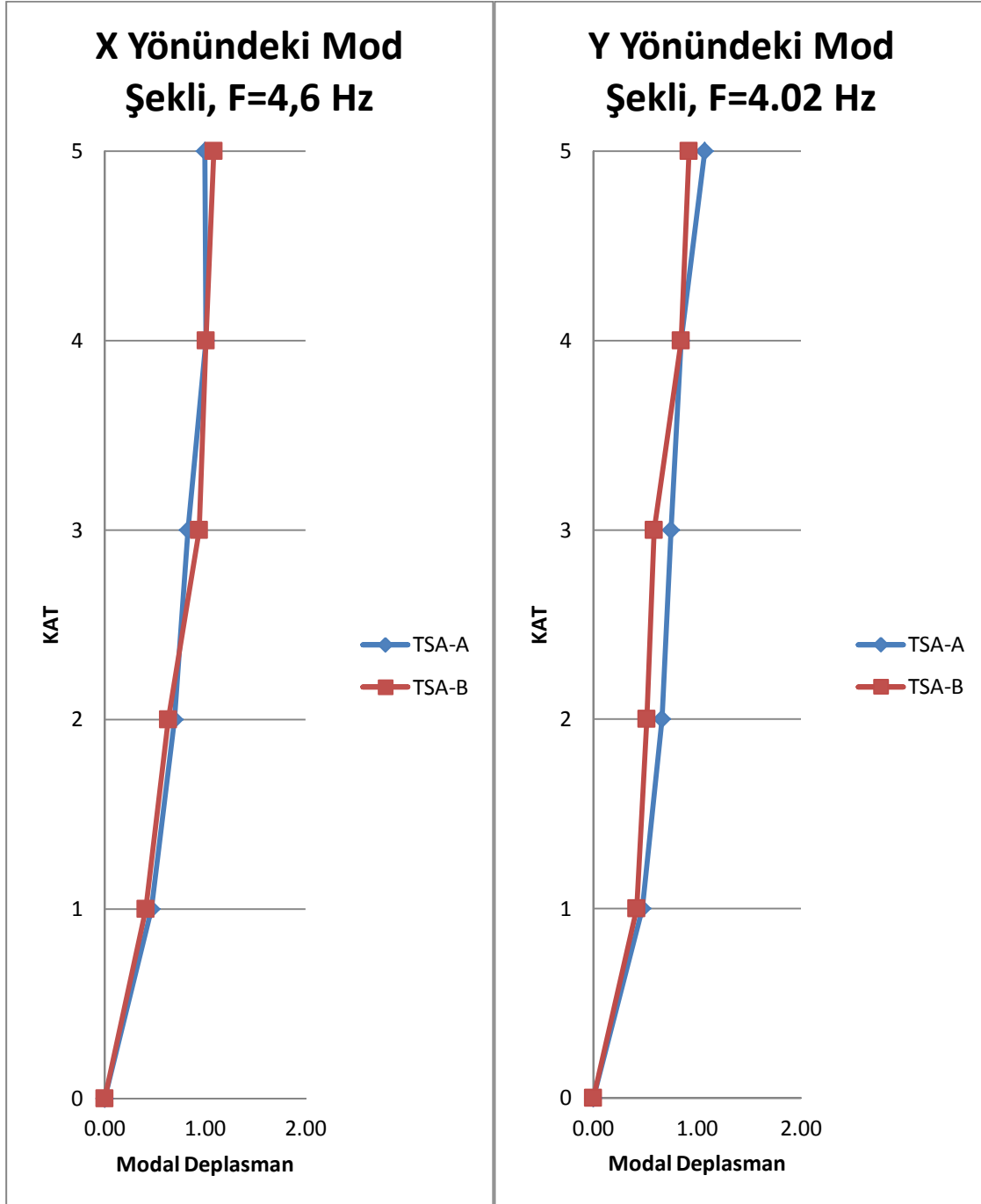
Şekil 15. Referans noktasından alınan sekiz adet ölçümün ölçeklendirilmiş FFT'leri (X yönü)



Şekil 16. Referans noktasından alınan sekiz adet ölçümün ölçeklendirilmiş FFT'leri (Y yönü)



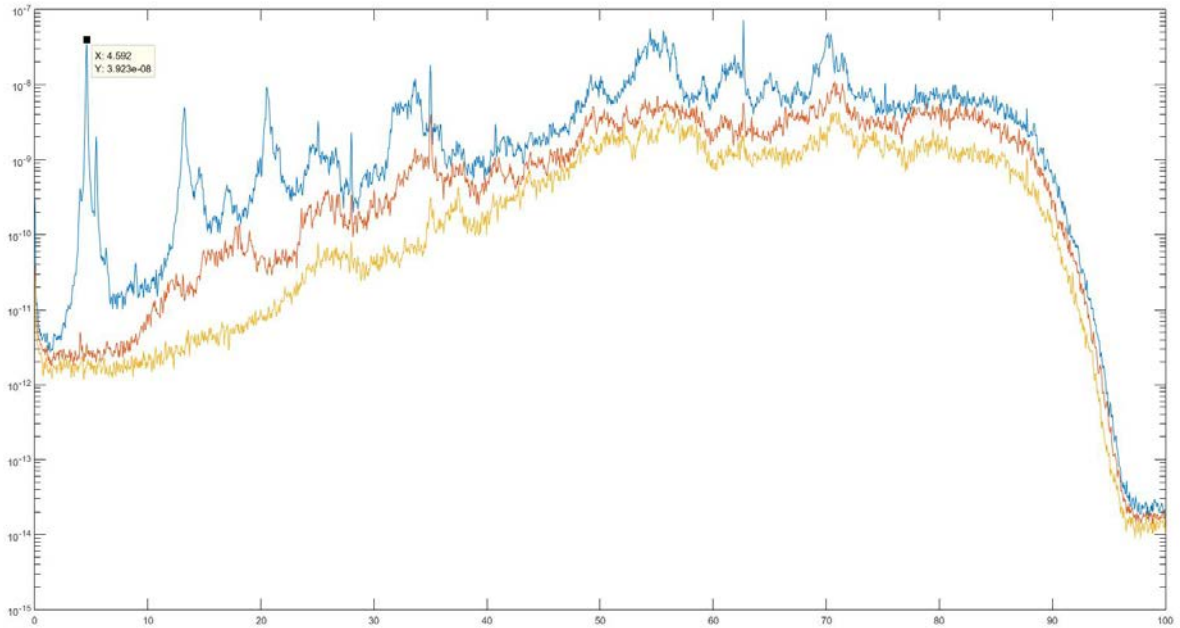
Şekil 17. Bina yüksekliğince A köşesinden alınan sinyallerin frekans tabanında gösterimleri



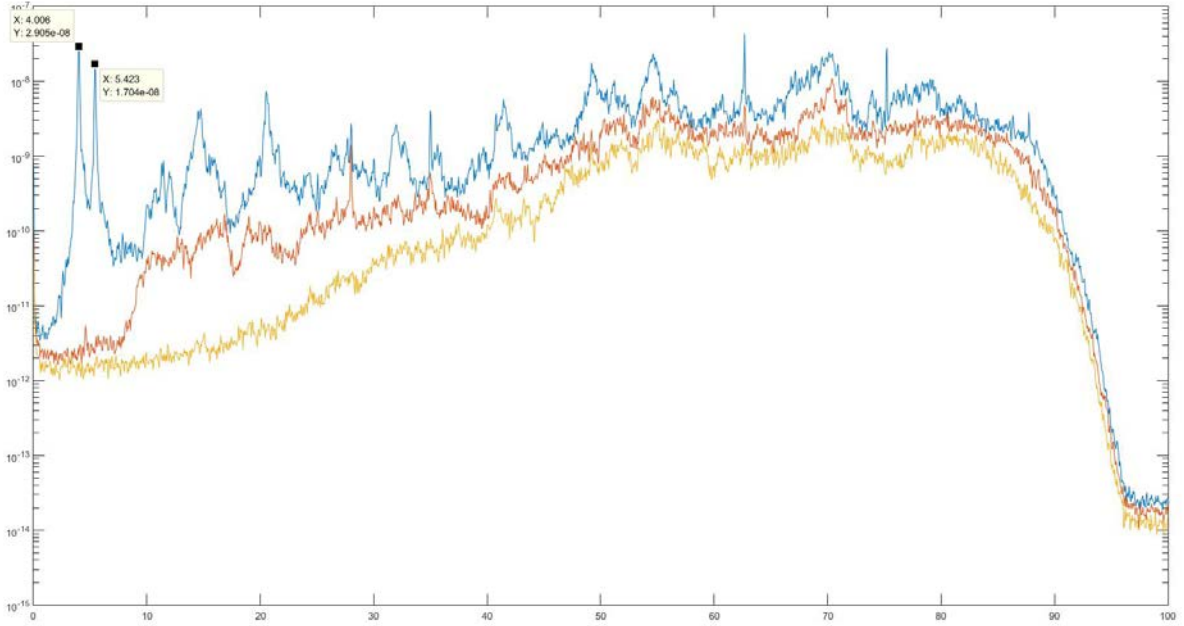
Şekil 18. Binanın X ve Y yönlerindeki deplasman modları (Bina ön yüzündeki iki köşeye göre elde edilmiştir)

3.2. Frequency Domain Decomposition metodu ile Modal Tanımlama

Frequency Domain Decomposition metodu Peak Picking metodunun daha gelişmiş halidir. Çalışma kapsamında Matlab programının SVD (singular value decomposition) ve CPSD (cross power spectral density) fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Eş zamanlı dinamik ölçümler üç adet ivmeölçerle gerçekleştirildiğinden üzerinde çalışılan ve daha önce açıklanan matrisler 3x3 boyutundadır. Analizler X ve Y yönleri için ayrı ayrı yürütülmüştür. Şekil 19 ve Şekil 20 binada B köşesinden X ve Y yönlerinde alınan kayıtlara göre elde edilen CPSD matrislerinin tekil değerlerini göstermektedirler.

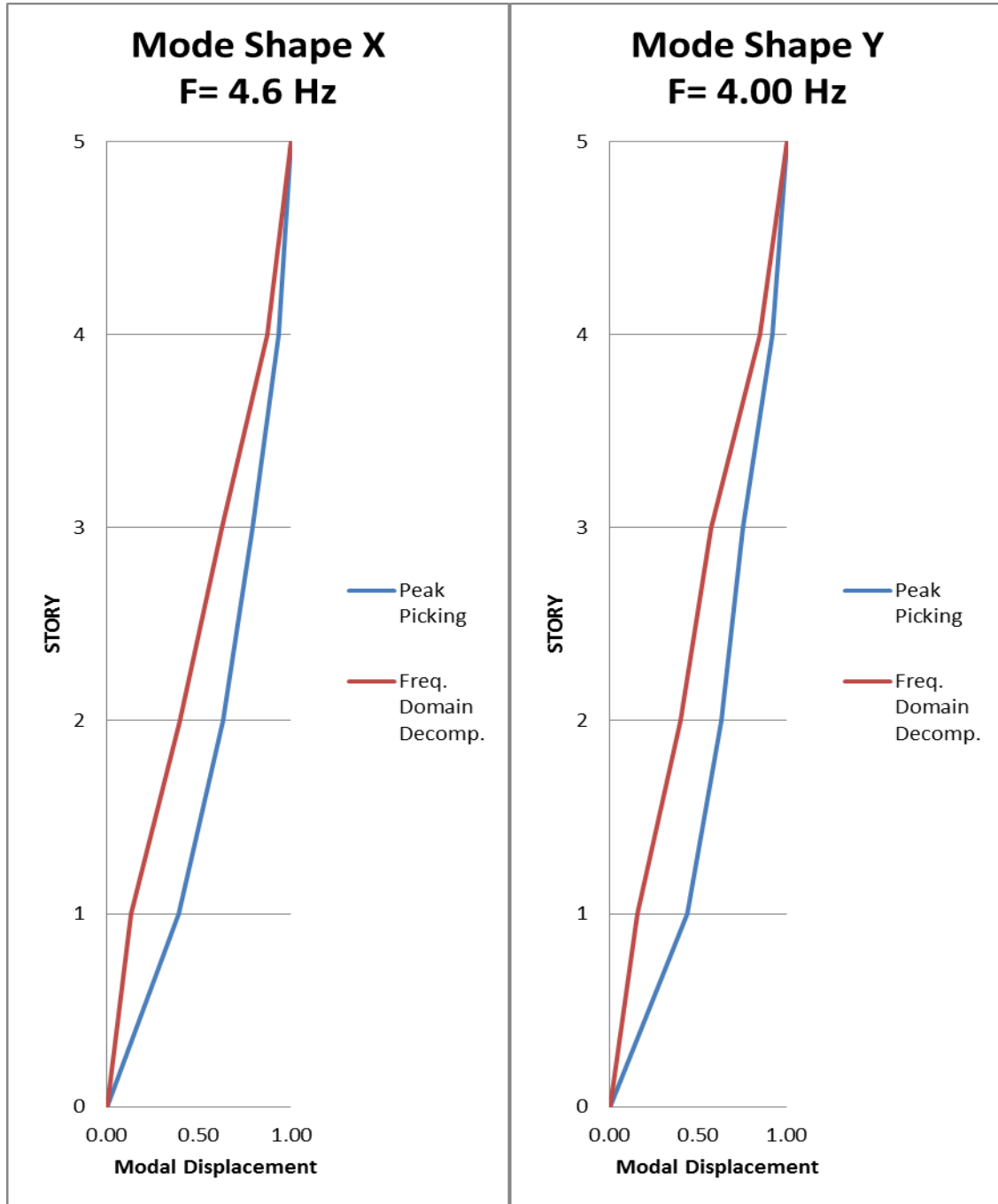


Şekil 19. B köşesi için X yönünde elde edilen CPSD Matris tekil değerleri



Şekil 20. B köşesi için Y yönünde elde edilen CPSD Matris tekil değerleri

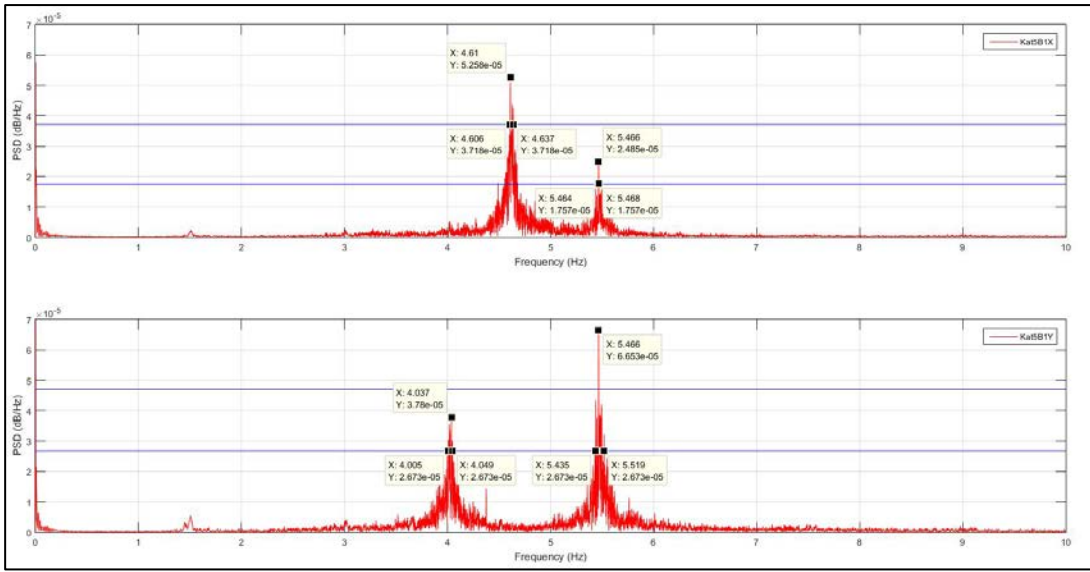
Frequency domain decomposition methodunun binanın birinci modunu Y yönünde 4 Hz'lik frekansla, ikinci modunu X yönünde 4.59 Hz frekansla, üçüncü modunda 5.42 Hz'lik frekansla burulma modu olarak verdiği görülmektedir. Elde edilen frekanslardaki çok küçük farklar frequency domain decomposition metodunun eş zamanlama ve gürültülere daha hassas olmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu yöntemle elde edilen mod şekilleri B köşesi boyunca Şekil 21'de gösterilmiştir. Elde edilen mod şekillerinin Peak Picking metodu ile elde edilenlerden farkının anlaşılması için B köşesi için Peak Picking metodu ile elde edilen mod şekilleri de Şekil 21'de gösterilmiştir. Mod şekillerinin tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.



Şekil 21. Frequency Domain Decomposition ile elde edilen mod şekilleri

3.3. Sönüm oranlarının belirlenmesi

Binaların önemli dinamik özelliklerinden biriside sönüm oranıdır. Bu çalışma kapsamında binanın birinci, ikinci ve üçüncü modlarına ait sönüm oranları titreşim kayıtlarının frekans tanım alanındaki gösterimi üzerinden **Half Power Bandwidth** metoduyla bulunmuştur. Şekil 2’de detaylı olarak açıklanan bu yöntem referans noktasındaki ölçümlere uygulanmıştır. Şekil 22 her iki yönde iki baskın frekans için elde edilen sönüm oranlarının bulunmasını göstermektedir.



Şekil 22. Sönüm oranlarının Half Power Bandwidth metodu ile elde edilmesi

Her bir baskın frekans için sönüm oranı elde edilirken, baskın frekansın gücünün $2^{0.5}$ e bölünmesiyle elde edilen güç değerine karşı gelen frekans değerleri referans çizgileri yardımıyla bulunmuş ve Halfpower Bandwidth metodu uygulanmıştır (Şekil 2). Yapılan hesaplamalara göre yapının Y yönündeki basit hareketin gösteren mod şeklindeki sönüm oranı %0,5 olarak elde edilirken yapının X yönündeki hareketini gösteren basit hareketindeki sönüm oranı %0,3’dür. Yapını burulma modu sönüm oranı X yönündeki kayda göre %0.04, Y yönündeki kayda göre de %1,5 olarak hesaplanmıştır.

Oldukça düşük büyüklükteki titreşimler yardımıyla bulunan bu sönüm oranı yapının deprem altındaki davranışını göstermekten uzaktır. Bu nedenle yapı analiz çalışmalarında kullanılamaz (Soyöz ve dig, 2013). Aynı zamanda titreşim genliğinin artması hesaplanan sönüm oranının da artmasına neden olmaktadır (Aras 2016). Bu özelliğin geçerli olduğu burada da görülmektedir. Zira en büyük sönüm oranı Şekil 17’de görülen en yüksek güce

sahip frekans için elde edilirken, en düşük sönüm oranı da en düşük güce sahip frekans için elde edilmiştir.

3.4. Mevcut binanın dinamik özelliklerinin projeden önce sahip olunan ivmeölçerlerle belirlenmesi

Bu projeye başlamadan önce İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde yürütülen FBA 2013-440 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında edinilmiş tek eksenli ivmeölçerler mevcuttu. Çalışılan binada yürütülen dinamik tanımlama işlemi sadece bu ivmeölçerler kullanılarak yapılmıştır. Şekil 23 bu ivmeölçerlerin binada kullanılmasını göstermektedir.



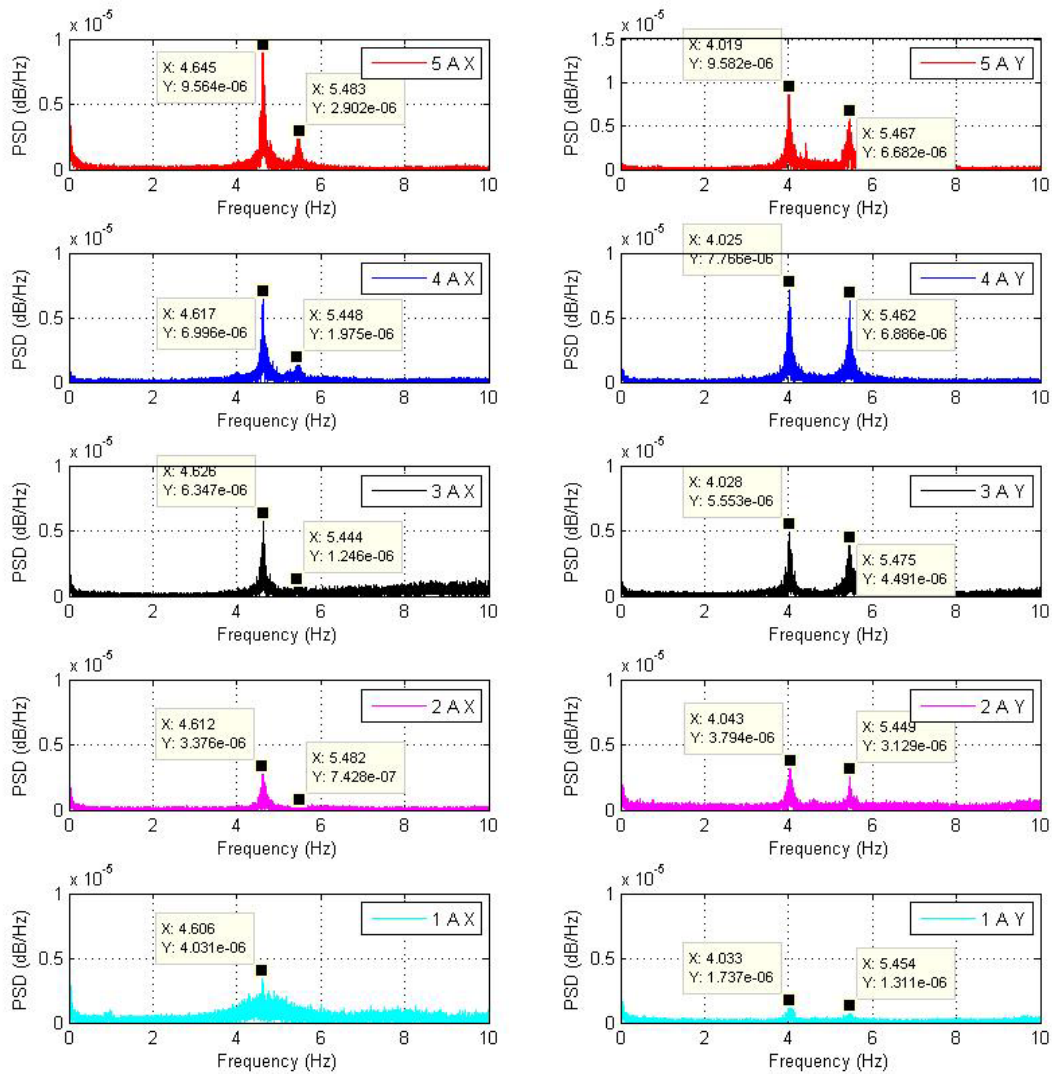
Şekil 23. Tek eksenli ivmeölçerler ile yapılan dinamik tanımlama

Binadan alınan ivme kayıtlarının daha önce açıklandığı gibi analiz edilmesinden sonra bina mod şekilleri elde edilmiştir. Bunun için A köşesi için bina yüksekliğince elde edilen ölçeklendirilmiş FFT gösterimleri Şekil 24'te gösterilmiştir. Şekil 25 ise elde edilen mod şekillerini X ve Y yönünde göstermektedir. Binanın üçüncü modu yine burulma modu olarak tespit edilmiştir. Bu yöndeki frekans değeri 5,46 Hz olarak kabul edilebilir. Belirlenen frekans değerleri, proje kapsamında alınan ivmeölçerlerle yapılan frekans değerleriyle uyumludur. Dinamik mod şekilleride küçük farklılıklar dışında aynı kabul edilebilir (X modu ikinci katta tespit edilen büyük modal yerdeğiştirme).

