

Titreşim Analizi Yöntemi ile Hasarlı ve Hasarsız Binaların Belirlenmesi – Ek Rapor

-ÖNERİLEN METODUN BAŞARISINI SINAMAK İÇİN YIKIM ALANINDA YAPILAN İKİNCİ ÖLÇÜM ÇALIŞMASI RAPORU- 16.09.2013

Raporu Hazırlayan:

DOÇ.DR. ÖZGÜR ANIL (Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği – Bölüm Bşk. Yrd.)

SARP DİNÇER, MS (İnşaat Y. Mühendisi)

1 ÇALIŞMANIN AMACI

Titreşim analizi ile hasarlı ve hasarsız binaların belirlenmesi yönteminin başarısını sınamak için 13.08.2013 tarihinde, İstanbul Kartal Emek-İş bloklarında bazı ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları bir rapor haline getirilmiştir.

Bu çalışmada, aynı bina üzerinde, zayıflatma çalışmaları öncesi ve sonrasında ölçüm alınması planlansa da , zamanlama ve koordinasyon problemlerinden dolayı bu yöntem uygulanamamıştır. Bunun yerine, aynı tip projelere sahip, birbirine çok yakın inşa edildiği varsayılan, yönleri aynı olan iki bina seçilerek, birinde zayıflatma çalışmaları yapılmış diğ erinde yapılmamış olan bu binalardan ölçüm alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar, çok hasarlı kabul edilen binanın salınım periyodunun, hasarsız kabul edilen binaya göre belirgin şekilde değiştiğini ve kullanılan ölçüm sisteminin bu değişimi rahatlıkla algılayabildiğini göstermiştir.

Bu çalışmayla ilişkili kişi ve kurumlarca yapılan değerlendirmeler sonucunda, aynı bina üzerinden zayıflatma çalışmasından önce ve sonra ölçüm alma şeklinde yeniden bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir. **Bu sayede, ölçüm sisteminin aynı bina üzerinde çok daha az veya gözden kaçabilecek seviyede hasarları dahi algılayabileceğini göstermek amaçlanmıştır.** Taşıyıcı elemanlara hasar vermenin riskli olacağı düşünüldüğünden binanın alt katlarındaki tuğla duvarlardan bir veya birkaçının yıkılarak hasarın oluşturulması planlanmıştır.

2 TEORİK VE PRATİK ALTYAPI, LİTERATÜR

Tarihi yapılar ve bütün mühendislik yapılarının dinamik etkiler altındaki davranışları, doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı olarak tanımlanan dinamik karakteristiklere bağlı olarak belirlenmektedir [1-6]. Günümüzde dinamik karakteristikler, yapıların proje verileri veya arazi üzerinde gerçekleştirilen ölçümler dikkate alınarak belirlenen eleman boyutları, malzeme özellikleri ve sınır şartlarına göre oluşturulan

sonlu eleman modellerinin modal (serbest titreşim) analizleri sonucunda analitik olarak belirlenmektedir [7]. Fakat analizler sırasında dikkate alınan parametreler, yapı malzemesinin zamanla dayanımını yitirmesi, yapının inşası sırasında gerçekleşen işçilik hataları, yapının maruz kaldığı farklı yüklemeler sonucu oluşan çatlamlar, yorulmalar, mesnet çökmeleri gibi nedenlerden dolayı değişime uğramış ve yapı dinamik karakteristikleri zaman içerisinde beklenen değerlerinden uzaklaşmış olabilmektedir [8-10]. Dolayısıyla, analitik olarak belirlenen dinamik karakteristiklerin, yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılmasıyla doğru olmayan analiz sonuçlarının elde edilebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, yapı dinamik karakteristiklerinin analitik yöntemlerin yanında deneysel yöntemlerle de belirlenmesi gerekmektedir. Deneysel yöntemler ve ölçümler yapının mevcut durumu üzerine uygulandığından, elde edilen dinamik karakteristikler yapının o andaki mevcut durumunu yansıtmaktadır [7-12].

Yapısal hasarların belirlenmesinde kullanılan temel yaklaşım, yapının rijitliğinde meydana gelen bir azalmanın veya hasarın yapının dinamik davranışında meydana getireceği değişimdir. Bu değişim doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı olarak bilinen dinamik karakteristiklerde ortaya çıkmaktadır. Yapıların hasar durumlarının değerlendirilmesinde sadece deneysel ya da sadece analitik verilerin kullanılmasının etkin sonuç vermediği, deneysel sonuçların analitik sonuçlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirmesinin faydalı olduğu görülmüştür. Bu nedenle özellikle de son yıllarda analitik modellerin güncellenmesine dayalı hasar tespit uygulamaları daha fazla tercih edilir hale gelmiştir.