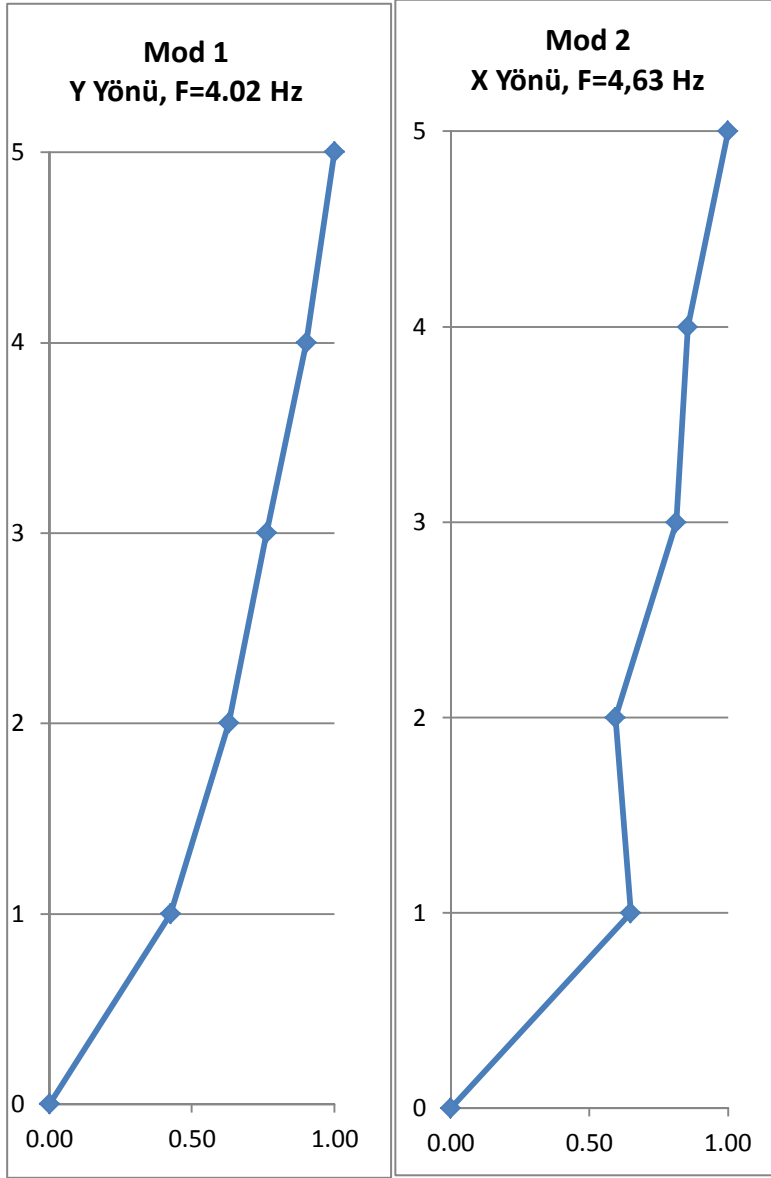
Dinamik tanımlama işinin proje kapsamında satın alınan ivme ölçerler ve önceden sahip olunan ivmeölçerlerle beraber yapılması bir kerede daha fazla noktadan ölçüm alınması imkanı vermesi nedeniyle düşünülebilir. Ancak bu iki farklı tip ivmeölçerler farklı duyarlılık ve ivme aralığına sahiptirler. Bu nedenle elde edilen kayıtların ivme değerlerinde bir uyumsuzluk olacaktır. Normal yapılar için yürütülen dinamik tanımlama işlerinde beraber kullanılmaları

yinede Peak Picking metodunun kullanılması halinde mümkündür. İvmeölçerlerin hepsi çalışılan binada aynı yere konularak yapılacak referans ölçümü ile eşleştirme yapılabilir. Yapılan eşleştirmede tüm ivmeölçerlerin aynı ivme ve baskın frekans büyüklüklerini elde etmek üzere bir kalibrasyon çarpanı elde edilir ve kayıtlar her ölçümde bu kalibrasyon çarpanı ile ayarlanır. Bu sayede sahip olunan ivmeölçerler beraber kullanılabilir. Öte yandan Frequency Domain Decomposition metodu için kayıtların tamamen eş zamanlı olması ve aynı tip cihazlarla alınması önemlidir.

Proje kapsamında yürütülen dinamik tanımlama işlemlerinde sahip olunan farklı ivmeölçerler beraber kullanılmamıştır.



Şekil 24. Eski ivmeölçerler ile yapılan ölçümlerin ölçeklendirilmiş FFT'leri



Şekil 25. Eski ivmeölçerle yapılan analizler sonucunda elde edilen bina mod şekilleri (A köşesinde bina yüksekliğince elde edilmiştir.)

Sonuç olarak eski ve yeni ivmeölçerle yapılan dinamik tanımlamanın bina için aynı dinamik özellikleri verdiği belirlenmiştir.

4. ZEMİN KAT DUVARLARININ KALDIRILMASI

Projemizin genel hedefi betonarme yapılarda duvar etkilerini titreşim analizleri ile incelemek olduğu için binanın duvarsız halinin elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için binanın zemin katında bulunan bölme duvarların etkileri sıfırlanmıştır. Bu nedenle zemin kattaki tüm bölme duvarlar içinde bulundukları çerçevelerden 10 – 15 cm aralıkla ayrılmıştır. Ayırma işlemi darbe etkisi yaratan ve duvarların kırılmasını sağlayan aletlerle yapılmış ve betonarme çerçevenin zarar görmemesine özen gösterilmiştir. Zemin katta bulunan toplam 38 adet çerçeve içindeki duvarlar kolon ve kirişlerden tamamen ayrılmıştır. Şekil 26 ve 27 Bina gerçekleştirilen duvar – betonarme çerçeve ayırma işlemini göstermektedir. Uygulanan ayırma işleminden sonra duvarlar insan gücüyle bile düzlemleri dışında oynatılabilecek duruma gelmiştir. Ancak binanın İstanbul Medeniyet Üniversitesinin sahip olduğu ve dışarıdan görülebilen merkezi bir yerde olması nedeniyle çirkin bir görüntü oluşturmamak için tamamen yıkılması gerçekleştirilmemiştir. Ayırma işlemi sonucunda zemin katta bulunan duvarların yapı davranışına herhangi bir katkı bulunmadığı açık şekilde belirlenmiştir.



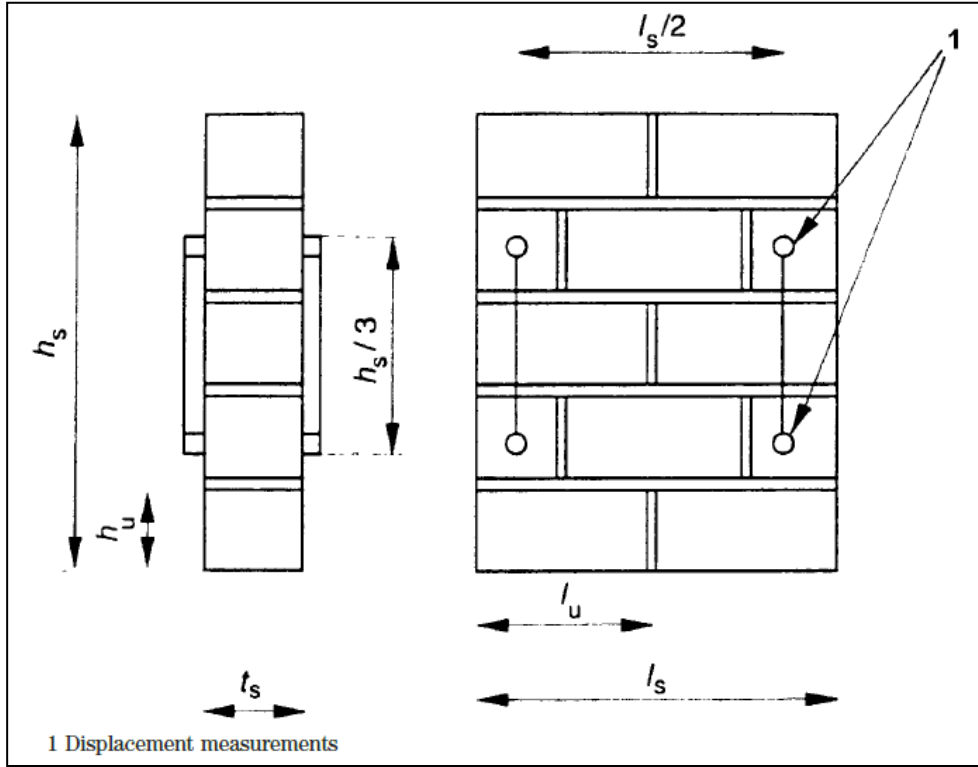
Şekil 26. Duvar ayırma sonrasında yapı içinden görünüş



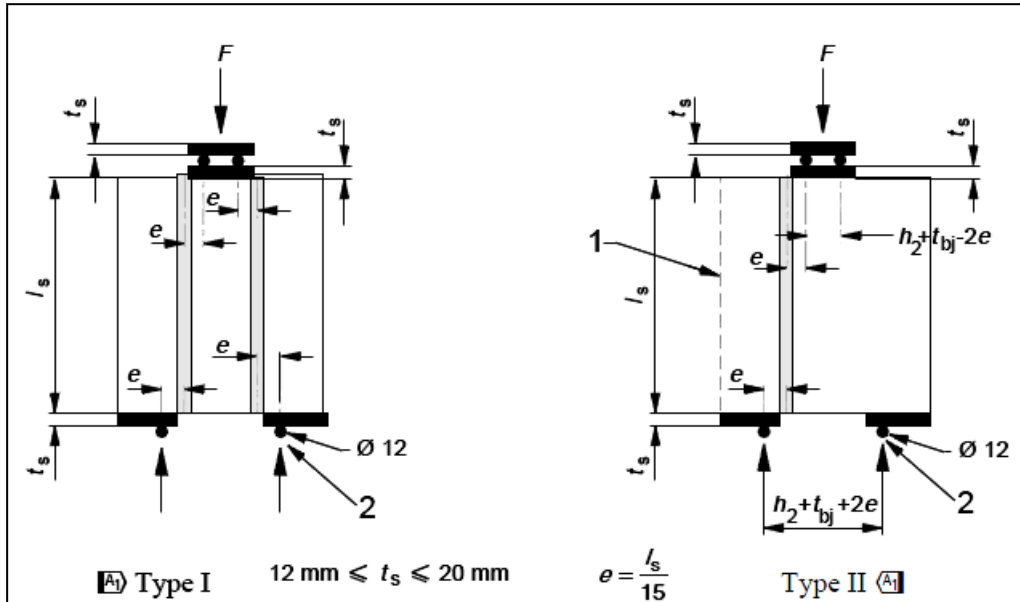
Şekil 27. Duvar ayırma işlemi sonrası yapının dışarıdan görünüşü

5. DUVAR DENEYLERİ

Zemin katta bulunan bölme duvarların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için bu duvarlardan basınç ve kayma testleri için numuneler alınmıştır. Alınan test numuneleri EN1052-1 ve EN502-3 (Kâgir - Deney metotları) standartlarına göre alınmıştır. Buna göre basınç testi için en az 5 tuğla yüksekliğinde ve iki tuğla genişliğinde duvar bloklarının kullanılması gerekmektedir. Standardın kullanılmasını gerektirdiği test numune çizimi Şekil 28'te gösterilmiştir: Duvarın kayma dayanımı için is en az üç tuğla yüksekliğinde test numunesi kullanılmalıdır. Şekil 29 başlangıç kayma dayanımının elde edilmesi için yapılması gereken testlerde kullanılması gereken numune özelliklerini göstermektedir.



Şekil 28. EN1052-1'e göre basınç testi için kullanılacak numune özellikleri



Şekil 29. EN1052-3'e göre başlangıç kayna dayanımı testi için kullanılacak numune özellikleri (Bu çalışmada birinci tip deneyler yapılmıştır)

Yürütülen çalışma kapsamında hem binada bulunan iç ve dış duvarlar ayrı ayrı incelenmiştir. Çünkü Türkiye’de bulunan genel betonarme yapı stoğunda iç ve dış duvarların farklı özelliklerde inşa edildikleri bilinmektedir. Bunun için binadan dört adet iç duvar dört adet de dış duvar numunesi alınması planlanmıştır. Ancak binadan duvar kesim işlemleri yapıldığında iç ve dış duvarların tamamen aynı biçimde üretildikleri görülmüştür. Çalışma kapsamında belirlenen plan bozulmamış dört adet iç duvar dört adette dış duvar numunesi, alınmıştır. Şekil 30 düzgün duvar numunesi alınması için kullanılan dairesel beton testeresini göstermektedir. Şekil 31 ise testere ile kesilen duvar basınç ve kayma numunelerini göstermektedir.



Şekil 30. Duvar kesme işleminde kullanılan testere



Şekil 31. Laboratuvarda test edilmek üzere kesilmiş duvar

Alınan numuneler Boğaziçi Üniversitesi, Yapı Laboratuvarına nakledilmiş ve testleri gerçekleştirilmiştir. Belirtilen standarttaki kurallara uyarak yükleme yapılmış ve iç duvar ve dış duvar numuneleri ayrı ayrı test edilmiştir. Örme biçimi olarak aynı oldukları görülen iç ve dış duvarların mekanik özellikler olarak da aynı özellikleri gösterdikleri yapılan testler sonucunda görülmüştür. Şekil 32'de numunelere uygulanan basınç testi görülmektedir. Yapılan testler numunelerin aşırı gevrek davranışı ispatlamıştır. Deney sonucunda numuneler belirgin bir çatlak veya şekil değiştirme göstermeden ani ve gürültülü bir şekilde (patlama tarzında) dağılarak parçalanmıştır. Şekil 33 test sonucunda parçalanan bir numuneyi göstermektedir.

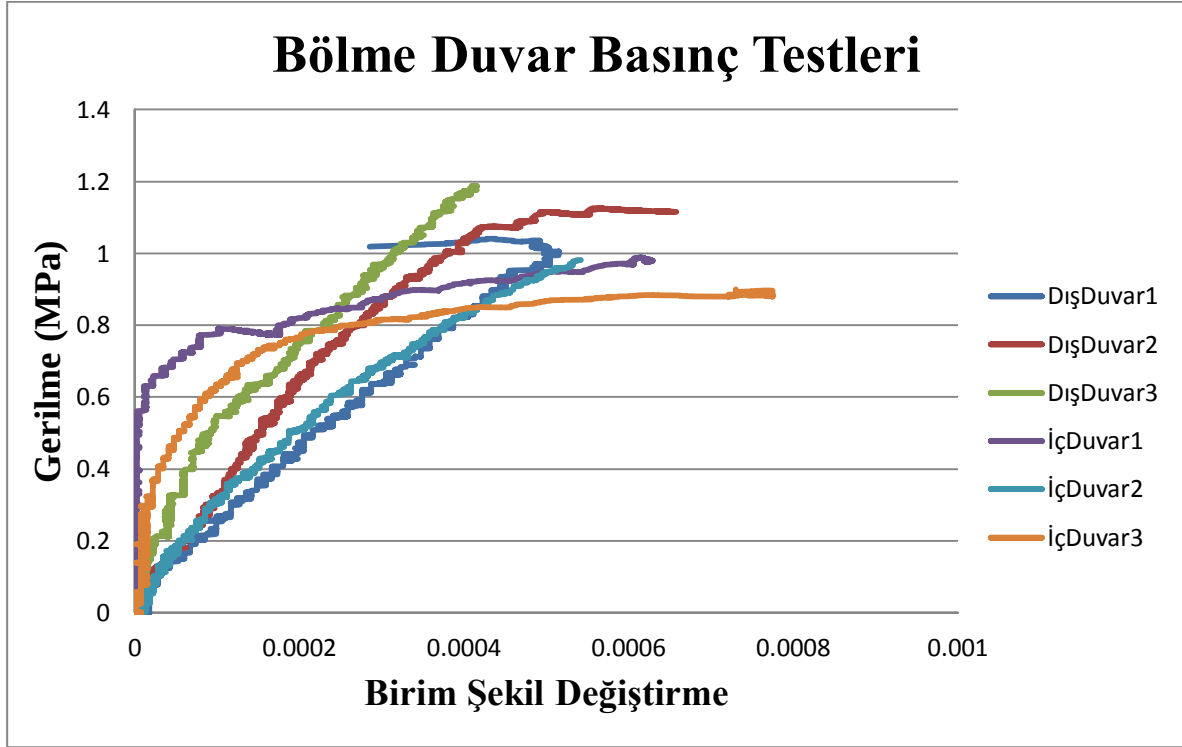


Şekil 32. Laboratuvarda gerçekleştirilen duvar basınç deneyi



Şekil 33. Basınç yükü etkisinde aniden parçalanmış numune

Gerçekleştirilen deneyler sırasında beklenen göçme yükünden fazla bir dayanım gösteren bir numune testi sırasında parçalanmadan önceki durumun incelenmesi için deney durdurulmuş ve numune incelenmiştir. Yapılan incelemede numunede görülen tek çatlak tuğlalar ve sıva arasında ayrılmadan ibaret olduğu gözlenmiştir. Yapılan altı adet basınç testi sonrasında elde edilen gerilme şekil değiştirme diyagramları Şekil 34’de gösterilmiştir. Bu diyagramlar üzerinde Tablo 1’de gösterilen mekanik özellikler hesaplanmıştır. Numunelerin elastisite modülleri yürütülen çalışmanın amacına uygun olarak 0,3 MPa değeri baz alınarak, sekant modül olarak hesaplanmıştır.



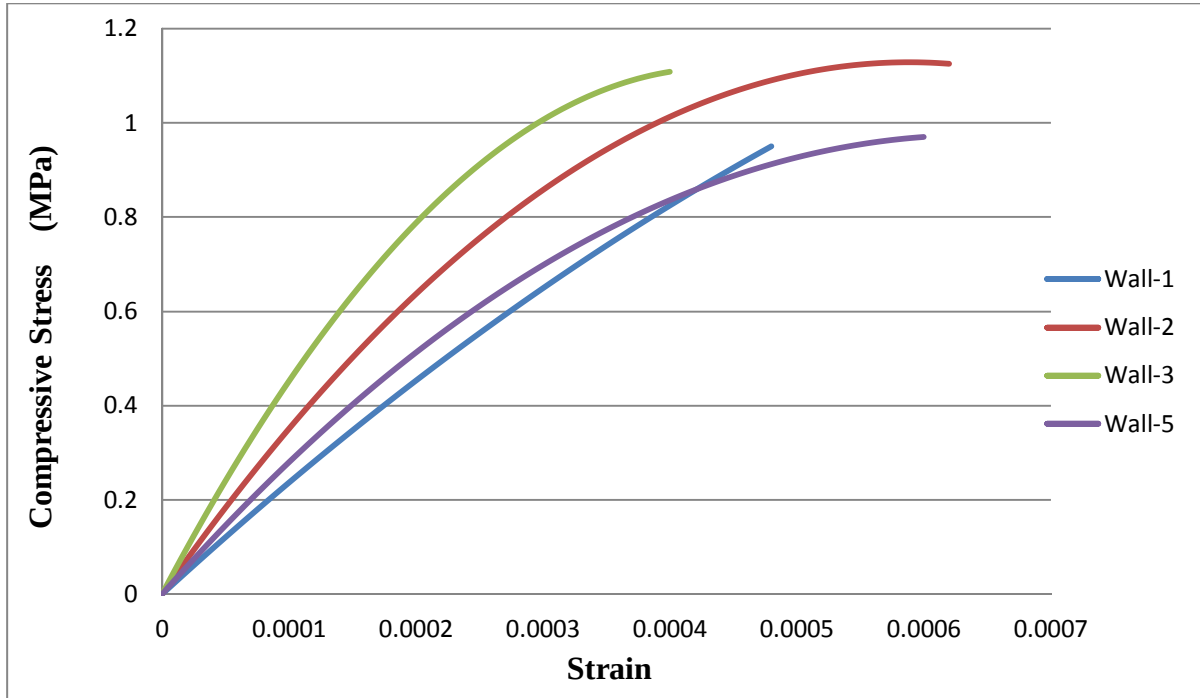
Şekil 34. Basınç gerilmesi altında bölme duvarlarda gerilme şekil değiştirme grafikleri

Tablo 1. Basınç testleri sonuçları (ham sonuçlar)

Numune No	Basınç Dayanımı (MPa)	En Büyük Şekil Değiştirme	Elastisite Modulu (MPa)
DD1	1	0,00051	2348
DD2	1,12	0,00065	3025
DD3	1,19	0,000415	6651
ID1	0,98	0,000629	Hesaplanamadı
ID2	0,98	0,000542	2976
ID3	0,88	0,000775	13000

Yürütülen çalışmada kullanılan deney düzeneğindeki yükleme işlemi manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle sabit bir yüklemem hızı elde edilememiştir. Ayrıca şekil değiştirme okumalarının hassasiyetinin yükleme okumalarındaki kadar iyi olmadığı açıktır. Bunun nedeni rijit ve kırılğan olan bölme duvarların küçük bir deformasyona büyük yüklemeler altında maruz kalmasıdır. Bu nedenlerden dolayı Şekil 34’de görüldüğü gibi kademeli gerilme – şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Ancak genel davranış grafiklerin

çizildiği Excel programının Trend fonksiyonu kullanılarak elde edilebilir ve mekanik özellikler bu eğriler üzerinden elde edilebilir. Yapılan deneylerdeki belirtilen yükleme koşulları ve test edilen bölme duvarlarda beklenen düzensizlikler nedeni ile Şekil 34'de gösterilen gerilme – şekil değiştirme eğrilerinin Şekil 35'de gösterilen eğriler olarak düzenlenmesi ve yükleme ilk bölümünde oldukça rijit bir davranış gösteren (muhtemelen şekil değiştirme okumasının alınamaması nedeniyle) ID3 numunesinin değerlendirme dışında bırakılmasına karar verilmiştir. Şekil 35'de gösterilen grafiklerle her bir numune için elemanların elastisite modülleri yeniden hesaplanmış ve Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 35. Basınç gerilmesi altında bölme duvarlarda gerilme şekil değiştirme grafikleri

Tablo 2. Trend analizi yapılmış grafiklerden elde edilen Elastisite modülleri

Numune	Basınç Dayanımı (MPa)	En büyük şekil değiştirme oranı	Elastisite Modülü (MPa)
Wall-1	1.00	0.00051	2300
Wall-2	1.10	0.00065	3600
Wall-3	1.20	0.000415	4600
Wall-4	1.00	-	-
Wall-5	1.00	0.000542	3000
Wall-6	0.90	-	-

Yapılan literatür taramasına göre betonarme binalarda kullanılan bölme duvarların elastisite modülleri 1000 – 8000 MPa arasında değişmektedir (Güler ve diğ. 2008, Köse 2009, Baloevic ve diğ. 2013, Cavaleri ve Trapani 2014, Lourenco ve diğ 2010). Proje yürütücüsü 2015 yılında tamamladığı İstanbul Medeniyet Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenen proje çıktılarının değerlendirilmesi sonucunda titreşim analizleri ile bölme duvar özelliklerini belirlemeye çalışmış ve bu projede kullanılan benzer bir binadaki bölme duvar elastisite modülünü 3100 MPa olarak belirlemiştir (Aras 2015). Projede gerçekleştirilecek numerik analizlerle bina dinamik özellikleri doğrulanacak ve bu doğrulama işlemi bina bölme duvarlarının elastisite modülleri de dâhil olmak üzere, binadan kullanılan betonun sınıfı ve bina mesnet koşullarının değerlendirilmesine imkân verecektir.

Duvar numunelerinin ortalama basınç dayanımı, f_c , Tablo 1'deki altı testin sonuçları kullanılarak 1,025 MPa olarak hesaplanır ve yaklaşık olarak 1 MPa olarak alınabilir. Karakteristik basınç dayanımı ise yine ilgili standarda göre $f_c/1,2$ ve f_{min} 'dan küçük olanı olarak kabul edileceğinden bu değer 0,85 MPa olarak elde edilir. Sayısal modal analizlerde kullanılmak üzere duvar elastisite modülü ise Tablo 2'de gösterilen değerlerin ortalaması olarak 3400 MPa alınmıştır. Ortalama hesabında sonuç 100 MPa bazında yuvarlanmıştır.

Şekil 36'da kayma testi gösterilmektedir. EN1052-3' göre hazırlanan deney düzeneğinde ilk önce alt plakalar tek çubukla desteklendiğinden eğik olarak durmaktalar. Daha sonra yük artıkça alt plakalar tam yatay konuma gelmektedirler. Kayma testi sırasında beş tuğla yüksekliğinde duvar numuneleri kullanılmış ancak kayma yükü EN1052-3'de olduğu gibi orta numuneye verilerek kayma deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda gözlemlenen göçme modları Şekil 37 ve Şekil 38'de görülmektedir. Şekil 32'de görülen deney sonucunda elde

edilen veriler başlangıç kayma dayanımı hesaplamada kullanılabilecekken Şekil 33'da verilen ve kayma göçmesi olmayan göçme modu başlangıç kayma dayanımı sonucunun hesaplanmasında kullanılamaz. EN1052-3'ün EK bölümünde göçme modları ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir. Bu nedenle kayma göçme modunun her teste elde edilmesi çok zor olduğu açıktır. Testi yapılan sekiz adet numunenin sonuçları ve göçme modları Tablo 3'te gösterilmiştir. Buna göre gerçekleştirilen sekiz adet testten üç tanesi kayma göçmesi nedeniyle kapasitesine ulaşmıştır. Elde edilen kayma gerilmeleri 0,21 MPa, 0,23 MPa ve 0,53 MPa olarak belirlenmiştir. Duvar kayma dayanımı 0,21 MPa olarak alınır.



Şekil 36. Laboratuvarında gerçekleştirilen duvar kayma deneyi (Yüklemeden önceki ve yükleme yapılırken alt levha konumları farklı)



Şekil 37. Kayma deneyi sonucunda oluşan kayma göçmesi



Şekil 38. Kayma deneyi sonunda oluşan tuğla kırılması

Tablo 3. Kayma Testi Sonucunda Elde Edilen Sonuçlar

Numune No	ID1	ID2	ID3	ID4	DD1	DD2	DD3	DD4
Kırılma Yüğü (kN)	2,70	3,52	1,75	12,00	13,10	35,00	8,00	20,00
Kayma Alanı (cm ²)	559	611	598	563	577	662	597	572
Göçme Gerilmesi (MPa)	0,05	0,06	0,03	0,21	0,23	0,53	0,13	0,35
Göçme Türü	Tuğla	Tuğla	Tuğla	Kayma	Kayma	Kayma	Tuğla	Tuğla

6. ZEMİN KATTA DUVAR OLAMAYAN BİNADA ÇEVRESEL TİTREŞİM ANALİZİ

Bina zemin katında gerçekleştirilen duvar ayırma işleminden sonra binadan 18.02.2017 tarihinde tekrar titreşim kayıtları alınmıştır (Şekil 39). Alınan bu titreşim kayıtları daha önce açıklandığı gibi frekans ortamına aktarılarak binanın baskın frekansları ve mod şekilleri tahmin elde edilmiştir. Detayları daha önce açıklanan Peak Picking and Frequency Domain Decomposition metotları kullanılmıştır.



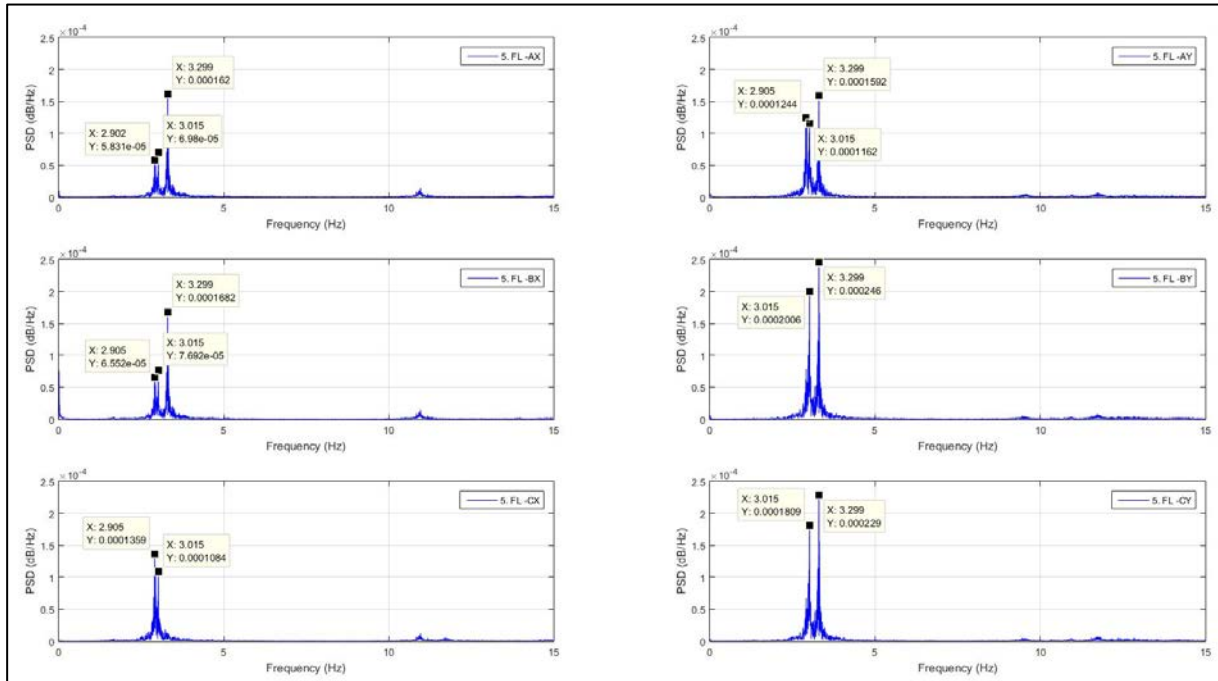
Şekil 39. Zemin katında bölme duvarları etkisizleştirilmiş binadan titreşim kayıtlarının alınması

6.1. Peak Picking metodu ile dinamik tanımlama

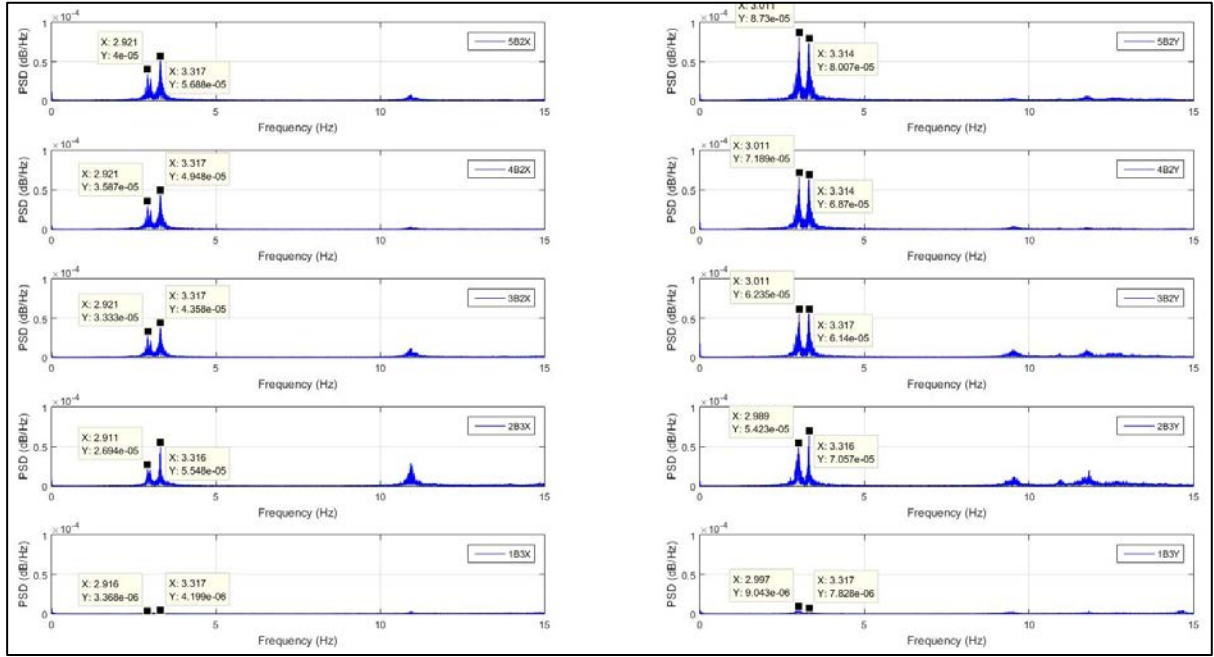
Şekil 40 binanın zemin katında bölme duvar olmadığı zaman binanın beşinci katından alınan ivme kayıtlarının frekans ortamına aktarılması sonucu elde edilen baskın frekansları görülmektedir. Görüldüğü gibi binanın X yönünde A ve B köşe noktalarında 2.9 ve 3.015 Hz civarında iki adet tepe noktasını 3.3 Hz civarında üçüncü bir tepe noktası izlemektedir. C noktasında 3.3 Hz'lik tepe noktası görülmemektedir. Bu nedenle 3.3 Hz frekansı ile salınımı gösteren mod şeklinde C noktasının X yönünde hareket etmediği söylenebilir. Y önündeki frekanslara bakıldığında A noktası için yine 2.9 Hz, 3,01 Hz ve 3,3 Hz'lik tepe noktaları belirgindir. B ve C noktalarında 3,01 ve 3,3 Hz'lik tepe noktaları görülmektedir. Belirlenen üç adet frekans değerleri olan 2,9 Hz, 3,01 Hz ve 3,3 Hz değerlerinin hem X hem de Y yönünde beraber görülmeleri bu modlarda burulma hareketinin olduğunun göstergesi olabilir. Ancak kullanılan en basit modal tanımlama yöntemi olan Peak Picking metodunun birbirine yakın frekanslı modları ayırtmada yetersiz kalabileceği de unutulmamalıdır. Bu noktada bir sonraki başlıkta görülecek olan Frequency Domain Decomposition metodu daha sağlıklı sonuç verebilir.

Şimdilik binanın birinci mod şekli 2.9 Hz frekans ile X yönünde olduğu kabul edilebilir. Çünkü A, B ve C köşelerinde X yönünde bu değerde tepe noktası elde edilmişken, B ve C köşelerinde Y yönünde bu frekansta tepe noktası yoktur. Bina'nın ikinci modu 3,01 Hz değerinde burulma olduğu ancak Y yönünün daha baskın olduğu görülebilir. Bina'nın üçüncü modu ise 3,3 Hz'lik frekans değerinde, C noktasında X yönünde hareketin olmadığı burulma modudur.

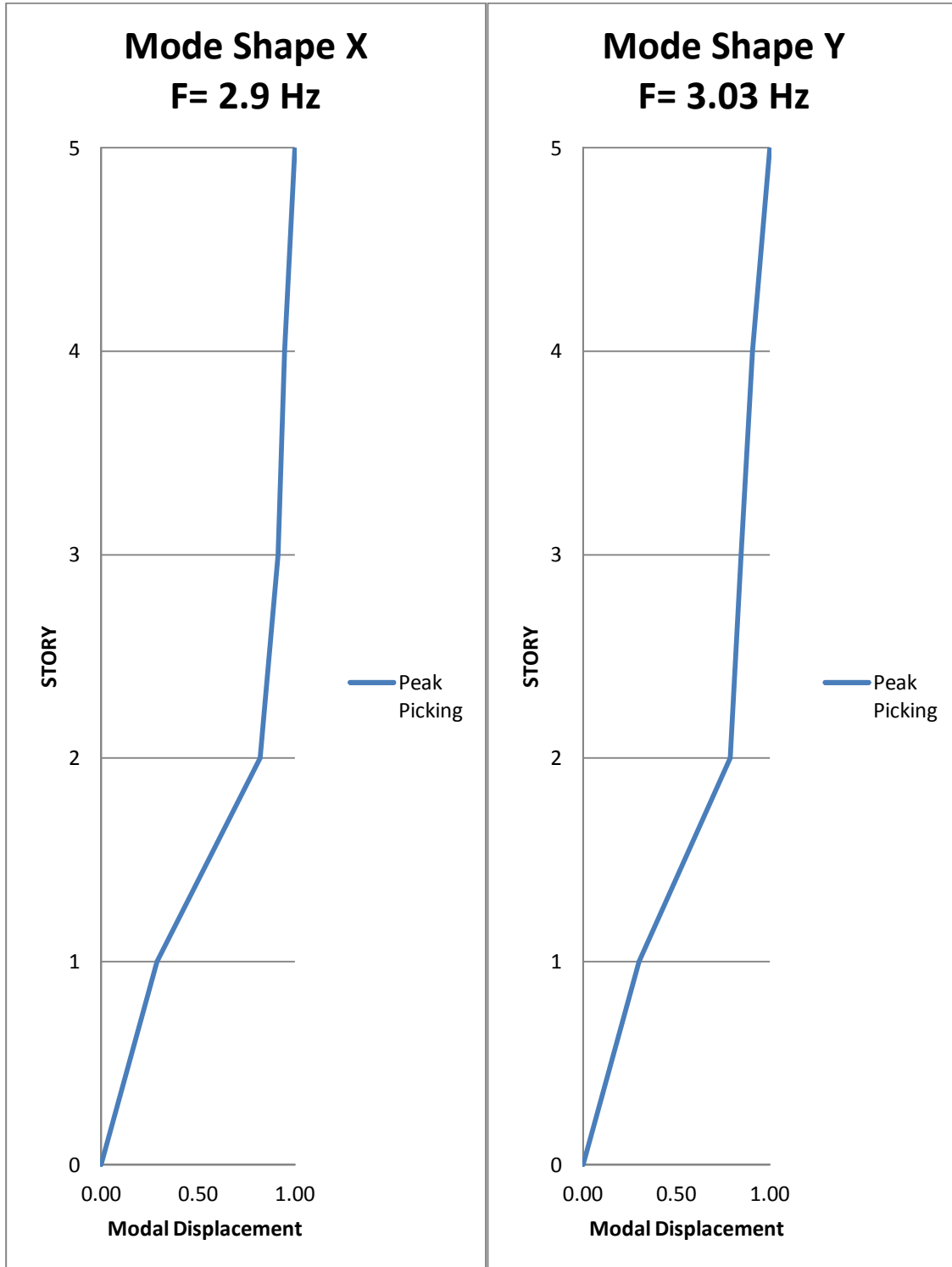
Bina'nın B köşesinde, bina yüksekliğince alınan kayıtlar kullanılarak mod şekilleri Pick Picking Metodu ile elde edilmiştir. Beşinci kat B köşesi referans alınarak iki ölçümle tamamlanan mod şekli belirleme işlemi sonucunda elde edilen frekans dağılımları Şekil 41'de gösterilmektedir. Bu frekans dağılımları ile elde edilen mod şekilleri de Şekil 42'de gösterilmiştir.