Farrar ve Jauregui (1998a, 1998b), [13-14] hasar tespitinin yapıların sınır şartlarındaki, rijitliklerindeki, kütle ve sönüm gibi fiziksel özelliklerindeki değişimlerin, yapılardaki frekans, mod şekli ve modal sönüm gibi dinamik karakteristiklerinde yaptığı değişimler kullanılarak gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Sampaio vd. (1999), [15] yapılarda hasar olup olmadığını ve eğer varsa hasarın yerini ve miktarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Yapıda hasar etkisi olarak çatlağın dikkate alınması durumunda, dinamik karakteristiklerden rijitliğin önemli derecede değiştiği, kütlede değişmediği kabul edilmiştir.

Yapıların hasar durumlarını değerlendirebilmek için kullanılan yaklaşım, yapıların analitik modellerinin deneysel ölçüm sonuçlarına göre güncellenmesini içermektedir. İki aşamadan oluşan yaklaşımın esası, analitik modeller üzerinde değişiklikler yapılarak deneysel ve analitik dinamik karakteristikler arasındaki farkın minimize edilmesine dayanmaktadır. Bu amaçla, ilk aşamada yapının hasarsız durum için oluşturulan analitik modeli yapının gerçek davranışını yansıtacak şekilde kalibre edilmekte; ikinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen model kullanılarak yapının hasarlı durumu için elde edilen deneysel ölçümlere göre analitik modelin güncellenmesi yapılmaktadır. İki aşama arasındaki temel farklar: 1. Başlangıç modellerinin farklı olması 2. Güncelleştirme için dikkate alınan parametrelerin farklı olmasıdır.

Yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları birçok belirsizliği içermektedir. Dinamik yüklerdeki belirsizliklerin yanı sıra dinamik davranışı etkileyen parametrelerdeki belirsizlikler, yapı dinamik davranışının gerçekçi olarak belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Yapıların dinamik davranışlarını anlamak onların dinamik karakteristikleri ya da modal parametreleri olarak bilinen sönüm oranları, mod şekilleri ve doğal frekanslarını belirlemekle mümkün olmaktadır. Günümüzde yapı dinamik karakteristiklerini belirlemek için teorik ve deneysel yöntemler kullanılmaktadır.

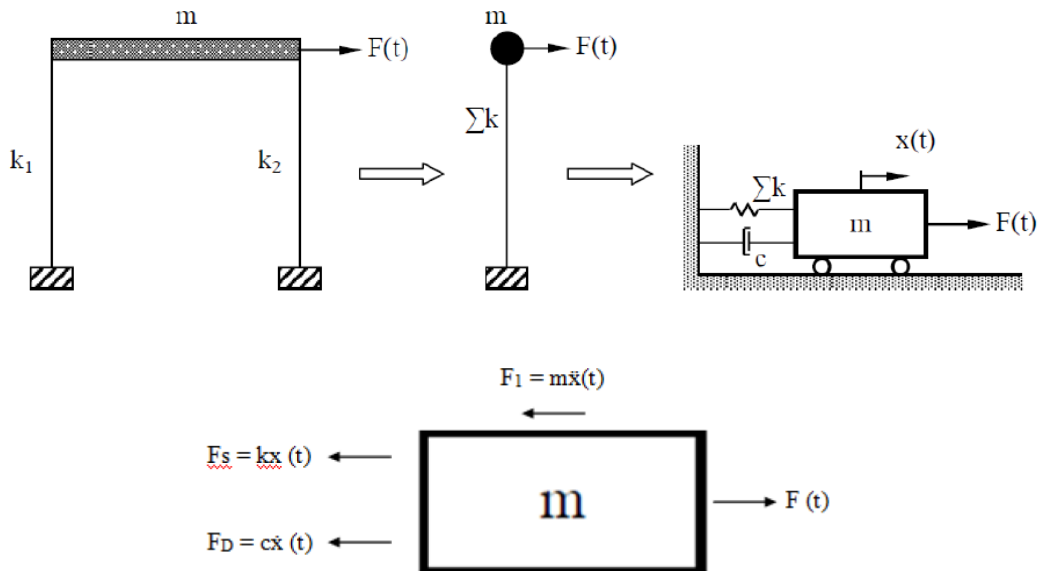
Teorik yöntem olarak kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi ile bir yapının sonlu eleman modeli oluşturulurken yapı malzeme özelliklerinden sınır şartlarına kadar pek çok kabul yapılmaktadır. Bu kabullerin sonucu olarak elde edilen model, gerçek modeli dolayısı ile yapının gerçek dinamik davranışını tam anlamıyla doğru şekilde temsil edememektedir. Bu problemlerden dolayı teorik modeller deneysel yöntemler kullanılarak doğrulanmalıdır.

Operasyonel Modal Analiz Yöntemi ile sistemin dinamik değişkenleri olan doğal frekanslar ve bu frekanslara karşılık gelen modal şekilleri ve sönüm oranları belirlenebilmektedir. Sistemin dinamik değişkenleri, sistemdeki kütle miktar ve dağılımı ile sistemi oluşturan elemanların rijitliği ve dağılımı arasındaki ilişki sonucu ortaya çıkar. Sönüm oranları ise harekete maruz kalan sistemin malzemesi ve elemanları arasında oluşan iç sürtünmelerin veya tüketilen enerjinin bir ölçüsü olarak ortaya çıkar. Deneysel Modal Analizin diğer tekniklere göre avantajı yapı-temel-zemin etkileşimini de içerecek şekilde sistemi tanımlamasıdır.