Şekil 40. Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın 5. Katından alınan ölçümlerin frekans ortamında gösterilmesi



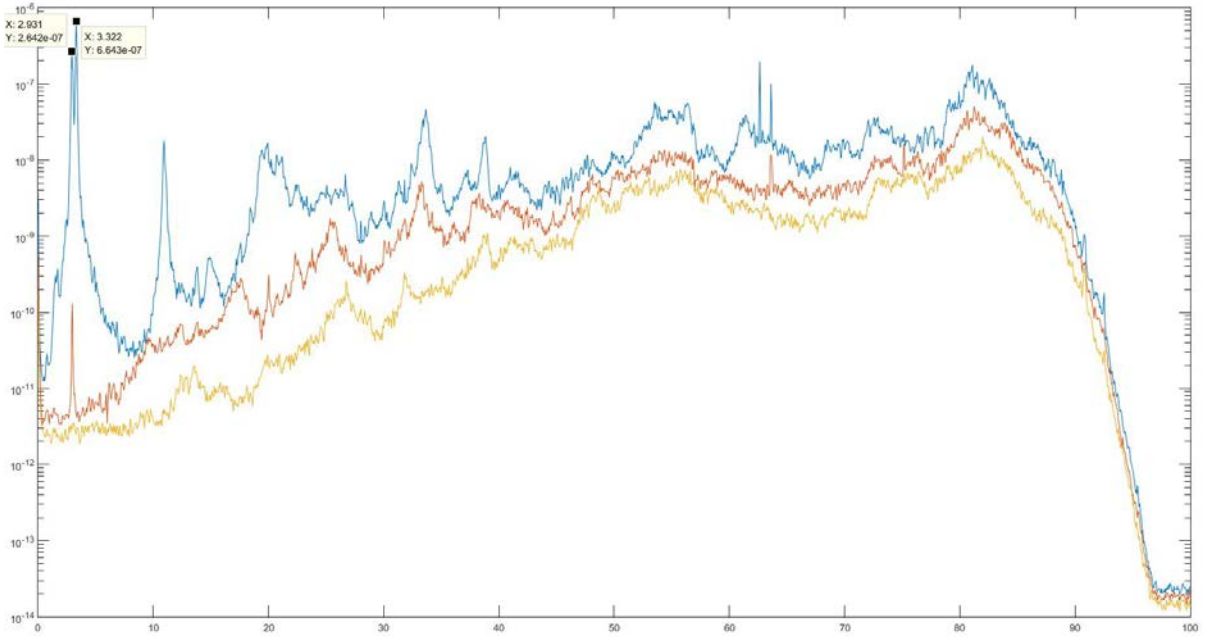
Şekil 41. Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın B köşesi boyunca mod şekillerinin X ve Y yönlerinde Peak Picking ile elde edilmesi



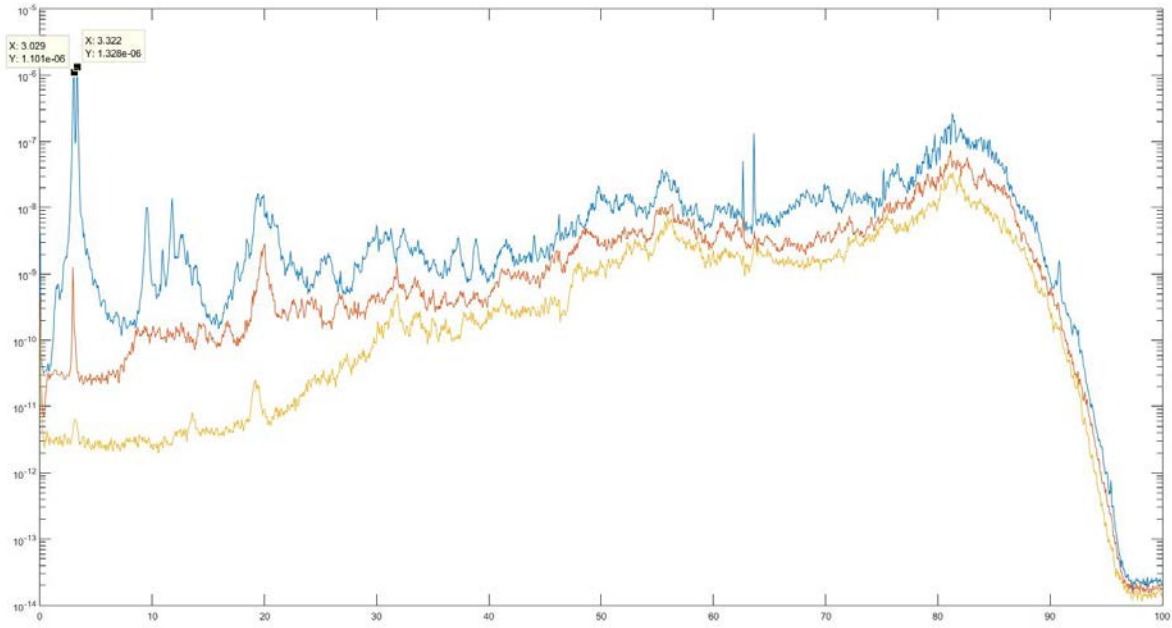
Şekil 42. Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın B köşesi boyunca Peak Picking ile elde edilen mod şekilleri

6.2. Frequency Domain Decomposition metodu ile dinamik tanımlama

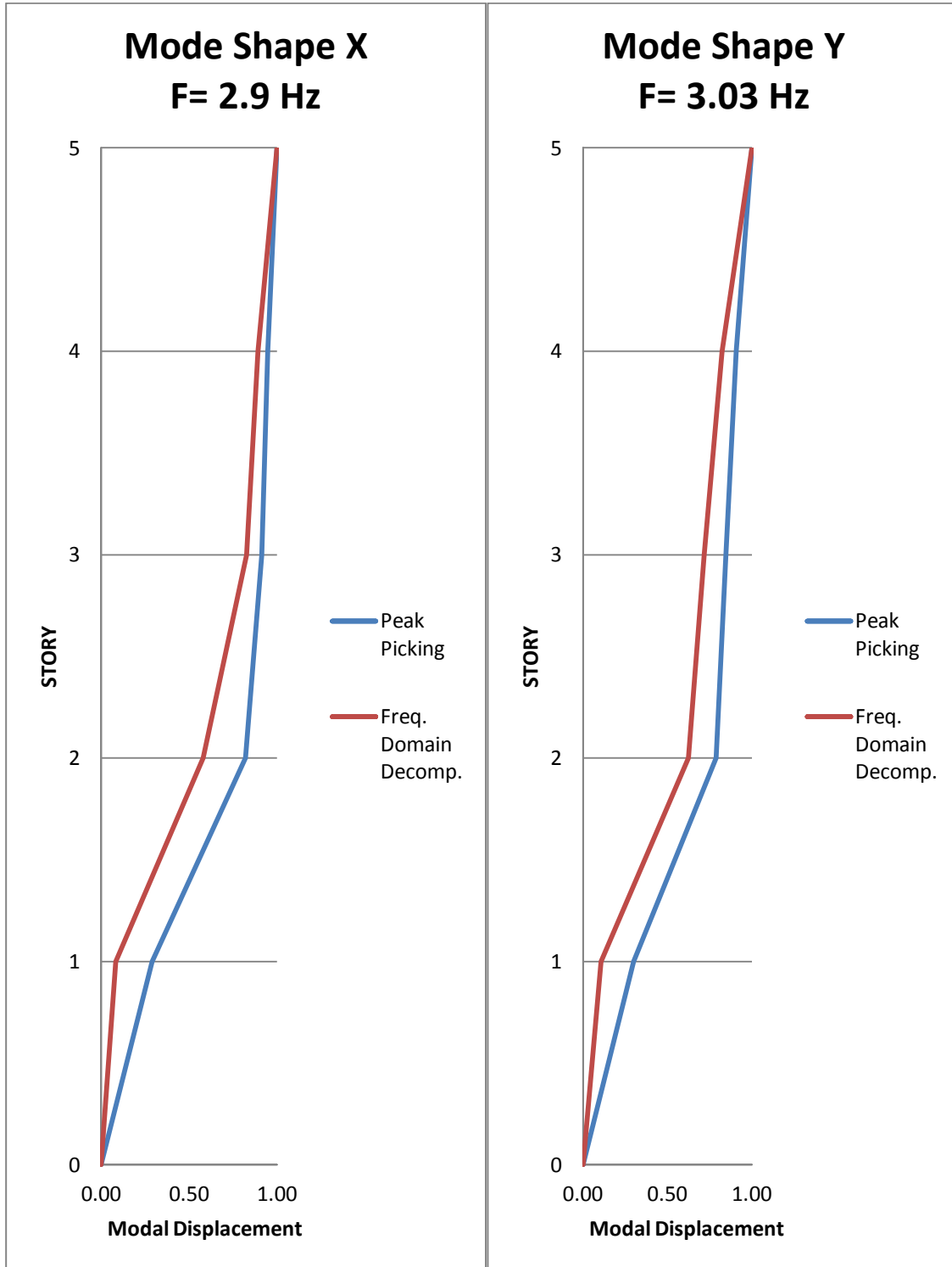
Binanın zemin katında bulunan duvarların ayrılmasından sonra alınan ivme kayıtları Frequency Domain Decomposition metodu ile değerlendirilmiştir. Şekil 43 ve Şekil 44 binanın X ve Y yönleri için elde edilen Cross Power Spectral Density matrislerinin tekil değerlerini göstermektedir. Buna göre X yönünde 0 – 10 Hz aralığında 2,93 Hz ve 3,32 Hz frekans değerlerinde iki adet değer elde edilmiştir. Bina Y yönünde ise 0 – 10 Hz aralığında 3,03 Hz ve 3,32 Hz frekans değerlerinde iki adet değer elde edilmiştir. Buna göre binanın ilk modu X yönünde hareket, ikinci modu Y yönünde hareket üçüncü modu ise burulma modu olarak adlandırılabilir. Bu yöntemle elde edilen mod şekilleri B köşesi boyunca Şekil 45’de gösterilmiştir. Elde edilen mod şekillerinin Peak Picking metodu ile elde edilenlerden farkının anlaşılması için B köşesi için Peak Picking metodu ile elde edilen mod şekilleri de Şekil 45’de gösterilmiştir. Mod şekillerinin tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.



Şekil 43. Zemin kattı duvarsız binada B köşesi için X yönünde elde edililen CPSD Matrisi tekil değerleri



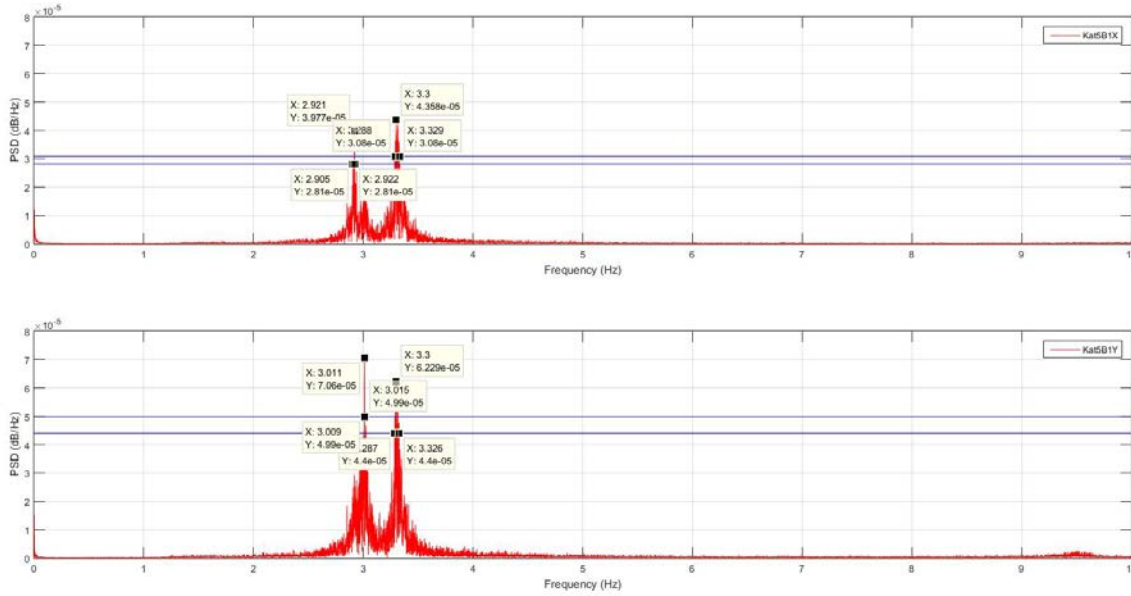
Şekil 44. Zemin kattı duvarsız binada B köşesi için Y yönünde elde edililen CPD Matris tekil değerleri



Şekil 45. Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın B köşesi boyunca Peak Picking ve Frequency Domain Decomposition metotları ile elde edilen mod şekilleri

6.3. Sönüm oranlarının belirlenmesi

Zemin kattan bölme duvarların kaldırılmasından sonra elde edilen binanın dinamik modlarına ait sönüm oranları Half Power Bandwidth metoduyla bulunmuştur. Şekil 46 her iki yönde iki baskın frekans için elde edilen sönüm oranlarının bulunmasını göstermektedir. Yapılan hesaplamalara göre yapının X yönündeki basit hareketin gösteren mod şeklindeki sönüm oranı %0,3 olarak elde edilirken yapının Y yönündeki hareketini gösteren basit hareketindeki sönüm oranı %0,1'dür. Yapını burulma modu sönüm oranı X ve Y yönündeki kayıtlara göre %0.6 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin yapının genel davranışını temsil etmekten uzak olduğu daha önce belirtilmişti.



Şekil 46. Zemin katında duvarları olmayan binada sönüm oranının belirlenmesi

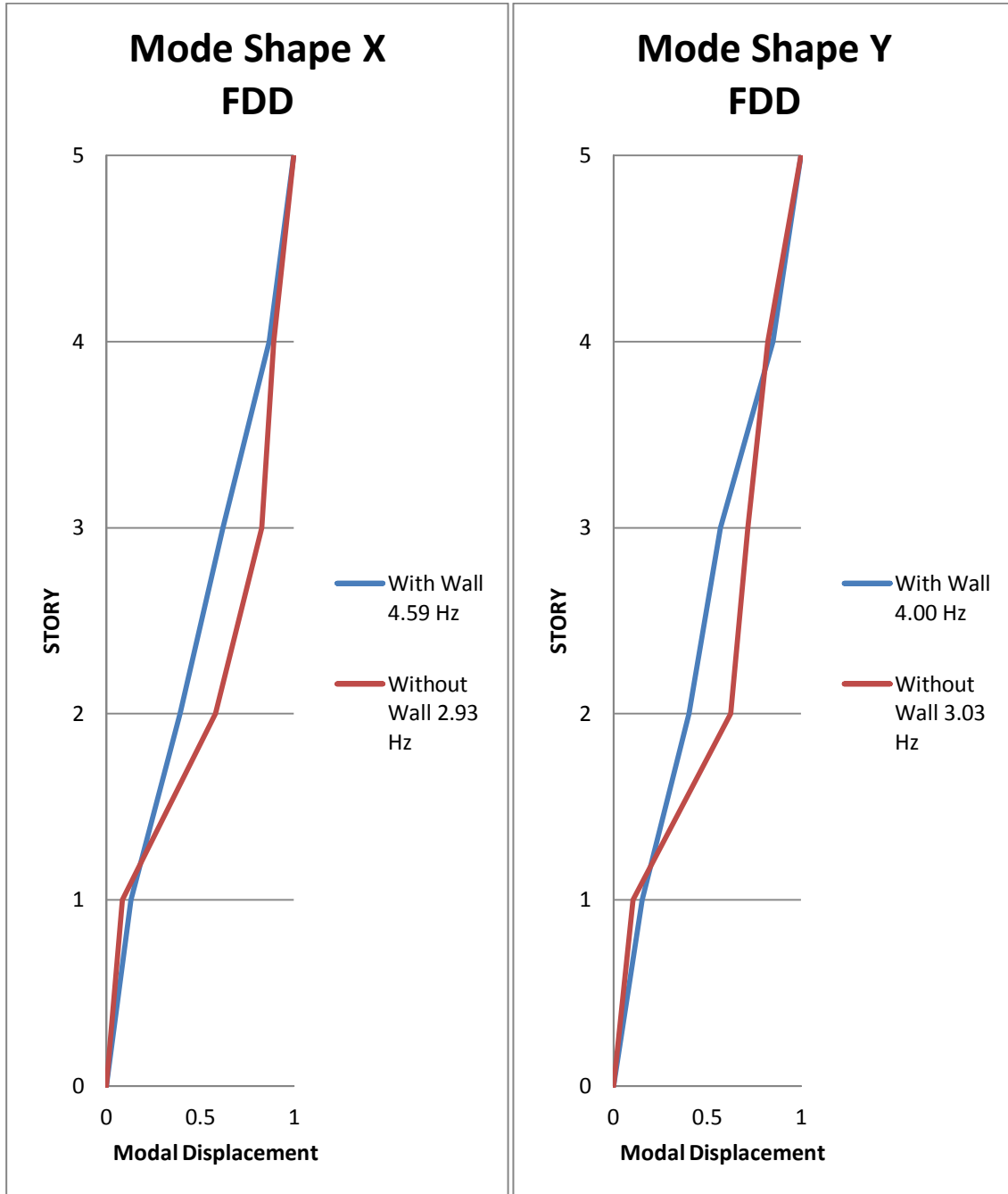
7. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Betonarme yapılarda kullanılan bölme duvarların, yapıların dinamik özelliklerine olan etkilerini ortaya çıkarmaya yönelik yürütülen bu çalışmada açıklandığı üzere gerçekleştirilen deneyler ve analizler çalışmanın amacına tam olarak ulaşmasını sağlamıştır. Daha ileri bir teknik olması ve yürütülen çalışma kapsamında daha net sonuçlar ortaya çıkarması nedeniyle frequency domain decomposition dinamik tanımlama metoduyla elde edilen sonuçlar bölme duvarların betonarme binaların dinamik davranışına olan etkisini ortaya çıkarmak için kullanılabilir.

Binanın orijinal ve zemin katında bölme duvarları olmadığı hali için ayrı ayrı gerçekleştirilen dinamik tanımlama sonuçları bina X yönü için Şekil 19 ve Şekil 43, bina Y yönü içinde Şekil 20 ve Şekil 44'ün karşılaştırılması ile görülebilir. Buna göre orijinal binanın birinci mod Y yönünde 4 Hz, ikinci modu X yönünde 4,59 Hz, üçüncü modu ise burulma olarak 5,42 Hz'lik frekansla elde edilmiştir. Yapı davranışını temsil etmekte ilk modlara göre daha az katkı sağlayan diğer modlar 10 Hz'den daha yüksek frekanslarda belirlenmiş ve yürütülen çalışma kapsamında yorumlanmamıştır. Zemin katında bölme duvarları kaldırılan binada yapılan analizlere sonucunda binanın birinci mod X yönünde 2,93 Hz, ikinci modu Y yönünde 3,03 Hz, üçüncü modu ise burulma olarak 3,32 Hz'lik frekansla elde edilmiştir. Yine üst modlar 10 Hz'den büyük frekans değerleri ile elde edilmiş ve değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Elde edilen titreşim frekanslarına göre bölme duvarların yapı rijitliğine olan katkısı açıktır. Elde edilen deneysel çalışmalar yapı periyoduna bağlı olarak da değerlendirilebilir. Buna göre yapı zemin katında bulunan bölme duvarların kaldırılması yapının X yönündeki periyodunu 0,218 saniyeden 0,341 saniyeye çıkarmıştır. Ayrıca yine aynı nedenden dolayı yapının Y yönündeki periyodu 0,25 saniyeden 0,33 saniyeye çıkmıştır. Yapının burulma modu periyodu ise 0,184 saniyeden 0,301 saniyeye çıkmıştır.

Yapının X ve Y yönlerindeki mod şekillerinde meydana gelen değişikliklerin incelenmesi de bölme duvarların yapı davranışına olan etkisinin ortaya çıkarılması için önemli bilgiler verecektir. Şekil 47 frequency domain decomposition metodu kullanılarak yapının orijinal ve zemin katında bölme duvarların olmaması durumunda elde edilen mod şekillerini göstermektedir. Her iki durumda elde edilen mod şekilleri tepe deplasmanı 1 olacak şekilde normalize edilmiştir.



Şekil 47. Binanın orijinal ve zemin katında bölme duvarların olmaması durumunda elde edilen mod şekilleri (FFD)

Kat seviyelerinde elde edilen modal deplasmanların değerlendirilmesi durumunda orijinal binada modal deplasmanların kat seviyesine bağlı olarak düzgüne yakın bir şekilde arttığı görülmektedir. Ancak zemin katında bölme duvarları kaldırılmış binada modal deplasmanların birinci ve ikinci kat seviyeleri arasında diğer katlara göre daha fazla olduğu

açıkça görülmektedir. Duvar kaldırma işleminin yapıldığı zemin kata denk gelen bu bölümde belirlenen yüksek görelî modal deplasman rijitlik azalmasının göstergesidir.

8. MEVCUT BİNADA SAYISAL ANALİZLER VE MODEL AYARLAMA

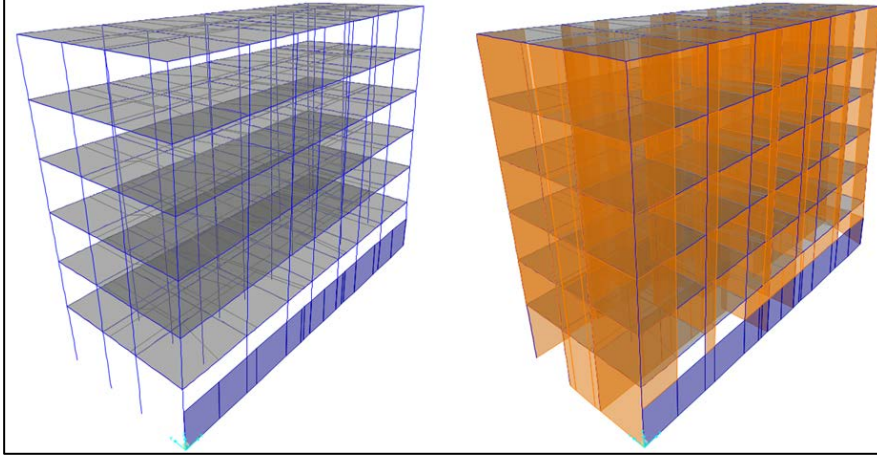
Binaların sayısal olarak incelenmesinde sonlu elemanlar yöntemi sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve yapı dinamik özelliklerinin belirlenmesinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada çalışılan binanın orijinal hali SAP2000 programı kullanılarak modellenmiştir. Yapılan modelleme işleminde bina kolon ve kirişleri çubuk eleman, döşeme ve duvarlar kabuk eleman olarak modellenmiştir. Tespit edilen bina geometrisine (açıklıklar, eleman boyutları, duvar yerleşimleri) tam olarak uyulmuş ve gerçek bina bilgisayar ortamına aktarılmaya çalışılmıştır. Binanın temele tam ankastre olarak bağlandığı kabul edilmiştir. Aslında titreşim analizleri ile yapılan incelemede zemin kattan alınan ivme değerleri binanın temele tam ankastre olarak kabul edilebileceğini göstermişti. Bu nedenle sınır şartları bakımından sayısal modeldeki mesnet kabulünün gerçeği yansıttığı söylenebilir.