Operasyonel Modal Analiz Yönteminde, Zorlanmış ve Çevresel Titreşimler kullanılabilir. Zorlanmış Titreşimlerde darbe çekici ve sarsıcılar titreştirici olarak kullanılırken, Çevresel Titreşimde rüzgâr, taşıt yükü, deprem, patlatma veya yaya hareketi gibi titreştiriciler kullanılmaktadır. Tepkilerin ölçülüp değerlendirilmesinde frekans ve zaman tanım alanına dayalı birçok yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerin matematik tabanları aynı olup, veri işleme ve denklem çözme teknikleri ile matris dizilişleri birbirinden farklı özellikler içermektedir.

Teorik ve deneysel olarak elde edilen dinamik karakteristikler arasındaki farklılıkların, yapının tasarımı sırasında kabul edilen malzeme özellikleri ve sınır şartlarındaki değişimler ile yapım kusurlarından kaynaklandığı görülmektedir. Bu kriterler dikkate alınarak sonuçlar arasındaki farklılıklar minimum seviyeye indirilmekte ve yapının mevcut durumunu yansıtan sonlu eleman modeli elde edilmektedir. Böylece, deneysel ölçüm yöntemlerine göre iyileştirilen sonlu eleman modelleri kullanılarak yapı güvenliği daha gerçekçi bir şekilde belirlenebilmektedir.

TEORİK MODAL ANALİZ YÖNTEMİ: Mühendislik yapılarının dinamik karakteristikleri olarak adlandırılan doğal frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranları teorik modal analiz yöntemi kullanılarak belirlenmektedir. Bir düğüm noktasının uzayda üç doğrusal ve üç açısız olmak üzere altı hareket edebilme kabiliyeti vardır. Düğüm noktasının her bir hareket kabiliyeti serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Bir serbestliğe sahip en basit sistemlere Tek Serbestlik Dereceli Sistemler (TSDS) denir. Çoğu yapı pratikte tek serbestlik derecesine sahip olmamasına rağmen, çok serbestlik dereceli sistemler tek serbestlik dereceli sistemlerin süperpozisyonu olarak hesap edilebilmektedir. Tek serbestlik dereceli sistemlerin teorik modeli şekilde verilmektedir.



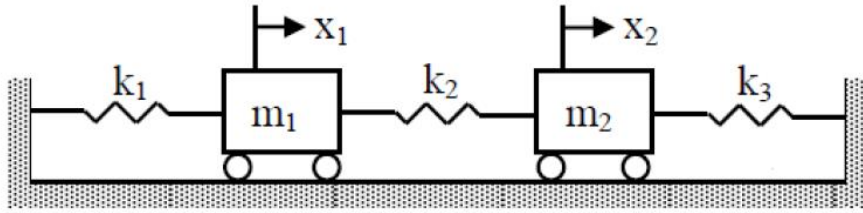
$$F_I + F_D + F_S = F(t)$$

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t)$$

Gerçek sistemler çok serbestlik dereceli sistemlerdir. Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerde (ÇSDS) serbestlik derecesi, bir hareket denklemi ve doğal frekansa karşılık gelmektedir. Tek serbestlik dereceli sistemlerin titreşimindeki skaler değerlerin yerini, çok serbestlik dereceli sistemlerde vektörel ve matris büyüklükler alır. Çok serbestlik dereceli sistemlerde genel hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{F(t)\}$$

dir. Burada, $[M]$ kütle matrisi, $[C]$ sönüm matrisi, $[K]$ rijitlik matrisi, $\{x(t)\}$ yer değiştirme vektörü, $\{\dot{x}(t)\}$ hız vektörü, $\{\ddot{x}(t)\}$ ivme vektörü, $\{F(t)\}$ kuvvet vektörüdür. Sönümsüz serbest titreşim durumunda sönüm matrisi $[C] = 0$ ve kuvvet vektörü $\{F(t)\} = 0$ kabul edilecektir. Çok serbestlik dereceli sistemleri temsil etmek amacıyla iki serbestlik dereceli bir sistemin sönümsüz serbest kütle-yay teorik modeli şekilde verilmektedir.



Sönümsüz serbest titreşimlerde sönüm olmadığı için teorik model kütle ve rijitlik terimleriyle ifade edilir ve bu durumda hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{0\}$$

halini alır. Bu denklemin çözümü için basit harmonik hareket dikkate alınır ve

$$\{x(t)\} = \{A\} \sin(\varphi + \omega t)$$

olduğu varsayılır. Burada; $\{A\}$, zamana bağlı olmayan bir vektör olup, genlik vektörü olarak adlandırılır. Sonuçta denklemin çözümünden,

$$-\omega^2 [M]\{A\} \sin(\omega t + \varphi) + [K]\{A\} \sin(\omega t + \varphi) = \{0\}$$

elde edilir. Bu denklemdeki $\sin(\omega t + \varphi)$ terimi denklemden çıkartılıp gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$[[K] - \omega^2 [M]] \{A\} = \{0\}$$

bulunur ve bu denklem önden $[M]^{-1}$ ile çarpılırsa,

$$[[D] - \lambda [I]] \{A\} = \{0\}$$

standart öz değer denklemi elde edilir. Burada,

$$[D] = [M]^{-1} [K]$$

dır. $[I]$ birim diyagonal matrisi ve $\lambda=\omega^2$ öz değerleri göstermektedir. Denklemin sıfırdan farklı çözümü için,

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0$$

karakteristik determinant denklemi elde edilir. Denklemin çözümünden n serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal açısız frekans (öz vektör) ($\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$) elde edilir. Doğal frekansların büyükten küçüğe sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans temel frekans ve bu frekansa karşılık gelen mod şekli temel mod şekli olarak adlandırılır. Her λ_r öz değer vektörüne karşılık bir A_r öz vektör veya doğal mod şekli belirlenir.

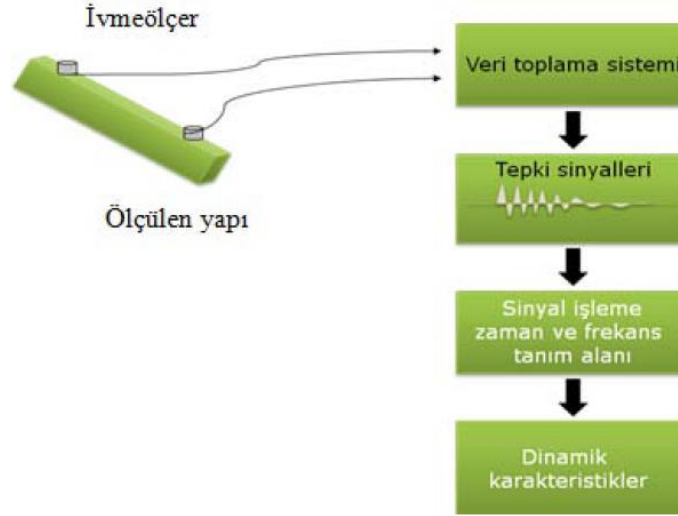
Elde edilen modal vektörler normalleştirilerek $\{\phi\}_r$ modal vektörleri ve $[\Phi]$ modal matrisi denklem oluşturulur.

$$[\Phi]_{n \times n} = [\{\phi\}_1 \{\phi\}_2 \dots \{\phi\}_n]$$

OPERASYONEL MODAL ANALİZ YÖNTEMİ: Operasyonel Modal Analiz adından da anlaşıldığı gibi hizmet durumundaki bir yapıdan gerçek zamanlı veri toplanarak yapılan deneysel bir modal analizdir. Bu yöntemde bilinmeyen kuvvetler/etkiler ya da yapı titreştiricileri olarak rüzgâr yükleri, yaya ve taşıt trafiği, deprem, dalga hareketleri vb. çevresel etkiler kullanılmaktadır.

DİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİ BELİRLEME YÖNTEMLERİ: Operasyonel Modal Analiz Yöntemine göre yapıların dinamik karakteristiklerinin nasıl belirlendiğini gösteren akış şeması şekilde verilmektedir. Bu yöntemde yapının çevresel bir etki ile (rüzgâr, taşıt yükü, yaya hareketi, deprem, patlatma gibi) titreştirildiği kabul edilmekte ve yapının bu titreşime göstermiş olduğu tepki ölçülmektedir. Tepkilerin ölçülüp değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan birçok yöntem vardır. Kullanılan yöntemlerin matematik tabanları aynı olup, veri işleme ve denklem çözme teknikleri ile matris dizilişleri birbirinden farklı özellikler içermektedir. Bu yöntemler değişkenin zaman olduğu zaman ortamında ve değişkenin frekans olduğu frekans ortamındaki yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Frekans tanım alanındaki yöntemler, her bir noktada ölçülen sinyalin analizine ve sinyaller arasındaki korelasyona dayanmaktadır. Bunlar, parametrik olmayan yöntemler olarak da adlandırılmaktadır. Zaman tanım alanındaki yöntemler ise her bir noktada sinyalin zaman geçmişine veya korelasyon fonksiyonlarıyla model uydurmaya dayanmaktadır.



Şekil 2.1 - Dinamik karakteristiklerin belirlenmesini gösteren akış şeması

FFT ANALİZİ : Hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) titreşim analizinde kullanılan, istatistik tabanlı, matematiksel bir işlemdir.

Karışık sinyal yumaklarını ayırır ve hangi frekansta ne şiddette bir titreşim olduğunu gösterir. Kısaca FFT sinyallerimizi zaman alanından frekans alanına geçirirken kullandığımız bir işlemdir.