Sayısal modele aktarılması gereken en önemli parametrelerden birisi de malzeme özellikleridir. Çalışılan bina için kapsamlı bir malzeme araştırması hem beton, hem de bölme duvarlar için yapılmıştır. Beton için elde edilen basınç dayanımı TS500 (2000)'de bulunan Denklem 5 yardımıyla elastisite modülüne geçişte kullanılabilir. Silindir numuneler için 7.2 MPa olarak elde edilen değer bina modelinde kullanılması için 0,85 ile çarpılarak azaltılması gerekmektedir (TS13791, 2010). Bu nedenle bina sayısal modelinde kullanılacak betonun elastisite modülü, beton basınç dayanımı $0,85 * 7,2 = 6,12$ MPa alınarak hesaplanmalıdır. Bölme duvarların elastisite modülü ise yapılan deneyler yardımıyla zaten bulunmuştu. Bu nedenle sayısal model için gerekli malzeme değerleri çalışma kapsamında elde edilmiştir ve başka deneye ihtiyaç yoktur. Belirtilen bilgiler ışığında çalışılan binadaki beton elemanların elastisite modülleri 22000 MPa, bölme duvarların elastisite modülleri 3400 MPa olarak sayısal modele girilmiştir.

$$E=3250(f_c)^{0,5} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (5)$$

Betonarme malzeme birim hacim ağırlığı 25 kN/m^3 olarak alınmıştır. Bölme duvarlar için ise bu değer yapıdan alınan numuneler yardımıyla belirlenmiş ve $9,45 \text{ kN/m}^3$ olarak elde

edilmiştir. Döşemler üzerinde bulunan sıva, dolgu ve kaplama yükleri ve ahşap çatı yükleri için 0.75 kN/m^2 yük kabulü yapılmıştır. Oluşturulan sayısal model Şekil 48’de gösterilmiştir.

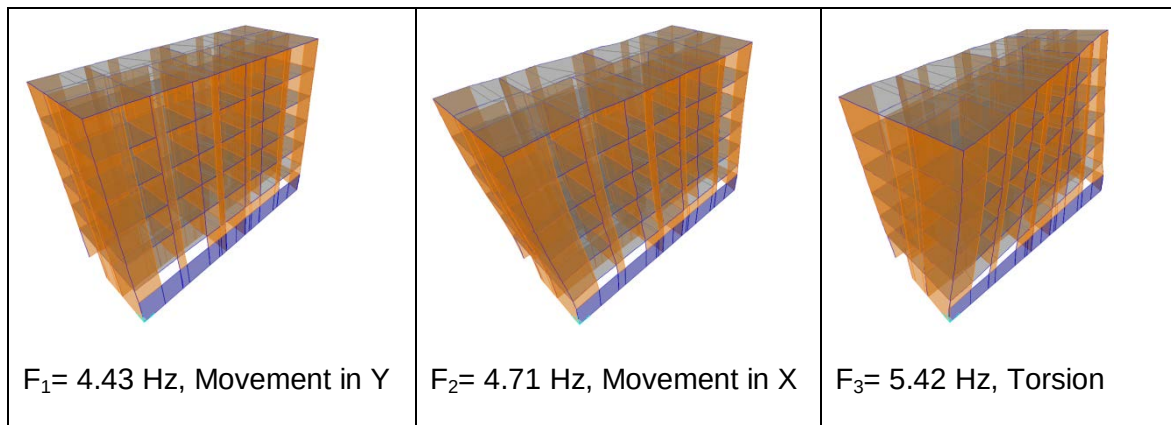


Şekil 48. Çalışılan binanın Sayısal Modeli

Binanın dinamik özelliklerinin sayısal olarak belirlenmesi için Eigen Value analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4’te gösterilmiştir. Bina birinci modu 4,43 Hz’lik frekansla Y yönü hareketi, ikinci modu 4,71 Hz’lik frekansla X yönü hareketi, üçüncü mod ise 5,42 Hz’lik frekans ile burulma modu olarak belirlenmiştir. Diğer mod frekansları 13 Hz’den büyük olarak belirlenmiştir. Bunlardan bahsetmek gerekirse dördüncü mod Y yönünde iki yönlü eğrilikli hareket, beşinci mod ise X yönünde iki yönlü eğrilikli hareket olarak belirlenmiştir. Yüksek frekanslı bu modların kütle katılım oranları da birinci ve ikinci moda göre düşüktür. Binanın ilk üç modu Şekil 49’da gösterilmiştir.

Tablo 4. Bina ham modeline göre belirlenen dinamik özellikler

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
	Frekans	Period	Kütle Katılım Oranı			Toplam Kütle Katılım Oranları		
	Hz	Sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	4.427	0.226	0.002	0.764	0.000	0.002	0.764	0.000
2	4.714	0.212	0.759	0.003	0.000	0.760	0.767	0.000
3	5.415	0.185	0.006	0.036	0.000	0.766	0.803	0.000
4	12.904	0.077	0.000	0.137	0.003	0.766	0.941	0.003
5	14.630	0.068	0.113	0.004	0.001	0.879	0.945	0.004
6	15.570	0.064	0.009	0.016	0.000	0.888	0.961	0.004
7	18.332	0.055	0.000	0.000	0.701	0.888	0.961	0.705
8	20.214	0.049	0.000	0.000	0.088	0.888	0.961	0.793
9	22.581	0.044	0.000	0.000	0.027	0.888	0.961	0.820
10	23.229	0.043	0.000	0.006	0.027	0.889	0.967	0.847
11	24.228	0.041	0.004	0.001	0.005	0.893	0.968	0.852
12	25.311	0.040	0.001	0.014	0.005	0.894	0.982	0.857
13	25.587	0.039	0.034	0.000	0.000	0.928	0.982	0.857
14	25.844	0.039	0.005	0.002	0.000	0.933	0.984	0.857
15	26.391	0.038	0.005	0.001	0.000	0.938	0.985	0.857
16	27.162	0.037	0.000	0.000	0.001	0.938	0.985	0.858
17	28.531	0.035	0.000	0.001	0.002	0.938	0.987	0.860
18	28.642	0.035	0.000	0.002	0.001	0.938	0.988	0.861
19	30.489	0.033	0.000	0.000	0.001	0.938	0.988	0.862
20	30.701	0.033	0.001	0.000	0.000	0.939	0.988	0.862



Şekil 49. Sayısal dinamik analizden elde edilen mod şekilleri

9. MEVCUT BİNA İÇİN DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel ve sayısal olarak elde edilen dinamik özellikler karşılaştırıldığında mod şekillerinin uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak yapının deneysel yolla belirlenen frekanslarının sayısal yolla daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum sayısal modelin yapı sınır şartlarının doğru ve yapı rijitliğini fazla veya yapı kütlelerini az olarak tahmin ettiği sonucunu doğurur. Bu nedenle yapı sayısal modelinin kalibre edilmesi gerekmektedir.

Sayısal modelde yapılacak kalibrasyon yapı rijitliği ve yapı kütlesi değerlerinde yapılacak düzeltmeleri içerebilir. Ancak yapı geometrisi, yapı elemanlarının boyutları ve kullanılan malzemelerin birim hacim ağırlıklarında oluşabilecek hatalı hesaplama miktarı yapı rijitliğinin hesaplanmasında yapılabilecek hataya göre çok daha düşüktür. Bu nedenle sayısal modelde yapılacak düzeltme oluşturulan modelin kütlesi üzerinde yapılacak kalibrasyondan çok yapı malzemelerinin elastisite modüllerinin doğrulanmasına yönelik olmalıdır.

Aşağıdaki denklem 6'de verilen eşitliklerden dolayı, kalibrasyon katsayısı C denklem 7 ile tanımlanmıştır. Başlangıçtaki ham modelde bulunan tüm malzemelerin elastisite modüllerinin C ile çarpılarak değiştirilmesi sonucunda elde edilecek kalibre edilmiş sayısal model deneysel yolla elde edilen dinamik özelliklerin sayısal olarak da elde edilmesini sağlayacaktır (Aras ve diğ. 2011; Aras, 2016).

$$f = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6)$$

$$C = \left(\frac{f_i^E}{f_i^N} \right)^2 \quad (7)$$

Denklemlerde f, frekansı, k rijitliği, f_i^E , i. Mod için deneysel yolla elde edilen frekansı, f_i^N , i. mod için sayısal yolla elde edilen frekansı ve m ise kütleyi göstermektedir.

Denklem 7'de verilen C katsayısı birinci mod için $(4.00 / 4.43)^2 = 0.82$, ikinci mod için ise $4.59 / 4.71)^2 = 0.95$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre kalibrasyon işlemi birinci moda göre yapılırsa ham sayısal modelde bulunan tüm malzeme elastisite modülleri 0.82 ile çarpılmalıdır. Bu durumda kalibre edilmiş sayısal modelle bina birinci modu tam olarak elde edilecektir. Ancak ikinci mod frekansından belirli bir hata kabul edilmiş olacaktır. Öte yandan kalibrasyon işlemi ikinci moda göre yapılırsa, ham sayısal modelde bulunan tüm malzeme değerleri 0.95

ile çarpılacak, ikinci mod frekansı doğru tahmin edilecek ve birinci mod frekansındaki hata kabul edilecektir. Bir üçüncü seçenekte yapı genel davranışını temsil etmekte aynı derecede önemli olan bu iki moda göre bir kalibrasyon yapmaktır. İki mod için hesaplanan C katsayılarının ortalamasına göre yapılacak bir kalibrasyon işlemi her iki modun da frekans değerinde belli bir miktarda hatayı kabul eden bir yöntem olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada C katsayısı 0,885 olarak alınmış ve kalibre edilmiş model elde edilmiştir.

Kalibre edilmiş sayısal modelde beton ve bölme duvarların belirlenen elastisite modülleri 0,885 ile çarpılmalıdır. Bir başka deyişle ham sayısal modelde bulunan elastisite modülleri %11,5 azaltılmalıdır. Kalibre edilmiş modelde beton elastisite modülü 19500 MPa, bölme duvar elastisite modülü ise 3000 olarak tespit edilmiştir.

Bu malzeme özellikleri ile yapılan sayısal analizden elde edilen dinamik özellikler Tablo 5'te gösterilmiştir. Buna göre binanın birinci mod frekansı 4,16 Hz, ikinci mod frekansı 4,43 Hz, üçüncü mod frekansı ise 5.9 Hz'dir. Sonraki mod frekansları deneysel analizle doğrulandığı gibi 10 Hz'in üzerindedir.

Sayısal modelle ve deneysel analizlerle elde edilen frekans değerleri arasındaki farklar Denklem 8 ile değerlendirilebilir. Birinci mod frekansında tespit edilen farklılık %4, ikinci mod frekansında elde edilen fark %3, üçüncü mod frekansında elde edilen fark ise %6 seviyesindedir. Bu değerler sayısal modelin performansını gerçek yapının dinamik özelliklerini yeterli yaklaşımda temsil ettiğini ispat edecek kadar küçük değerlerdir. Yapının orijinal hali için deneysel ve sayısal yollarla belirlenen dinamik özellikler Tablo 6'da gösterilmiştir.

$$\Delta_i = \frac{f_i^N - f_i^E}{f_i^E} \quad (8)$$

Tablo 5. Kalibre edilmiş sayısal modelde elde edilen dinamik özellikler

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
	Frekans	Period	Kütle Katılım Oranı			Toplam Kütle Katılım Oranları		
	Hz	Sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	4.162	0.240	0.002	0.764	0.000	0.002	0.764	0.000
2	4.432	0.226	0.759	0.003	0.000	0.760	0.767	0.000
3	5.090	0.196	0.006	0.036	0.000	0.766	0.803	0.000
4	12.131	0.082	0.000	0.137	0.003	0.766	0.941	0.003
5	13.753	0.073	0.113	0.004	0.001	0.879	0.945	0.004
6	14.637	0.068	0.009	0.016	0.000	0.888	0.961	0.004
7	17.242	0.058	0.000	0.000	0.701	0.888	0.961	0.706
8	19.010	0.053	0.000	0.000	0.088	0.888	0.961	0.793
9	21.237	0.047	0.000	0.000	0.027	0.888	0.961	0.820
10	21.845	0.046	0.000	0.006	0.027	0.889	0.967	0.847
11	22.785	0.044	0.004	0.001	0.005	0.893	0.968	0.852
12	23.798	0.042	0.001	0.015	0.005	0.894	0.982	0.856
13	24.057	0.042	0.035	0.000	0.000	0.929	0.982	0.857
14	24.320	0.041	0.004	0.002	0.000	0.933	0.984	0.857
15	24.822	0.040	0.005	0.001	0.000	0.938	0.985	0.857
16	25.553	0.039	0.000	0.000	0.001	0.938	0.985	0.858
17	26.836	0.037	0.000	0.002	0.002	0.938	0.987	0.860
18	26.929	0.037	0.000	0.002	0.001	0.938	0.988	0.861
19	28.680	0.035	0.000	0.000	0.001	0.938	0.988	0.862
20	28.876	0.035	0.001	0.000	0.000	0.939	0.988	0.862

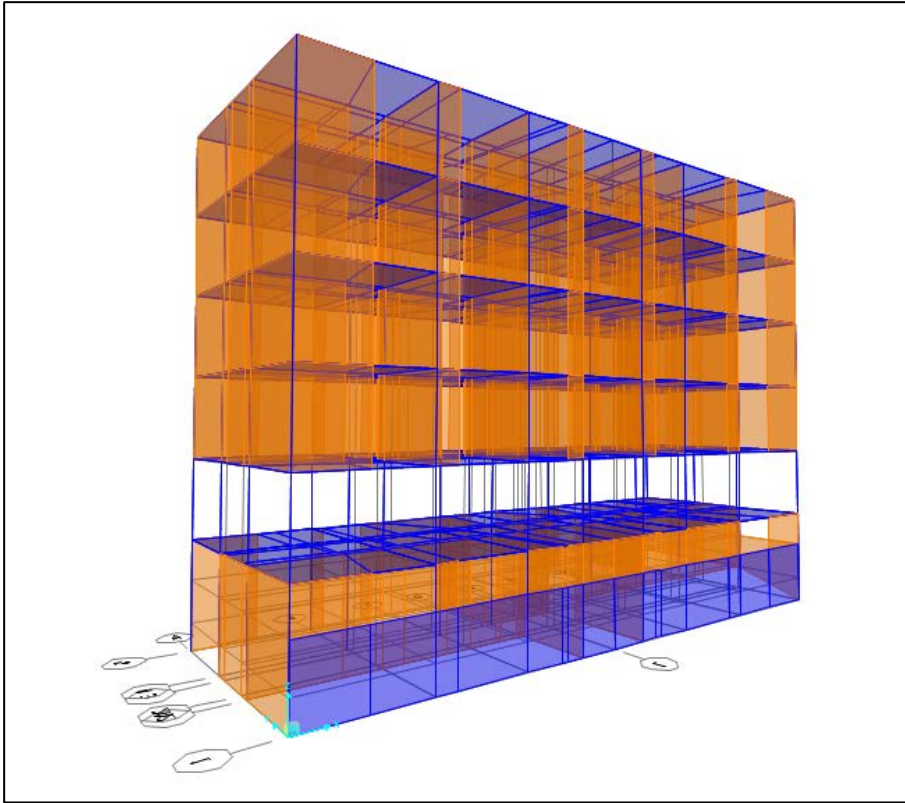
Tablo 6. Orijinal binada deneysel ve sayısal yollarla tespit edilen dinamik özellikler

Mode	Deneysel Analiz			Sayısal Analiz		
	Frekans Hz	Periyot Sn	Yön	Frekans Hz	Periyot Sn	Yön
1	4.00	0.25	Y	4.16	0.24	Y
2	4.59	0.22	X	4.43	0.23	X
3	5.42	0.18	Burulma	5.09	0.20	Burulma

10. ZEMİN KATTA DUVAR OLAMAYAN BİNADA SAYISAL ANALİZ

Zemin katında bölme duvarları olmayan bina proje kapsamında çalışılan binada yapılan duvar ayırma işleminden sonraki durumu temsil etmektedir. Binanın bu hali için yapılacak sayısal dinamik analizler projenin amacına ulaşması için önemlidir. Bunun için model ayarlama ile doğrulanmış sayısal modeldeki zemin kat duvarlarının model den kaldırılması ve bu duvarların ağırlığının ise ilgili kirişlere sadece yük ve kütle olarak verilmesi yeterlidir. Şekil 50 zemin katında bölme duvarları olmayan binanın sayısal modelini göstermektedir.

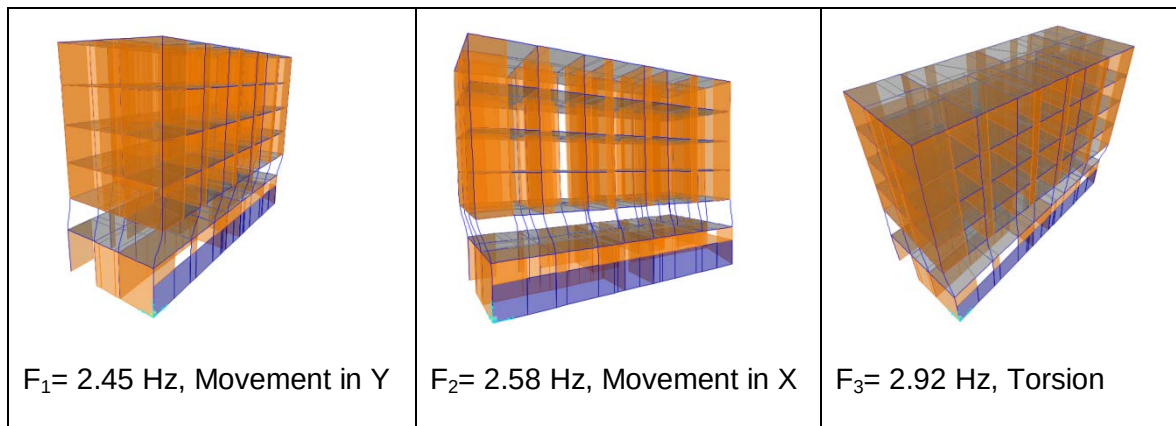
Bu sayısal modelle Eigen Value analizi yapılarak binanın dinamik modları sayısal olarak elde edilebilir. (Tablo 7). Yapılan dinamik analiz sonucunda elde edilen dinamik parametreleri göstermektedir. Görüldüğü gibi binanın birinci modu Y yönündeki hareketi (2,45 Hz), ikinci modu X yönündeki hareketi (2,58 Hz), üçüncü modu ise burulma modu (2.92 Hz) olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 51 binanın belirlenen ilk üç modunu göstermektedir.



Şekil 50. Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın sayısal modeli

Tablo 7. Zemin katta bölme duvarları olmayan binanın dinamik özellikleri

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
	Frekans	Period	Kütle Katılım Oranı			Toplam Kütle Katılım Oranları		
	Hz	Sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	2.453	0.408	0.001	0.836	0.000	0.001	0.836	0.000
2	2.577	0.388	0.780	0.003	0.000	0.780	0.839	0.000
3	2.917	0.343	0.054	0.008	0.000	0.835	0.846	0.000
4	9.874	0.101	0.000	0.017	0.007	0.835	0.864	0.007
5	10.885	0.092	0.010	0.000	0.001	0.844	0.864	0.008
6	11.730	0.085	0.003	0.000	0.000	0.848	0.864	0.008
7	15.021	0.067	0.000	0.000	0.768	0.848	0.864	0.776
8	16.617	0.060	0.001	0.000	0.030	0.848	0.864	0.806
9	18.722	0.053	0.000	0.022	0.021	0.848	0.886	0.828
10	19.276	0.052	0.001	0.070	0.007	0.849	0.956	0.835
11	20.191	0.050	0.000	0.006	0.017	0.849	0.962	0.851
12	20.922	0.048	0.001	0.000	0.001	0.850	0.962	0.852
13	22.339	0.045	0.001	0.000	0.000	0.851	0.962	0.852
14	23.435	0.043	0.007	0.003	0.000	0.857	0.965	0.853
15	23.452	0.043	0.000	0.000	0.000	0.857	0.965	0.853
16	24.130	0.041	0.000	0.000	0.000	0.857	0.965	0.853
17	24.838	0.040	0.012	0.027	0.000	0.869	0.993	0.853
18	24.999	0.040	0.000	0.000	0.007	0.869	0.993	0.860
19	26.686	0.037	0.000	0.001	0.000	0.869	0.993	0.860
20	27.042	0.037	0.000	0.000	0.000	0.870	0.993	0.860



Şekil 51. Zemin katta bölme duvarları olmayan binanın mod şekilleri

11. ZEMİN KATTA BÖLME DUVARLARI OLMAYAN BİNA İÇİN DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Zemin katta bölme duvarları olmayan bina için yapılan deneysel çalışma bina mod şekillerini, birinci mod X yönünde hareket ve 2,93 Hz'lik frekans, ikinci mod Y yönünde hareket ve 3,03 Hz'lik frekans, ve üçüncü mod burulma modu ve 3,32 Hz'lik hareket olarak vermişti. Aynı bina için yapılan sayısal analizler ise bina mod şekillerini, birinci mod Y yönünde hareket ve 2,45 Hz'lik frekans, ikinci mod X yönünde hareket ve 2,58 Hz'lik frekans, ve üçüncü mod burulma modu ve 2,92 Hz'lik hareket olarak vermiştir. Elde edilen dinamik özellikler Tablo 8'de özetlenmiştir.

Tablo 8. Zemin katında bölme duvarları etkisizleştirilen binada deneysel ve sayısal yollarla tespit edilen dinamik özellikler

Mode	Deneysel Analiz			Sayısal Analiz		
	Frekans Hz	Periyot Sn	Yön	Frekans Hz	Periyot Sn	Yön
1	2.93	0.34	X	2.45	0.41	Y
2	3.03	0.33	Y	2.58	0.39	X
3	3.32	0.30	Burulma	3.32	0.30	Burulma

Bu özellikler karşılaştırıldığında binanın X ve Y yönlerindeki hareketlerinin birbirine yakın iki frekansta gerçekleştiği görülmektedir. Deneysel analizlerin binanın birinci modunu X yönünde gösterirken sayısal analizler birinci modu Y yönünde göstermektedir. Sayısal analizle elde edilen sonuçların deneysel yolla bulunan gerçek sonuçların bir tahmini olduğu düşünülürse, binanın mod sırasının sayısal analizlerle doğru tahmin edilemediği açıktır. Sayısal yöntemle elde edilen frekans değerleri, gerçek frekanslara göre daha düşük olduğu için bina rijitliğinin daha düşük göze alındığı sonucu çıkmaktadır. İkinci olarak gerçekte Y yönü rijitliği X yönü rijitliğinden daha fazla olması gerekirken, sayısal model X yönü rijitliğini Y yönünden daha yüksek göstermektedir.