FFT tekrarlanmayan sinyalleri dikkate almaz. Karmaşık sinyaller içinde periyodik olanları belirleyip harmonik bileşenlerine ayırır.

FFT analizi için DFT (Ayrık Fourier dönüşümünü) tekrar hatırlayacak olursak,

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{nk} \quad 0 \leq k \leq N-1$$

Burada $W_N = e^{-j(2\pi/N)}$ 'dir. Denkleminde gösterilen Ayrık Fourier Dönüşümünün (DFT) doğrudan hesaplanmasında her bir $X(k)$ değeri için N adet karmaşık çarpma ve $N-1$ adet karmaşık toplama işlemi yapılmaktadır. Bundan dolayı N adet DFT değeri bulunurken, N^2 adet çarpma ve $N(N-1)$ adet toplama işlemi gereklidir. Ayrıca her karmaşık çarpma işlemi dört gerçel çarpma ve iki gerçel toplama işlemi ve her bir karmaşık toplama iki gerçel toplama işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak, dizi uzunluğu olan N 'nin büyük olması durumunda DFT'nin doğrudan bulunması çok fazla miktarda işlem yapılmasını gerektirir. Yani, N sayısı artarken yapılan işlem sayısı yüksek hızla artmakta ve işlem sayısı kabul edilemez bir seviyeye doğru gitmektedir. 1965 yılında Cooley ve Tukey Ayrık Fourier Dönüşümü için gerekli işlem miktarını azaltacak bir prosedür geliştirdiler [16]. Bu prosedür, sayısal işaret işleme ve diğer alanlarda DFT uygulamalarında ani bir artış olmasına sebep oldu. Ayrıca başka algoritmaların geliştirilmesine ön ayak olmuştur. Tüm bu algoritmalar Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) algoritmaları olarak bilinir. Bu algoritmalar ile DFT hesabı için yapılması gereken işlem sayısı büyük ölçüde azaltılarak işlem kolaylığı sağlanmıştır. Her ne kadar dönüşüm olarak adlandırılırsa, Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) Ayrık Fourier Dönüşümü (DFT)'den farklı değildir. FFT, DFT hesaplanması için etkili ve ekonomik bir algoritmadır.

3 ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE METODOLOJİ

DENEYİN YERİ: Test sahası olarak, bir önceki çalışmada olduğu gibi İstanbul Kartal'da bulunan yıkımına karar verilmiş Emek-İş Blokları kullanılmıştır. Bir önceki çalışma ile, bu çalışma arasında sitede bulunan binaların büyük kısmı patlatma yöntemi ile yıkılmıştır.

İNCELENEN BİNA: Bu çalışmadaki tüm ölçümler, bir önceki çalışmada "TEST" binası olarak adlandırılan binada yapılmıştır. Bir önceki ölçümden sonra bu binada herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

SENSÖR VE ÖLÇÜM CİHAZININ YERLEŞİMİ: Sensörün yerleşimi, bir önceki çalışma ile birebir aynı olacak şekilde yapılmıştır. Tam olarak aynı nokta seçilmiş, aynı yöntemle ve aynı yönde montaj gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 - Sensörün silikonla yapıştırılması



Şekil 3.2 - Sensör, akü ve kablosuz veri aktarıcının yerleştirilmesi



Şekil 3.3 - Veri okuma yazılımı ekran görüntüsü

KULLANILAN EKİPMAN VE YAZILIM: Bu test için aşağıdaki ekipman kullanılmıştır:

eQUAKE Ölçüm Cihazı: Tümleşik 3 eksenli ivmeölçer ve Veri Kayıt Cihazı. Ortam titreşimi altında yapısal sağlık takibi ölçümlere yapmaya uygundur. Mikro-g seviyesindeki titreşimleri ayırt edebilen bir ölçüm çözünürlüğüne ve hassasiyete sahiptir. Proje kapsamında önerilmekte olan ölçüm cihazının prototipidir.

TESTLAB-Network/Server: Gerçek zamanlı ölçüm ve kayıt yazılımı

TESTLAB-Analyze&Reportv2: Zaman ve frekans tabanında analiz yazılımı

SAHA ÖLÇÜM EKİBİ: Sahadaki ölçüm ekibi

Onur Sırmatel (Elektrik ve Elektronik Mühendisi),

Eren Aydın (Matematikçi),

Tolun Pulak (Elektrik ve Elektronik Mühendisi) ve

Selçuk Tatar'dan (Proje Yöneticisi) oluşmuştur.

ÖLÇÜM PROSEDÜRÜ: Ölçümler sırasıyla aşağıdaki koşullarda alınmıştır:

Ölçüm 1: Sensörün yerleşimi tamamlandıktan sonra alınan ilk ölçümdür. Etraftaki binalar patlatma yöntemi ile yıkıldıktan sonra, binadan alınan ilk ölçüm niteliğindedir. (Şekil 3.4)

Ölçüm 2: Binanın 1. ve 2. katındaki batı cephesinden bazı tuğla duvarların yıkılması esnasında alınan ölçümlerdir. (Bu ölçümler olası ileri çalışmalar için alınmış olup analizlerde kullanılmamıştır)

Ölçüm 3: Tuğla duvarların yıkım işlemi tamamlandıktan sonra binadan alınan ölçümlerdir. (Şekil 3.5)

Bir önceki çalışmada alınan ölçümler de ilave edildiğinde binanın üç farklı durumu için karşılaştırmalı analiz yapılmak üzere veri setleri oluşmuştur:

DURUM 1:

Binanın ilk hali olarak kabul edilebilecek, patlatma çalışmalarından önceki durum.

DURUM 2:

Patlatma çalışmalarından sonraki, duvar yıkım işleminden önceki durum.

DURUM 3:

Duvar yıkım işleminden sonraki en son durum.





DUVAR YIKIMI ÖNCESİ

DUVAR YIKIMI SONRASI

Şekil 3.4 – Durum 2 anı



Şekil 3.5 – Durum 3 anı

4 VERİLERİN ANALİZİ VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Veri analizinde aşağıdaki yöntem ve analiz adımları izlenmiştir:

- 1- Durum 1, Durum 2 ve Durum 3'e ait ivme-zaman verileri Fast Fourier Transform (FFT) yöntemi ile frekans uzayına dönüştürülmüştür.
- 2- FFT analizi yapılırken 150000 verilik bloklar %33'lük örtüşmeli (overlap) şekilde kaydırılarak çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Bu sayede 0.0013 Hz'lik frekans çözünürlüğü elde edilmiştir. Bir başka deyişle yapılan analiz 0.0013 Hz ve daha yüksek frekans değişimlerine duyarlıdır. (FFT yöntemiyle ilgili daha detaylı bilgi 2 No'lu kısımda yer almaktadır)
- 3- Durum 1, Durum 2 ve Durum 3 için elde edilen frekans grafikleri karşılaştırılmıştır.
- 4- Analizler hem doğu-batı yönü hem kuzey-güney yönü için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.
- 5- Analizlerde frekans analizinde elde edilen birinci ve ikinci belirgin tepe noktalarına (birinci mod ve ikinci mod) bakılmıştır.

Analizler sonucunda elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir:

(Durum 1, Durum 2 ve Durum 3'e ait tepe noktalarının karşılık geldiği frekanslar sırasıyla **Sarı**, **Mavi** ve **Siyah** dikey çizgiler ile belirtilmiştir.)