Denklem 6'da görüldüğü gibi rijitlik frekansın karesiyle doğru orantılıdır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre yapının Y yönü ve X yönü rijitlikleri arasındaki oran $(3,03/2,93)^2=1,07$ olarak hesaplanabilir. Bir başka deyişle deneysel analiz sonuçlarına göre binanın Y yönündeki rijitliği X yönündeki rijitlikten %7 daha fazladır. Aynı mantık sayısal analiz sonuçlarına uygulanırsa yapının Y yönü ve X yönü rijitlikleri arasındaki oran $(2,45/2,58)^2=0,90$ olarak elde edilir ve yapının Y yönü rijitliğinin X yönü rijitliğinin %90'ı olduğu sonucuna varılır.

Görüldüğü gibi binanın X ve Y yönündeki rijitlikleri birbirine oldukça yakındır. Ancak deneysel ve sayısal analizler bu rijitliklerin görelî değerlendirilmesinde zıt sonuçlar vermektedir.

Zemin katında bölme duvarları olmayan yapının dinamik özelliklerinin oluşmasında zemin kat kolonları etkilidir. Bu kattaki ani rijitlik düşüşü nedeniyle bina dinamik davranışı aslında bu kattaki taşıyıcı sistemin etkisinde oluşmaktadır ve eleman boyutları doğru şekilde model aktarılmıştır. 8. Bölümde değinildiği üzere betonarme malzeme elastisite modülü üzerinde yapılacak değişikliklerle model ayarlama işlemleri tekrar edilebilir. Ancak bu işlemler yapıdaki tüm betonarme elemanlara uygulanacağından binanın X ve Y yönündeki frekanslarında aynı derecede etkili olacaktır. Bu nedenle binanın sayısal olarak elde edilen mod sıralarında bir etkisi olmayacaktır. Ayrıca model ayarlama işlemi binanın orijinal hali için zaten yapılmış olduğundan bu bölümde başka bir ayarlama yapılmamıştır. Mod sırasında tespit edilen uyumsuzluk yapıda olması muhtemel ancak gözle tespiti mümkün olmayan hasar benzeri rijitlik azaltıcı etkiler ile açıklanabilir.

Sayısal analizle elde edilen mod şekilleri (Şekil 50) deneysel analizlerle elde edilen mod şekilleriyle (Şekil 45) karşılaştırıldığında iki yönteminde zemin kattaki görülen aşırı modal deplasmanı işaret ettiği görülmektedir. Zemin kattan kaldırılan bölme duvarların neden olduğu rijitlik azalmasının aşırı modal deplasmanları oluşturduğu kesindir.

12. KOMŞU KATLAR ARASI DAYANIM DÜZENSİZLİĞİNİN İRDELENMESİ

06.03.2007 tarihli 26454 numaralı Remi Gazetede yayınlanan ve 03.05.2007 tarihinde, 26511 numaralı Resmi Gazetede değişikliğe uğrayan **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik** şuanda Türkiye’de inşa edilecek yeni yapılar ve mevcut durum değerlendirmesi için var olan yapılar için kullanılan deprem yönetmeliğidir. Bu yönetmelikte tanımlanan ve oluşturulmasından kaçınılması tavsiye edilen yapı düzensizlikleri yapı davranışı için oldukça önemlidir. Bu düzensizliklerden Komşu Katlar Arasında Dayanım Süreksizliği (Zayıf Kat) olarak tanımlanan süreksizlik hesabı Tablo 9’da gösterilen şekilde her kat için duvarlar dahil düşey yapı elemanlarının etkili kesme alanının göz önüne alınmasıyla hesaplanmaktadır.

Tablo 9’daki denklemlerde ΣA_e = Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı, ΣA_g = Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı, ΣA_k = Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar

alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı ve ΣA_w = Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'ların toplamını göstermektedir. Açıkça görülmektedir ki, Zayıf Kat düzensizliği kontrolü birbirini izleyen iki kat arasındaki etkili kesme alanlarının birbirine oranlanmasıyla değerlendirilmektedir ve bu değerlendirmede betonarme elemanlar ve bölme duvarlar göreceli olarak değerlendirilmektedir. Betonarme elemanların etkili kesme alanları tam olarak göze alınırken, bölme duvar elemanların etkili kesme alanlarının %15'i dikkate alınmaktadır. Sonuçlandırılan bu projenin temel hedeflerinden biriside yönetmelikte uygulanan bu değerlendirmenin geçerliliğini sorgulamaktı ve yapılan çalışmalardan elde sonuçlar gerekli değerlendirmenin yapılması için yeterlidir.

Zayıf Kat süreksizliğinin varlığının belirlenmesi için kullanılan yöntemde her kattaki düşey elemanların (bölme duvarlar dâhil) etkili kesme kuvveti kapasitelerinden yola çıkılarak basitleştirmelerin yapıldığı görülmektedir. Teorik olarak süreksizliğin varlığı komşu katların etkili kesme dayanımlarının birbirine olan oranını göstermelidir. Ancak bu oran komşu katlarda bulunan betonarme ve bölme duvar malzemelerinin aynı dayanıma sahip oldukları kabulü ile sadece alan bazında da yapılabilir. Ancak betonarme malzeme ile bölme duvar duvar malzemelerinin kesme dayanımlarının karşılıklı değerlendirilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle bölme duvar malzemesinin kayma dayanımının betonarme malzemesinin kayma dayanımına oranı belirlenmelidir. Bu oranı yönetmeliğin 0,15 olarak dikkate aldığı görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan malzeme çalışmalarında mevcut yapının beton sınıfı belirlenmiş ve bölme duvarlar ile ilgili kapsamlı malzeme çalışmaları yapılmıştı. Beton sınıfından malzemenin kayma dayanımına literatürde bulunan formüller kullanılarak geçilebilir. Ancak çok iyi bilinmektedir ki, kayma gerilmelerine maruz bir beton malzemede göçme çekme gerilmeleri nedeniyle oluşmaktadır. Bu nedenle betonun kayma dayanımının bölme duvarların kayma dayanımını göreceli, olarak değerlendirmek için kayma dayanımı yerine çekme dayanımının göz önüne alınması gerekir. Betonun çekme dayanımı ise basınç dayanımına bağlı olarak Denklem 9 ile hesaplanır.

$$F_{ct}=0,35(f_c)^{0,5} \quad (9)$$

Denklem 9'da F_{ct} betonun çekme dayanımını, f_c ise basınç dayanımını göstermektedir. Beton sınıfı 7,2 MPa olarak elde edilmişti. Bu değer kullanılarak mevcut yapıda betonun çekme

dayanımı 0,93 MPa olarak elde edilir. Bölme duvarlar için yapılan testlerde bölme duvarın ilk kayma dayanımı (initial shear strength) 0,21 MPa olarak belirlenmişti. Bu değer söz konusu değerlendirmede doğrudan kullanılabilir.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında yapılan detaylı malzeme araştırmaları sonucunda bölme duvar malzemesinin kayma dayanımının beton malzemesinin kayma dayanımına oranı $0,21/0,93=0,22$ olarak elde edilmiştir. Bu değer **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**'te Zayıf Kat düzensizliği kontrolü için verilen değer olan 0,15 ile karşılaştırıldığında yönetmeliğin bu değeri mantıklı olarak göz önüne aldığı görülmektedir. Bölme duvarların beton ve diğer malzemelere göre oldukça değişken özelliklerde olabileceği düşünüldüğünde yönetmelik değerinin bizim bu çalışmada elde ettiğimiz değerden daha düşük olması beklenen bir durum olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca bizim yaptığımız değerlendirmede betonarme elemanlarda bulunan donatının eleman kayma dayanımlarına katkısı alınmamıştır. Bu durumda da ilave bir güvenlik faktörü olarak değerlendirilip değerlendirme dışında tutulabilir.

Tablo 9. Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan Zayıf Kat süreksizliği

B – DÜŞEY DOĞRULTUDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
<u>B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :</u> Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki <i>etkili kesme alanı</i>'nın, bir üst kattaki <i>etkili kesme alanı</i>'na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ci}'nin 0.80'den küçük olması durumu. $[\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80]$ <i>Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:</i> $\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k$ (Simgeler için Bkz. 3.0)	2.3.2.3
<u>B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) :</u> Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> η_{ki}'nin 2.0'den fazla olması durumu. $[\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort} > 2.0$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort} > 2.0]$ <i>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm \%5$ ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak 2.7'ye göre yapılacaktır.</i>	2.3.2.1
<u>B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :</u> Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu (Şekil 2.4).	2.3.2.4

13. KOMŞU KATLAR ARASI RİJİTLİK DÜZENSİZLİĞİNİN İRDELENMESİ

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Tablo 9'da görüldüğü gibi komşu katlar arası rijitlik düzensizliğini, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'nci kattaki ortalama kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısının 2'den fazla olması durumu olarak tanımlamıştır. Bina tasarımlarında kullanılan sayısal modeller genel olarak bölme duvarları ihtiva etmediğinden bu düzensizliğin kontrol edilmesinde de bölme duvarlar göz önüne alınmamaktadır.

Proje kapsamında elde edilen sonuçlar bölme duvarların komşu katlar arasındaki rijitlik süreksizliğinin kontrol edilmesinde kullanılabilir. Çünkü aynı binanın zemin katında duvar olması ve olmaması durumları deneysel olarak incelenmiş ve bina genel davranışını temsil etmek üzere mod şekilleri ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar özellikle zemin katlarının ticari alanlar olarak kullanılması için bölme duvarsız olarak inşa edilen binalardaki düzensizlik durumlarının ortaya çıkarılması için önemlidir.

Binanın orijinal ve zemin katının duvarsız hali için elde edilen ve Şekil 46'da gösterilen modal deplasmanlar, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü için kullanılabilir. Tablo 10 duvarlı binanın, Tablo 11 ise zemin katında duvar bulunmayan binanın yumuşak kat düzensizliği kontrolünü göstermektedir. Düzenlenen tabloda Rijitlik Düzensizliği Katsayısı üst kat göreli modal deplasman oranının alt kat göreli modal deplasman oranına oranı olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle Rijitlik Düzensizliği Katsayısının 2'den büyük ve 0,5'den küçük olma halleri komşu katlar arasında rijitlik düzensizliğinin varlığına işaret etmektedir.

Tablo 10. Duvarlı Binada Komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin kontrolü

Kat	h_i	Duvarlı Bina - X Yönü				Duvarlı Bina - Y Yönü			
		Φ	Δ_i	Δ_i / h_i	η_{ki}	Φ	Δ_i	Δ_i / h_i	η_{ki}
5	2.9	1.000	0.132	0.045	0.535	1.000	0.151	0.052	0.541
4	2.9	0.868	0.246	0.085	1.080	0.849	0.279	0.096	1.664
3	2.9	0.622	0.228	0.079	0.863	0.570	0.168	0.058	0.675
2	2.9	0.394	0.264	0.091	2.722	0.403	0.248	0.086	2.162
1	3.9	0.130	0.130	0.033		0.154	0.154	0.040	

Tablo 11. Zemin katta Duvar bulunmayan Binada Komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin kontrolü

Kat	h_i	Duvarsız Bina - X Yönü				Duvarsız Bina - Y Yönü			
		Φ	Δ_i	Δ_i / h_i	η_{ki}	Φ	Δ_i	Δ_i / h_i	η_{ki}
5	2.9	1.000	0.109	0.038	1.698	1.000	0.177	0.061	1.664
4	2.9	0.891	0.064	0.022	0.262	0.823	0.106	0.037	1.145
3	2.9	0.827	0.245	0.084	0.493	0.717	0.093	0.032	0.179
2	2.9	0.582	0.497	0.171	7.823	0.624	0.519	0.179	6.600
1	3.9	0.085	0.085	0.022		0.106	0.106	0.027	

Elde edilen deneysel sonuçlara göre duvarlı binada zemin ve bodrum kat görelî modal deplasmanlara göre hesaplanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı X ve Y yönlerinde 2 değerini aşarak yumuşak kat düzensizliğinin varlığına işaret etmiştir. Hesaplanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı 2,72 ve 2,17'dir. Diğer katlar arasında rijitlik düzensizliği bulunmamaktadır.

Zemin katta bölme duvar bulunmayan binada zemin kat ve bodrum kat için hesaplanan Rijitlik Düzensizliğinin Katsayıları, X ve Y yönünde 7,82 ve 6,6 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca zemin kat ve birinci kat için hesaplanan Rijitlik Düzensizliğinin Katsayıları, X ve Y yönünde 5,85 ve 5,59'dur. Bu nedenle bölme duvarların komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği kontrolünde dikkate alınması gerekliliği açıktır.

14. SONUÇLAR

Yürütülen çalışma sonucunda bölme duvarların yapı dinamik özelliklerine olan etkileri tam anlamıyla ortaya çıkarılmıştır. Bunun için çalışılan 6 katlı, betonarme binanın orijinal hali ve zemin katındaki duvarların kaldırılmasından sonra oluşan hali çevresel titreşim analizleri ile incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel analizlerin gerçek bir yapıda gerçekleştirilmesi, 30 yıldır kullanılan bir binanın bölme duvarlı hali için elde edilen dinamik özelliklerin aynı binanın zemin katında bulunan duvarların yıkılmasından sonra bulunan dinamik özelliklerle karşılaştırılması çalışmanın amacına ulaşmasını sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, bölme duvarların hem bina frekanslarında hem de bina mod şekillerinde etkili oldukları görülmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen orijinal binanın

ilk üç modu; Y yönünde hareket (4,00 Hz), X yönünde hareket (4,59 Hz) ve burulma (5,42 Hz) olarak belirlenmiştir. Daha sonra aynı binadaki zemin kat bölme duvarları etkisizleştirilmiş ve dinamik analizler tekrarlanmıştır. Bina dinamik modları bu sefer X yönünde hareket (2,93 Hz), Y yönünde hareket (3,03 Hz) ve burulma modu (3,32 Hz) olarak belirlenmiştir. Duvar etkisinin titreşim periyodu açısından değerlendirmesi şu şekilde sonuçlanır. Binanın zemin katında bulunan bölme duvarların etkisizleştirilmesi sonucunda binanın Y yönü hareketini temsil eden modun titreşim periyodu 0,25 saniyeden 0,33 saniyeye, X yönündeki hareketini temsil eden mod periyodu ise 0,22 saniyeden 0,34 saniyeye çıkmıştır. Yine aynı nedenden dolayı binanın burulma modu periyodu 0,18 saniyeden 0,3 saniyeye çıkmıştır. Yapı zemin katında bulunan bölme duvarların yapının X ve Y yönündeki rijitliğine olan katkısı Denklem 6 referans alınarak yapılabilir. Buna göre normal yapının X yönündeki rijitliği zemin katında bölme duvarları olmayan yapının aynı yöndeki rijitliğinin 2,45 katıdır. Aynı şekilde normal yapının Y yönündeki rijitliği zemin katında bölme duvarları olmayan yapının aynı yöndeki rijitliğinin 1,74 katıdır.

Bölme duvarların yapı dinamik özelliklerine olan etkisi sayısal olarak da incelenmiştir. Çalışılan binanın orijinal hali sonlu elemanlar yöntemine göre modellenmiştir. Gerekli olan malzeme değerleri betonarme ve bölme duvarlar için yapıdan alınan deney numunelerine uygulanan testler sonucunda belirlenerek modele aktarılmıştır. Hazırlanan model deneysel olarak elde edilen dinamik özelliklere göre ayarlanmış ve deneysel olarak elde edilen titreşim frekansları binanın X ve Y yönü dinamik modları için bu modelle %4 ve %3 farkla belirlenmiştir. Ayarlanmış modelden daha sonra zemin katı bölme duvarları kaldırılmış ve binanın zemin katında bölme duvarları olmayan hali elde edilmiştir. Tekrarlanan dinamik analizlerle zemin katında bölme duvarları olmayan binanın dinamik özellikleri sayısal olarak elde edilmiştir. Sayısal analizlere göre orijinal binanın ilk üç modu Y yönünde hareket (4,16 Hz), X yönünde hareket (4,43 Hz) ve burulmadır (5,09 Hz). Zemin katında bölme duvar olmayan binanın dinamik modları Y yönünde hareket (2,45 Hz), X yönünde hareket (2,58 Hz) ve burulma modu (2,92 Hz) olarak belirlenmiştir. Sayısal analizlerle belirlenen duvar etkisinin titreşim periyodu açısından değerlendirmesi şu şekilde sonuçlanır. Binanın zemin katında bulunan bölme duvarların etkisizleştirilmesi sonucunda binanın Y yönü hareketini temsil eden modun titreşim periyodu 0,24 saniyeden 0,41 saniyeye, X yönündeki hareketini temsil eden mod periyodu ise 0,23 saniyeden 0,39 saniyeye çıkmıştır. Yine aynı nedenden dolayı binanın burulma modu periyodu 0,20 saniyeden 0,34 saniyeye çıkmıştır. Denklem 6'ya göre normal yapının X yönündeki rijitliği zemin katında bölme duvarları olmayan yapının aynı

yöndeki rijitliğinin 2,95 katıdır. Aynı şekilde normal yapının Y yönündeki rijitliği zemin katında bölme duvarları olmayan yapının aynı yöndeki rijitliğinin 2,88 katıdır.

Bölme duvarların zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliklerine olan etkisi de çalışmanın deneysel sonuçları kullanılarak irdelenmiştir. Duvar numuneleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleriyle elde edilen kayma dayanımı ve yine laboratuvar deneyleri ile elde edilen beton basınç dayanımından yola çıkılarak hesaplanan beton çekme dayanımı birbirlerine göre değerlendirilmiştir. Zayıf kat süreksizliğinin kontrolü için **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**'te bulunan hesap yönteminde düşey betonarme elemanlarının tam kesme alanları alınırken, bölme duvar alanlarının % 15'inin alınması doğru bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Binanın orijinal ve zemin katında duvarları olmayan hali için elde edilen modal deplasmanlar kullanılarak **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**'te tanımlanan yumuşak kat düzensizliğinin kontrolü irdelenmiştir. Zemin katında bölme duvarları bulunmayan yapı için elde edilen rijitlik düzensizliği katsayısı, aynı yapının duvarlı hali için hesaplanan katsayıdan yaklaşık üç kat daha büyük olarak ortaya çıkmıştır. Bu nedenle **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**'in yumuşak kat düzensizliğini kontrol ederken bölme duvar etkilerini dikkate alması gerekliliğinin altı çizilmiştir.

Sonuç olarak yürütülen çalışma gerekli bilimsel kazanımlar elde edilerek tamamlanmıştır.

15. KAYNAKLAR

- Amiri, M., Sabbagh-Yazdi S. R. 2011. "Ambient vibration test and finite element modeling of tall liquid storage tanks", Thin-Walled Structures, 49, 974–83.
- Altunışık, A. C., Bayraktar, A., Sevim, B., Özdemir, H. 2011. "Experimental and analytical system identification of Eynel arch type steel highway bridge", Journal of Constructional Steel Research, 67, 1912-21.
- Aras, F., Krstevska, L., Altay, G., Taskov L. 2011. "Experimental and numerical modal analyses of a historical masonry palace.", Cons Build Mat. 25, 81-91.
- Aras F., 2015. "Betonarme Bir Binada Bölme Duvar Etkilerinin İncelenmesi", 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim, İzmir, Türkiye.
- Aras F., 2016. "Ambient and forced vibration testing with numerical identification for RC buildings", Earthquakes and Structures, 11 (5), 809-822.
- Baloevic, G., Radnic, J. and Harapin, A. 2013. "Numerical dynamic tests of masonry-infilled RC frames", Engineering Structures, 50,43–55.

- Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A. C., Sevim, B., Şahin, A., Özcan, D. M. 2010a. "Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi". İMO Teknik Dergi, 5185-205.
- Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Birinci, F., Sevim, B., Türker, T. 2010b. "Finite-Element Analysis and Vibration Testing of a Two-Span Masonry Arch Bridge", Journal of performance of constructed facilities, 24, 46-52.
- Bayraktar, A., Sevim, B., Altunışık, A. C., Türker, T., Adanur, S. 2008. "Determination of Blast Vibration Effects on the Dynamic Behaviour of the Highway Bridges using Modal Testing". 8th International Congress in Advances in Civil Engineering, Famagusta, North-Cyprus.
- Bayraktar, A., Türker, T., Sevim, B., Altunışık, A. C. 2007. "Determination of Dynamic Characteristics of Turkish Style Minarets by Analytical and Experimental Modal Analyses". International Symposium on Advances in Earthquake and Structural Engineering-AESE, Antalya, Turkey, 185-194.
- Cantieni, R. 2005. "Experimental Methods used in System Identification of Civil Engineering Structures". In Proceedings of 1st Int Operational Modal Analysis Conference (IOMAC), Copenhagen, Denmark, 249-260.
- Cavaleri, L. and Trapani, F.D. 2014. "Cyclic response of masonry in-filled RC frames: Experimental results and simplified modeling", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 65,224–242.
- Chatzi, E. 2014. "Lecture notes for Identification Methods for structural system, ETH Zurich" http://www.ibk.ethz.ch/ch/education/identmeth/lecture9_2013.pdf., Son erişim tarihi: 27.08.2014.
- Chopra, A.K. 2007, Dynamics of structures, Prentice Hall, New Jersey.
- Chellini, G., De Roeck, G., Nardini, L., Salvatore, W. 2010. "Damage analysis of a steel-concrete composite frame by finite element model updating". Journal of Constructional Steel Research, 66, 398-411.
- Cuiqiang, Z., Ying, Z., Deyuan, Z., Xilin, L. 2011. "Study on the effect of the infill walls on the seismic performance of a reinforced concrete frame". Earthq Eng & Eng Vib. 10, 507-517.
- Çankaya, M. A. 2011. Dynamic Behavior of Reinforced Concrete Frames with Infill Walls, MASTER Thesis, İzmir Institute of Technology, İzmir.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Ewins, D. J. 1995. Modal Testing: Theory and Practice. John Wiley & Sons, New York, 1995.
- Fiore, A., Netti, A., Monaco, P. 2012. "The influence of masonry infill on the seismic behaviour of RC frame buildings". Engineering Structures. 44, 133–145.
- Gentile, G., Saisi, A. 2007. "Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment". Constr Build Mater, 21, 1311–21.
- Guler, K., Yuksel, E., and Kocak, A. 2008. "Estimation of the fundamental vibration period of existing RC buildings in Turkey utilizing ambient vibration records." J. Earthquake Eng., 12(S2), 140–150.

- Hashemi, A., and Mosalam, K. M. 2006. "Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall." *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 35(14), 1827–1852.
- Inman DJ 2013. *Engineering Vibration – 4th Edition*, Prentice Hall, New Jersey.
- İston 2015, Lojman 1 binası laboratuvar testleri ve ön değerlendirme raporu, İBB Beton Şirketi, İstanbul.
- Ivanovic, S. S., Trifunac, M. D., Novikovic, E. I., Gladkovic, A. A., Todorovska, M. I. 2000. "Ambient vibration tests of a seven-story reinforced concrete building in Van Nuys, California, damaged by the 1994 Northridge earthquake", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 391-411.
- Köse, M. M. 2009. "Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls", *Engineering Structures* 31, 93-102.
- Lourenco, P.B., Vasconcelos, G., Medeiros, P. and Gouveia, J. 2010. "Vertically perforated clay brick masonry for loadbearing and non-loadbearing masonry walls", *Construction and Building Materials*, 24, 2317–2330.
- Macdonald, J. H. G., Daniell, W. E. 2005. "Variation of modal parameters of a cable-stayed bridge identified from ambient vibration measurements and FE modeling", *Engineering Structures*, 27, 1916–30.
- Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P., Noland, L. 1996. "Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames", *J. Struct. Eng.* 122(3), 228–237.
- Michel, C., Gueguen, P., and Bard, P.-Y. 2008. "Dynamic parameters of structures extracted from ambient vibration measurements: An aid for the seismic vulnerability assessment of existing buildings in moderate seismic hazard regions", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 28, 593–604.
- Michel, C., Gueguen, P., and Bard, P.-Y. 2010. "Comparison between seismic vulnerability models and experimental dynamic properties of existing buildings in France." *Bull. Earthquake Eng.*, 8(6), 1295–1307.
- Nateghi-A, F. 1997. "Seismic upgrade design of a low-rise steel building", *Engineering Structures*, 19, 954-963.
- Ramos, L. F., De Roeck, G., Lourenço, P. B., Campos-Costa, A. 2010a. "Damage identification on arched masonry structures using ambient and random impact vibrations". *Engineering Structures*, 32, 146–162.
- Ramos, L. F., Marques, L., Lourenco, P. B., DeRoeck, G., Campos-Costa, A., Roque, J. 2010b. "Monitoring historical masonry structures with operational modal analysis: Two case studies". *Mechanical Systems and Signal Processing*, 24, 1291–305.
- Sevim, B., Altunışık, A. C., Bayraktar, A., 2012. "Earthquake behavior of Berke arch dam using ambient vibration test results", *Journal of performance of constructed facilities*, 26(6), 780-92.
- Shiradhonkar, S. R., Shrikhande, M. 2011. "Seismic damage detection in a building frame via finite element model updating", *Computers and Structures*, 89, 2425–2438.
- Soyoz, S., Taciroglu, E., Orakcal, K., Nigbor, R., Skolnik, D., Lus, H., Safak, E. 2013. "Ambient and Forced Vibration Testing of a Reinforced Concrete Building before and after Its Seismic Retrofitting". *J. Struct. Eng.* 139:1741-1752.

- TS EN 1052-1, 2000. Kâgir - Deney metotları: Basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1052-3/A1, 2009. Kâgir - Deney metotları: Başlangıç kayma dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 13791 (2010). Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uva, G., Porco, F., Fiore, A. 2012. "Appraisal of masonry infill walls effect in the seismic response of RC framed buildings: A case study", Engineering Structures 34, 514–526.
- Ventura, C., Laverick, B., Brincker, R., Andersen, P. 2003. "Comparison of Dynamic Characteristics of Two Instrumented Tall Buildings". In Proceedings of the 21st International Modal Analysis Conference (IMAC), Kissimmee, Florida.
- Wu, C., Haoa, H. and Lu, Y. (2005), "Dynamic response and damage analysis of masonry structures and masonry infilled RC frames to blast ground motion", Engineering Structures, 27,323–333.
- Zarnic, R., Gostic, S., Crewe, A. J., and Taylor, C. A. 2001. "Shaking table tests of 1:4 reduced-scale models of masonry infilled reinforcedconcrete frame buildings." Earthquake Eng. Struct. Dyn., 30(6), 819–834.

**İSTANBUL İLİ, ÜSKÜDAR İLÇESİ, BULGURLU MAH. 194
PAFTA 1059 ADA 6 PARSEL ADRESİNDE YER ALAN İSTANBUL
MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ'ne AİT LOJMAN-1 BİNASININ
LABORATUVAR TESTLERİ VE ÖN İNCELEME RAPORU**

(D- 010)

01/06/2015

İÇİNDEKİLER

1. YAPI GENEL BİLGİLERİ	2
1.1. Bina Cephe Fotoğrafları.....	2
1.2. Bina Konum Bilgisi ve Uydu Fotoğrafı.....	2
2. BİNA TESPİT VE MALZEME TEST RAPORU	3
2.1. Yerinde Yapılan Genel Tespitler	3
2.2. Yapının Geometrisi, Yapı Kusuru, Komşu Binalarla Durumu.....	3
2.3. Yerinde ve Laboratuvarda Yapılan Tespitler ve Deneyler	6
2.3.1. Kolonda Tahribatlı ve Tahribatsız Yöntemle Beton Dayanımı Tespit İşlemi (Karot-Schmidt Hammer)	6
2.3.2. Kolonda Tahribatlı ve Tahribatsız Yöntemle Donatı Tespit İşlemi (Sıyırma-Tarama)	13
2.3.3. Kirişte Tahribatlı Yöntemle Donatı Tespit İşlemi (Sıyırma)	16
3. SONUÇ.....	18
Ek_1:Taşıyıcı Sistem Rölevesi (6 Sayfa)	
Ek_2: Kolon Ferrosan Okumaları (58 Sayfa)	

1. YAPI GENEL BİLGİLERİ

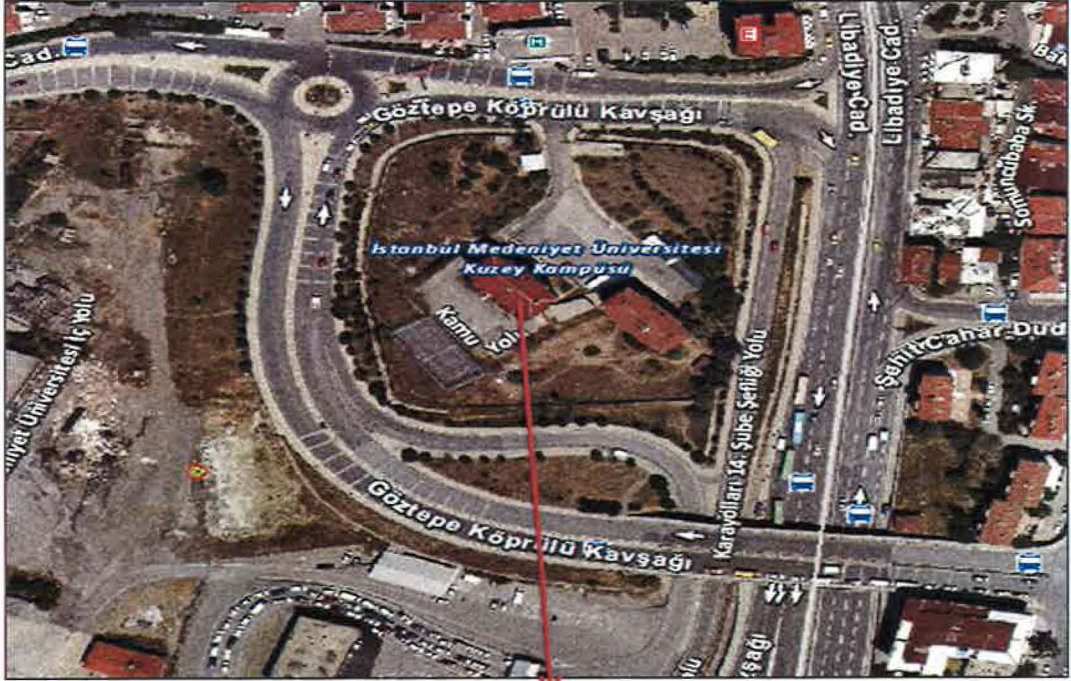
1.1. Bina Cephe Fotoğrafları

Adres: İstanbul ili, Üsküdar ilçesi, Bulgurlu Mah. 194 Pafta 1059 Ada 6 Parsel



Şekil 1: Lojman-1 ön ve yan cephe görünüşü

1.2. Bina Konum Bilgisi ve Uydu Fotoğrafı



Şekil 2: Lojman-1 uydu görüntüsü

2. BİNA TESPİT VE MALZEME TEST RAPORU

Yerinde yapılan incelemelerde elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. Karot, Schmidt Hammer ve Ferrosan cihazları ile betonarme yapılarda mukavemet, donatı tespiti, testleri deney raporu ekte sunulmuştur.

2.1. Yerinde Yapılan Genel Tespitler

- Yapı 1 bodrum, 1 zemin 4 normal kat olmak üzere toplam 6 katlıdır.
- Binanın yapım yılı eski olduğundan dolayı projesi mevcut değildir. Binanın taşıyıcı sisteminin belirlenmesi için gerekli röleve çalışması yapılmıştır.(Ek-1 Taşıyıcı Sistem Rölevesi)
- Kolonlar bütün katlarda 25/50 olarak ölçülmüştür. Kolonlar birbirlerine kirişlerle bağlanmış kirişler de 20/60 olarak belirlenmiştir. Bütün katlarda döşeme kalınlığı 10-12 cm olarak belirlenmiştir. Bodrum kat yüksekliği döşeme üstünden döşeme üstüne 390 cm diğer katların hepsi 290 cm olarak ölçülmüştür.

2.2. Yapının Geometrisi, Yapı Kusuru, Komşu Binalarla Durumu

- Bina dikdörtgen plan geometrisine sahip, ayrıık nizam olarak 1 bodrum, 1 zemin, 4 normal olmak üzere toplam 6 kattan oluşmaktadır.



Şekil 3: Bina uydu fotoğrafından da görülebileceği üzere ayrıık nizamdır.

- Betonarme olarak inşa edilmiştir. Bina atıl olarak uzun süredir boş durumdadır. Eskiden Karayollarına ait lojman olarak kullanılmaktaymış.
- Binada sıva şişmesi ve çatlaklar görülmektedir, donatıda korozyon belirlenmiştir. Ayrıca alınan karot numuneleri üzerinde yapılan karbonatlaşma testinde 10 cm'e kadar karbonatlaşma görülmektedir.

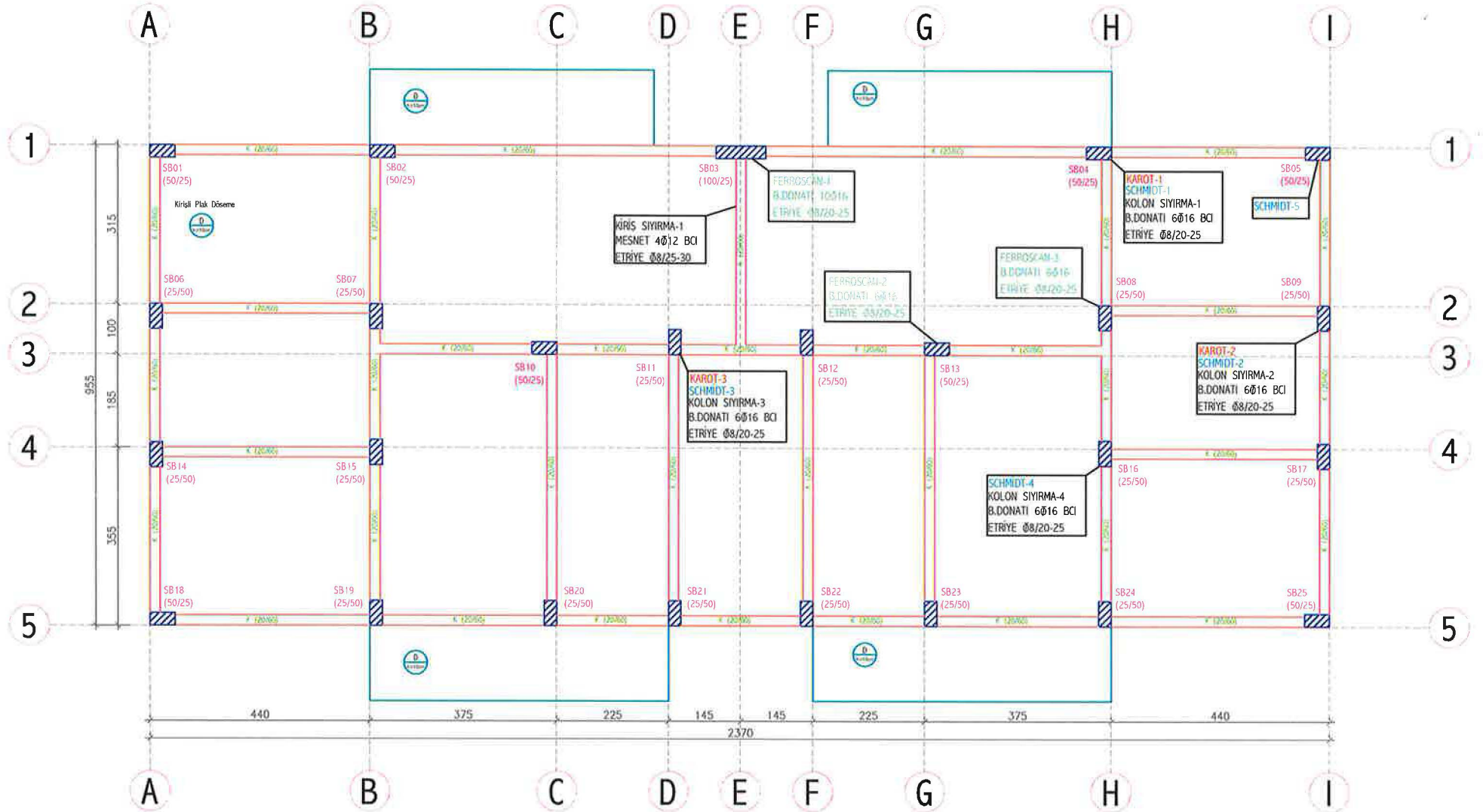


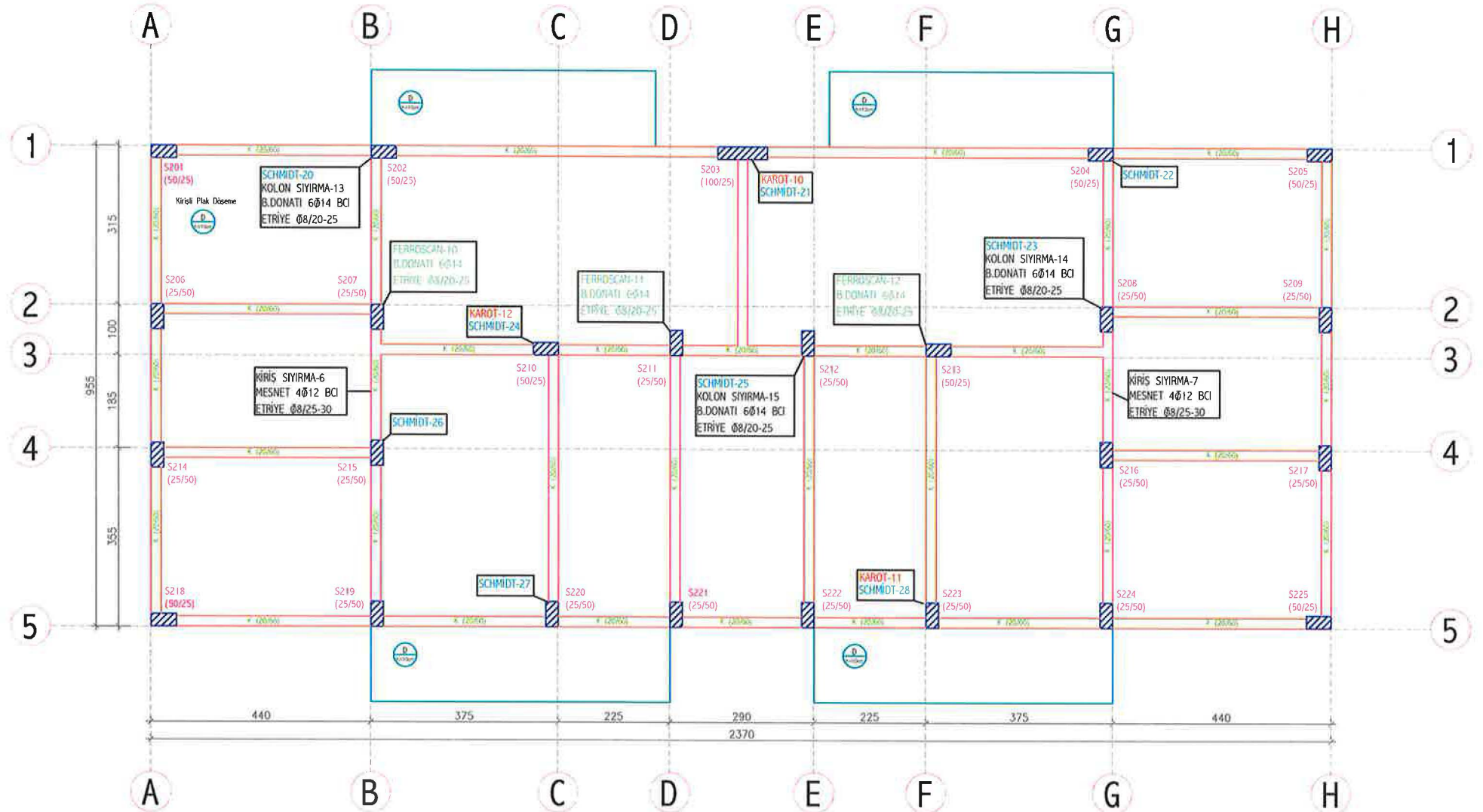
Şekil 4:Binanın çeşitli katlarındaki kolonlarında karbonatlaşma ve donatıdaki korozyon

EK-1:

TAŞIYICI SİSTEM RÖLEVESİ

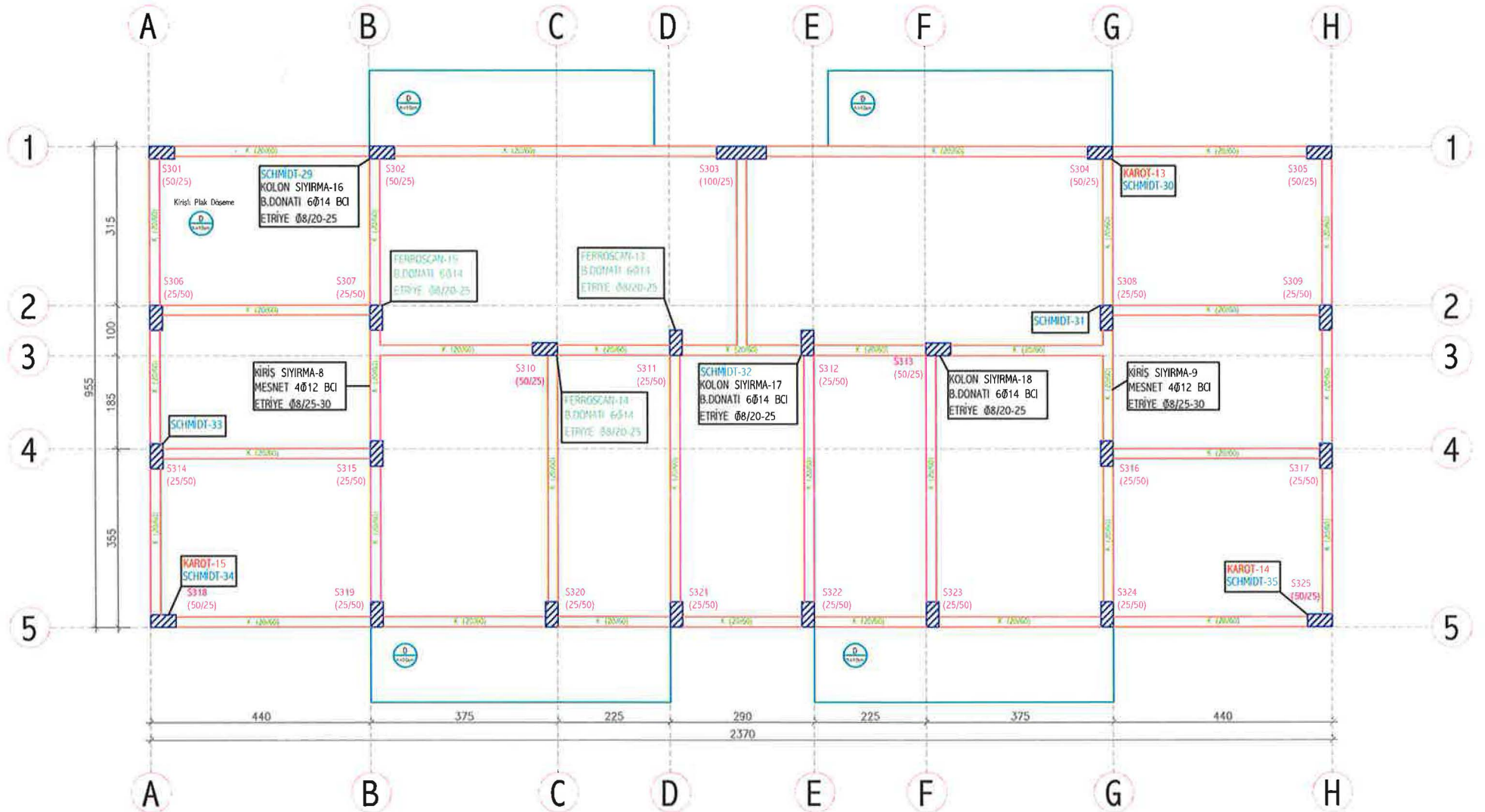
(6 Sayfa)