DURUM 1 : KIRMIZI

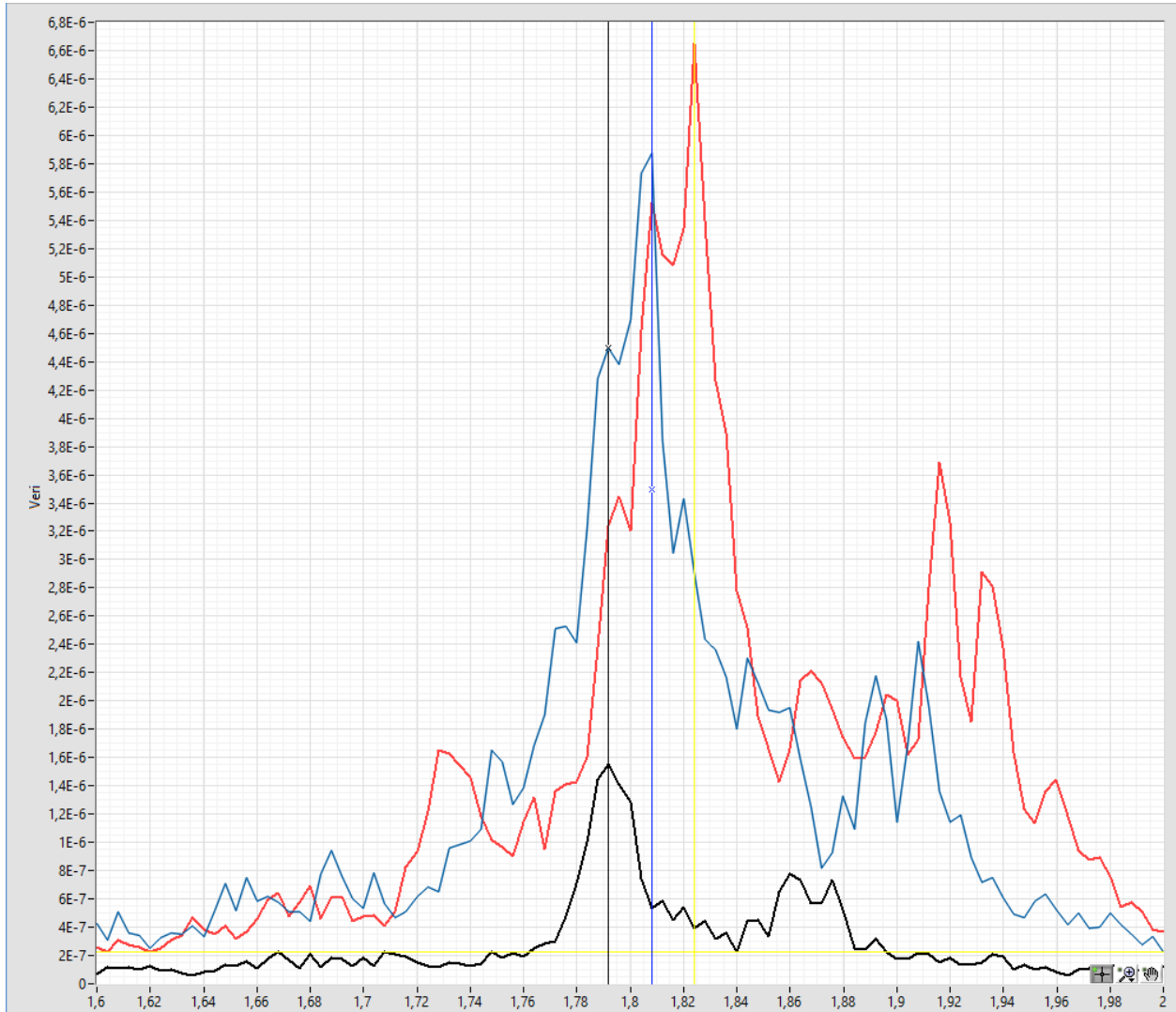
X-EKSENİ: Frekans

DURUM 2 : MAVİ

Y-EKSENİ: Genlik

DURUM 3 : SİYAH

DOĞU-BATI 1.MOD KARŞILAŞTIRMA



DURUM 1 : KIRMIZI

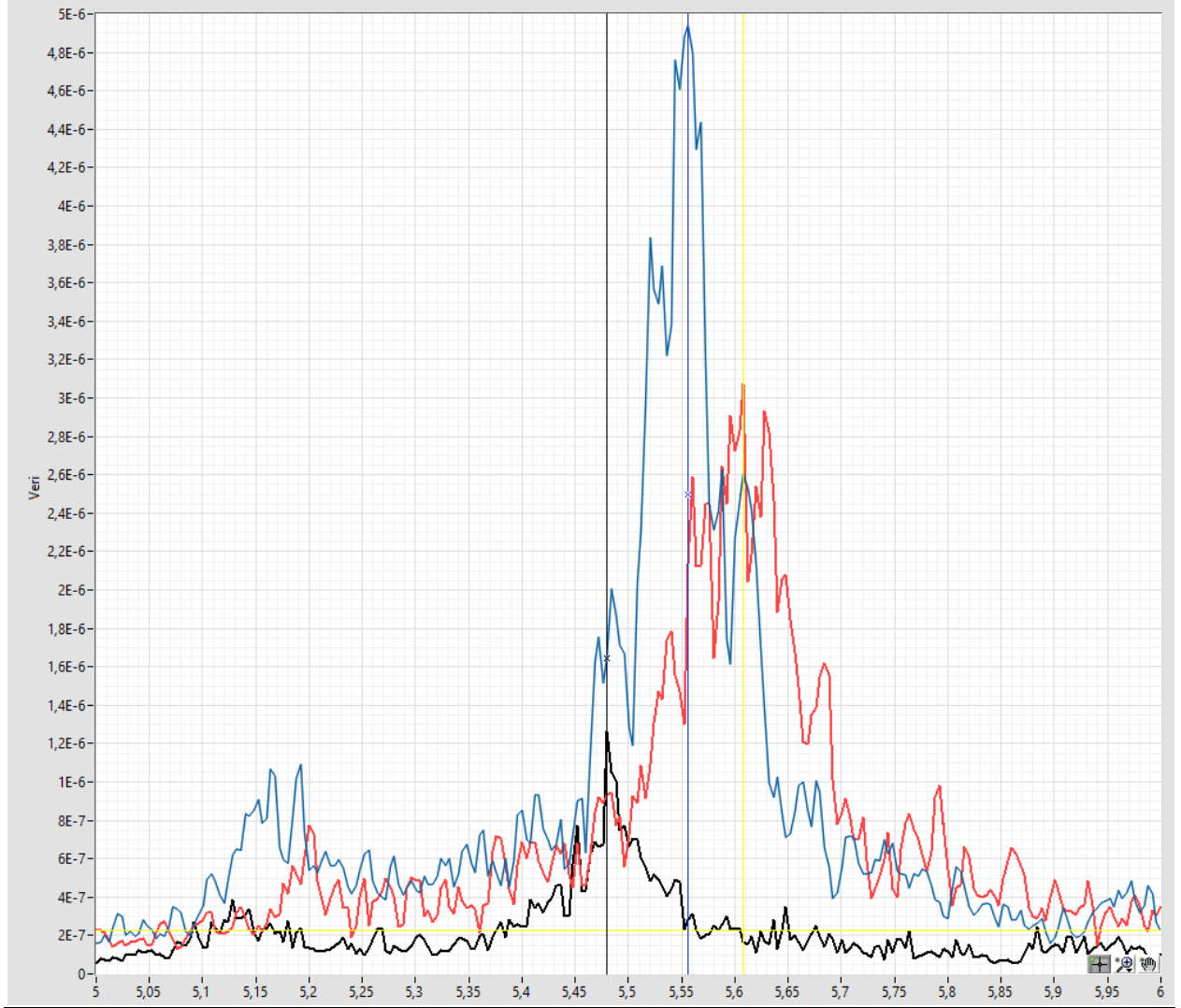
X-EKSENİ: Frekans

DURUM 2 : MAVİ