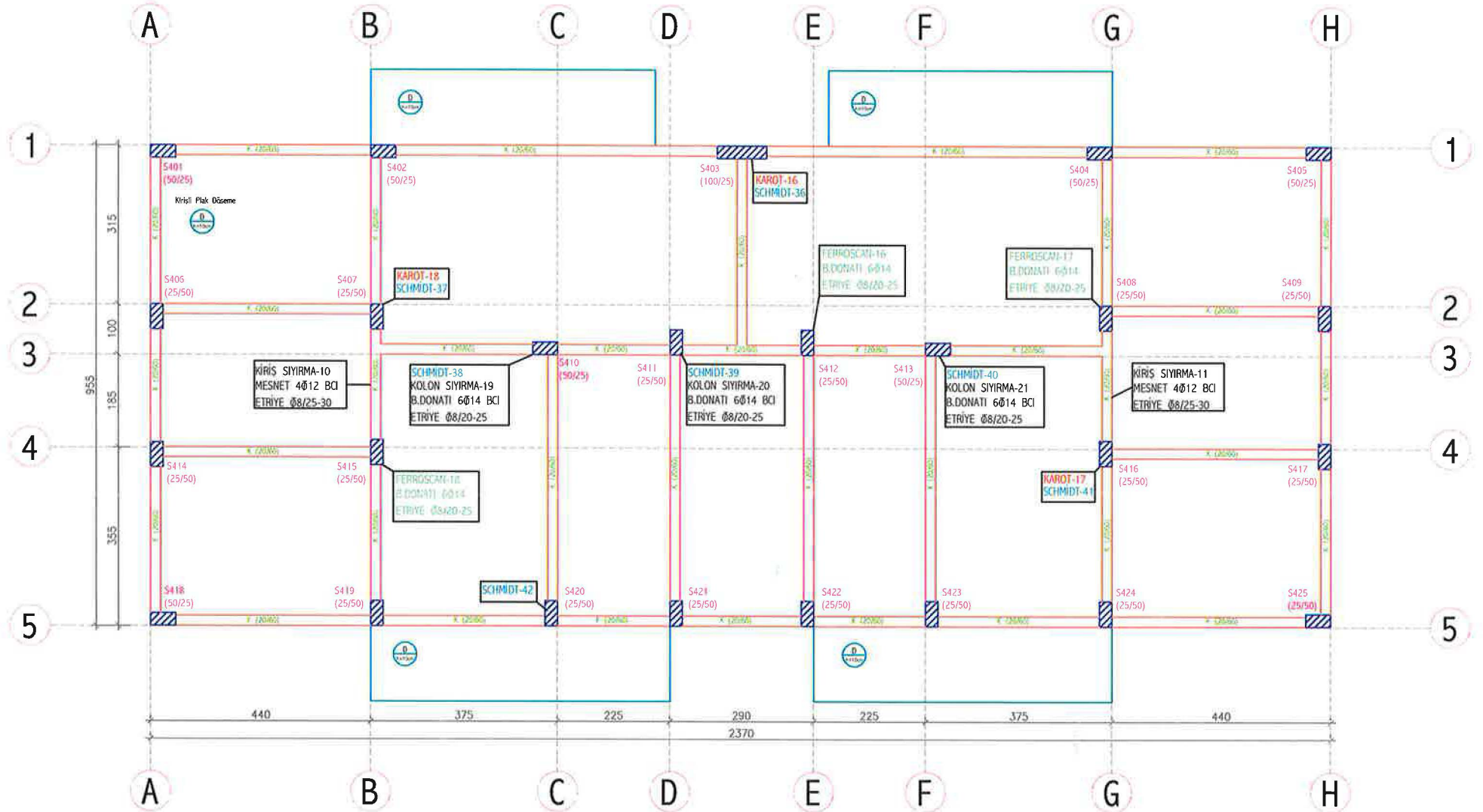


2. NORMAL KAT PLANI

İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ
LOJMAN-1



İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ
LOJMAN-1



4. NORMAL KAT PLANI

İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ
LOJMAN-1

2.3. Yerinde ve Laboratuvarda Yapılan Tespitler ve Deneyler

Saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkartılmış ayrıca kolonlardan her katta toplam üç adetten az olmamak üzere binadan toplam 18 adet beton örneği (karot) TS EN 13791'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılmıştır. 42 adet yapı elemanında schmidt okuması yapılmıştır.

2.3.1. Kolonda Tahribatlı ve Tahribatsız Yöntemle Beton Dayanımı Tespit İşlemi (Karot- Schmidt Hammer)

Binanın farklı katlarından toplam 18 adet karot numunesi alınmıştır. Karot alınan elemanların yerleri taşıyıcı sistem rölevesi üzerinde gösterilmiştir. Karot basınç dayanımları; 8,97-28,20 N/mm² değerleri aralığında olup beton basınç değerleri Tablo-1'de verilmektedir.

Tablo 1:Mevcut kolonlardan alınan numunelerin küp basınç dayanımı

Karot Numune Dayanımları	No	Karot Yeri	Küp Dayanımı (Mpa)
	Karot1	Bodrum Kat SB04	17,65
	Karot2	Bodrum Kat SB09	28,2
	Karot3	Bodrum Kat SB11	21,47
	Karot4	Zemin Kat SZ03	10,75
	Karot5	Zemin Kat SZ20	16,34
	Karot6	Zemin Kat SZ25	15,95
	Karot7	1.Normal Kat S110	14,93
	Karot8	1.Normal Kat S115	21,96
	Karot9	1.Normal Kat S116	11,48
	Karot10	2.Normal Kat S203	13,34
	Karot11	2.Normal Kat S210	10,6
	Karot12	2.Normal Kat S223	10,5
	Karot13	3.Normal Kat S304	8,97
	Karot14	3.Normal Kat S318	15,58
	Karot15	3.Normal Kat S325	17,76
	Karot16	4.Normal Kat S403	11,72
	Karot17	4.Normal Kat S407	18,97
	Karot18	4.Normal Kat S416	17,63

TS EN 13791 yönetmeliğine göre yapıdaki karakteristik basınç dayanımının belirlenmesi için;

a-) $f_{ck,is}=f_{m(n),is}-k_2*s$ veya b-) $f_{ck,is}=f_{is,en\ düşük}+4$ değerlerinden en küçük olan değer mevcut beton dayanımını verir.

$f_{ck,is}$ = karakteristik basınç dayanımı (MPa)

$f_{m(n),is}$ = n adet numunenin yerinde basınç dayanımının ortalaması (MPa)

k_2 = n adet alınan karot sayısına göre katsayı $k_2=1,48$

s= standart sapma

$f_{is, en\ düşük}$ = alınan karotlar içerisindeki minimum karot dayanımı (MPa)

Alınan 18 adet karot numunesinin ortalama küp basınç dayanımı $f_{m(n),is}= 15,77 \text{ N/mm}^2$

En düşük karot numunesi basınç dayanımı ise $f_{is, en\ düşük}= 8,97 \text{ N/mm}^2$

s=4,94

$k_2=1,48$

a-) $f_{ck,is}=f_{m(n),is}-k_2*s$ $f_{ck,is}=15,77 - 4,94*1,48 = 8,46 \text{ N/mm}^2$

b-) $f_{ck,is}=f_{is, en\ düşük}+4$ $f_{ck,is}=8,97 + 4 = 12,97 \text{ N/mm}^2$

Bu iki değerden küçük olan **8,46 N/mm²** yapıdaki karakteristik dayanım ($f_{ck,is,küp}$) olarak elde edilir. Karot deney sonuçları ile kalibre edilmiş beton çekici okumalarında da benzer değerler elde edilmiştir.

DBYBHY 2007 yönetmeliğine göre 1. ve 2. Deprem bölgelerinde yapılarda min. C20 (25 N/mm²) betonu kullanılması şartı aranmaktadır.

Schmidt Hammer cihazı karot numuneleriyle kalibre edilerek ölçüm yapılmıştır ve sonuçları Tablo-2’de verilmiştir.

Tablo 2:Shmidt Çekici ile Beton Dayanım Test Sonuçları

Deney Adı	Bağımsız Bölüm	2007 Deprem Yönetmeliği Şartn. Değeri Deprem Bölgeleri C20/25	Schmidt Hammer Cihazı İle Ölçülen Beton Dayanım Değeri (N/mm ²)	Eş değer küp karot sonuçları (f _{ck,küp}) (Mpa)	Ferroskan Cihazı İle Tespit Edilen Etriye Aralıkları (cm)				Pas Payında Karbonatlaşma (Var / Yok)	Donatıda Görünen Korozyon (Var / Yok)
					Birleşim Yeri Etriye Sıklaştırması Ölçümü (cm)		Normal Etriye Aralıkları Ölçümü (cm)			
					2007 Şartn. Değeri Max.	Ölçüm Değeri	2007 Şartn. Değeri Max.	Ölçüm Değeri		
Deney 1	SB04	25	14,37	17,65	5-10	20	20	25	-	-
Deney 2	SB09	25	17,59	28,2	5-10	20	20	25	-	-
Deney 3	SB11	25	18,77	21,47	5-10	20	20	25	-	-
Deney 4	SB16	25	15,54	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 5	SB05	25	17,59	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 6	SZ03	25	11,14	10,75	5-10	20	20	25	-	-
Deney 7	SZ11	25	12,90	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 8	SZ08	25	15,54	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 9	SZ17	25	12,14	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 10	SZ20	25	15,54	16,34	5-10	20	20	25	-	-
Deney 11	SZ23	25	17,59	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 12	SZ25	25	14,37	15,95	5-10	20	20	25	-	-
Deney 13	S103	25	12,90	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 14	S110	25	22,87	14,93	5-10	20	20	25	-	-
Deney 15	S112	25	16,60	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 16	S113	25	14,37	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 17	S115	25	24,05	21,96	5-10	20	20	25	-	-
Deney 18	S116	25	15,54	11,48	5-10	20	20	25	-	-
Deney 19	S123	25	15,54	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 20	S202	25	12,14	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 21	S203	25	11,14	13,34	5-10	20	20	25	-	-
Deney 22	S204	25	16,60	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 23	S208	25	14,37	-	5-10	20	20	25	-	-

Deney Adı	Bağımsız Bölüm	2007 Deprem Yönetmeliği Şartn. Değeri Deprem Bölgeleri C20/25	Schmidt Hammer Cihazı İle Ölçülen Beton Dayanım Değeri (N/mm ²)	Eş değer küp karot sonuçları (f _{ck,küp}) (Mpa)	Ferrosan Cihazı İle Tespit Edilen Etriye Aralıkları (cm)				Pas Payında Karbonatlaşma (Var / Yok)	Donatıda Görülen Korozyon (Var / Yok)
					Birleşim Yeri Etriye Sıklaştırması Ölçümü (cm)		Normal Etriye Aralıkları Ölçümü (cm)			
					2007 Şartn. Değeri Max.	Ölçüm Değeri	2007 Şartn. Değeri Max.	Ölçüm Değeri		
Deney 24	S210	25	11,14	10,6	5-10	20	20	25	-	-
Deney 25	S212	25	15,54	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 26	S215	25	12,14	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 27	S220	25	12,14	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 28	S223	25	13,84	10,5	5-10	20	20	25	-	-
Deney 29	S302	25	11,14	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 30	S304	25	12,14	8,97	5-10	20	20	25	-	-
Deney 31	S308	25	11,14	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 32	S312	25	11,14	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 33	S314	25	16,60	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 34	S318	25	15,54	15,58	5-10	20	20	25	-	-
Deney 35	S325	25	13,84	17,76	5-10	20	20	25	-	-
Deney 36	S403	25	14,37	11,72	5-10	20	20	25	-	-
Deney 37	S407	25	20,94	18,97	5-10	20	20	25	-	-
Deney 38	S410	25	14,37	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 39	S411	25	13,84	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 40	S413	25	13,84	-	5-10	20	20	25	-	-
Deney 41	S416	25	16,60	17,63	5-10	20	20	25	-	-
Deney 42	S420	25	17,59	-	5-10	20	20	25	-	-



SB04



SB09



SB11



SZ03



SZ20



SZ25



S110



S115



S116



S203



S210



S223



S304



S318



S325



S403



S407



S416



toplu karot



karbonatlaşma



karbonatlaşma

Şekil 5: Karot alınan yerlerin fotoğrafları



Şekil 6: Kolon Schmidth Okumaları

2.3.2. Kolonda Tahribatlı ve Tahribatsız Yöntemle Donatı Tespit İşlemi (Sıyırma-Tarama)

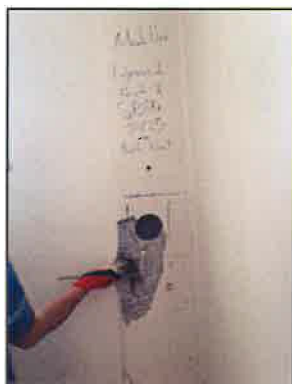
Kolonlarda donatı tespiti yapılmış boyuna donatı çap ve adedi belirlenmiştir. Taşıyıcı sistem betonarmesinde ferrosan cihazı ile yapılan ölçümlerde, kolonlarda sargı bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmadığı, serbest açıklık bölgelerinde de etriye aralıklarının teknik şartname değerlerini sağlamadığı tespit edilmiştir. Etriye ve boyuna donatılarda BCI sınıfı donatı kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem rölevesi üzerinde hem sıyırma yapılan kolonların hem de taraması yapılan kolonların gösterimi yapılmıştır. (Bknz: Ek-1 Taşıyıcı Sistem Rölevesi)

Kolonlarda ferrosan cihazıyla yapılan okuma sonuçları Ek-2’de verilmiştir.

Tablo 3:Mevcut kolon tahribatlı ve tahribatsız yöntemle donatı tespiti

Yapılan İşlem	Taşıyıcı Eleman No (Kolon)	Ebat (Cm)	Boyuna Donatı Çap(mm) / Adet	Etriye	
				Sargı Bölgesi Çap(mm) /Aralık (cm)	Orta Bölge Çap(mm) /Aralık (cm)
Sıyırma	SB04	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	SB09	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	SB11	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	SB16	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	SZ03	25/100	10Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	SZ11	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	SZ08	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	SZ20	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	SZ25	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S110	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S112	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S113	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S202	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S208	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S212	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S302	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S312	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S313	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S410	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S411	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Sıyırma	S413	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	SB03	25/100	10Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	SB13	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	SB08	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	SZ12	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	SZ13	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	SZ16	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S108	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25

Tarama	S111	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S107	25/50	6Ø16 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S207	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S211	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S213	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S311	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S310	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S307	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S412	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S408	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25
Tarama	S415	25/50	6Ø14 BCI	ø8/20	ø8/25



SB04



SB09



SB11



SZ03



SZ11



SZ08



SZ20



SZ25



S110



S112



S113



S202



S208



S212



S302



S312



S313



S410



S411



S413

Şekil 7: Kolon Sıyirmaları



SB03



SB13



SZ12



SZ13



S108



S111



S207



S211



S311



S307



S412



S415

Şekil 8: Kolon Taramaları

2.3.3. Kirişte Tahribatlı Yöntemle Donatı Tespit İşlemi (Sıyırma)

Altına duvar gelmeyen kirişlerde hem mesnetten hemde açıklıktan donatı tespiti yapılabilmesi için sıyırma işlemi yapılmıştır. Ancak bütün binada açıklık olarak iki kiriş altı boş bulunmuş onunda sadece açıklık bölgesi sıyrılabilmiştir. Hem duvar üstüne gelmeyen kirişlerin az olması hem de boş olan kiriş altlarının sadece açıklık bölgelerinin sıyrılabilmesi sebebiyle kiriş sıyırması kısıtlı miktarda yapılmıştır. Taşıyıcı sistem rölevesi üzerinde sıyırma yapılan kirişlerin gösterimi yapılmıştır. (Bknz: Ek-1 Taşıyıcı Sistem Rölevesi)

Tablo 4: Mevcut kiriş tahribatlı donatı tespiti

Taşıyıcı Eleman No (Kolon)	Ebat (cm)	Boyuna Donatı Çap(mm)/ Adet		Etriye	
		Mesnet Çap(mm) / Adet	Açıklık Çap (mm) / Adet	Sargı Bölgesi Çap(mm) /Aralık(cm)	Orta Bölge Çap(mm) /Aralık(cm)
Bodrum Kat K1	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
Zemin Kat K1	20/60	-	3Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
Zemin Kat K2	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
1.Normal Kat K1	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
1.Normal Kat K2	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
2.Normal Kat K1	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
2.Normal Kat K2	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
3.Normal Kat K1	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
3.Normal Kat K2	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30
4.Normal Kat K1	20/60	-	4Ø12 BCI	ø8/25-30	ø8/25-30

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. FUAT ARAS
Proje No:	214M235
Proje Başlığı:	Betonarme Yapılarda Bölme Duvarların Yapıların Dinamik Davranışlarına Etkilerinin Tam Ölçekli Ve Hasarlı Deneylerle Araştırılması
Proje Türü:	3501 - Kariyer
Proje Süresi:	18
Araştırmacılar:	SEYİT ÇERİBAŞI
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSTANBUL MEDENİYET Ü. MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ F. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/04/2015 - 15/01/2017
Onaylanan Bütçe:	195375.0
Harcanan Bütçe:	172141.72
Öz:	Bu projede, bölme duvarların betonarme yapıların dinamik özelliklerine olan katkısı araştırılmıştır. Bunun için İstanbul Medeniyet Üniversitesine ait olan 6 katlı betonarme bir bina deney numunesi olarak kullanılmıştır. İlk önce çalışmanın yapılacağı yapının mevcut dinamik özellikleri Çevresel Titreşim Analizleri (ÇTA) ile belirlenmiştir. Bu yöntem mevcut yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesi için sıklıkla uygulanan yöntemlerdir. Daha sonra mevcut yapının zemin kattaki bölme duvarları yapı elemanlarına zarar vermeden yıkılmıştır. Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın dinamik özellikleri tekrar ÇTA ile belirlenmiştir. Binanın bölme duvarlı ve bölme duvarsız durumlarından elde edilen dinamik özelliklerin (titreşim periyotları, sönüm oranları ve mod şekilleri) karşılaştırılması bölme duvarların yapı dinamik özelliklerine etkisini kusursuz bir şekilde açığa çıkarılmıştır. Ayrıca duvar yıkımından hemen önce laboratuvarında test edilmek üzere duvar numuneleri basınç ve kayma testleri için alınmıştır. Laboratuvarında yapılan testlerle duvarların basınç ve kayma dayanımları ve elastisite modülleri belirlenmiştir. Bölme duvarların yapı dinamik özelliklerine olan katkısı ayrıca sayısal analizlerle de araştırılmıştır. Bunun için çalışmanın yürütüldüğü binanın orijinal hali sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve bina dinamik özellikleri elde edilmiştir. Sayısal modelde beton ve duvar için yapılan malzeme testlerinden elde edilen malzemem değerleri kullanılmıştır. Deneyel ve sayısal yolla elde edilen dinamik özellikler karşılaştırılmış ve bina sayısal modeli malzeme özelliklerine bağlı olarak ayarlanmıştır. Ayarlanan sayısal modelde bina zemin katındaki tüm duvar elemanlarının rijitlik etkisi kaldırılmış ve zemin katında bölme duvarları olmayan binanın dinamik özellikleri sayısal olarak elde edilmiştir. Sonuçlar binanın aynı durumu için deneyel olarak elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Son olarak, Türk deprem yönetmeliğinde komşu katlar arası dayanım ve rijitlik düzensizliklerinin kontrol edilmesinde uygulanan yöntem sorgulanmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre katlar arası dayanım düzensizliğinin araştırmasında yığma duvar etkileri yeterli güvenlikte hesaba katılmaktadır. Ancak katlar arası rijitlik süreksizliği kontrolünde Türk deprem Yönetmeliğince bölme duvarların etkilerinin göz önüne alınmaması hatalı olarak değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler:	bölme duvarlar, titreşim analizi, dinamik davranış, gerçek bina testleri, betonarme binalar
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Operational modal analysis to confirm the numerical model of a reinforced concrete building (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum), 2- Mechanical Properties of the Partition Walls in Typical Residential Buildings Located in Istanbul (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Sözlü Sunum),