Y-EKSENİ: Genlik

DURUM 3 : SİYAH

DOĞU-BATI 2.MOD KARŞILAŞTIRMA



DURUM 1 : KIRMIZI

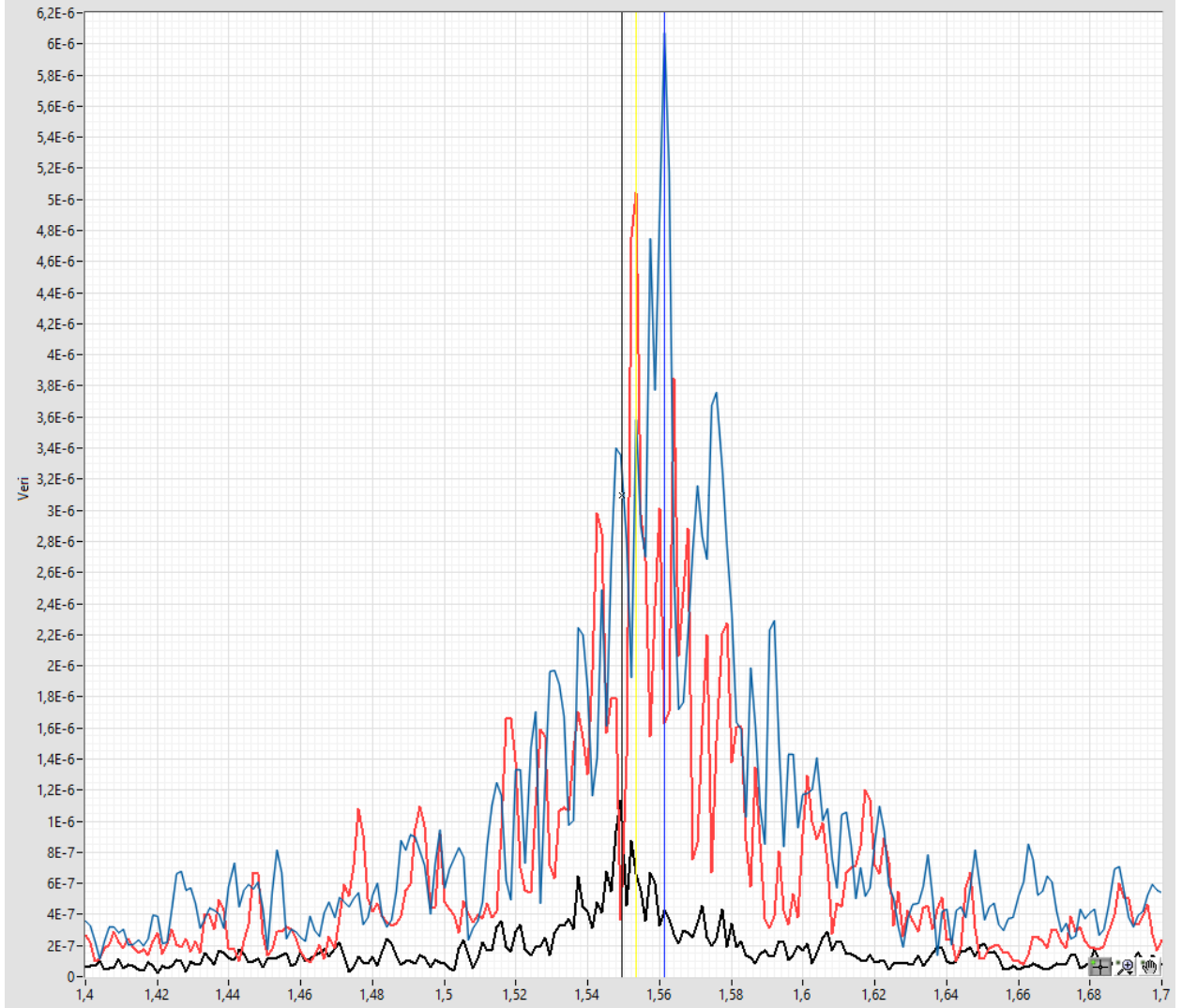
X-EKSENİ: Frekans

DURUM 2 : MAVİ

Y-EKSENİ: Genlik

DURUM 3 : SİYAH

KUZEY-GÜNEY 1.MOD KARŞILAŞTIRMA



DURUM 1 : KIRMIZI

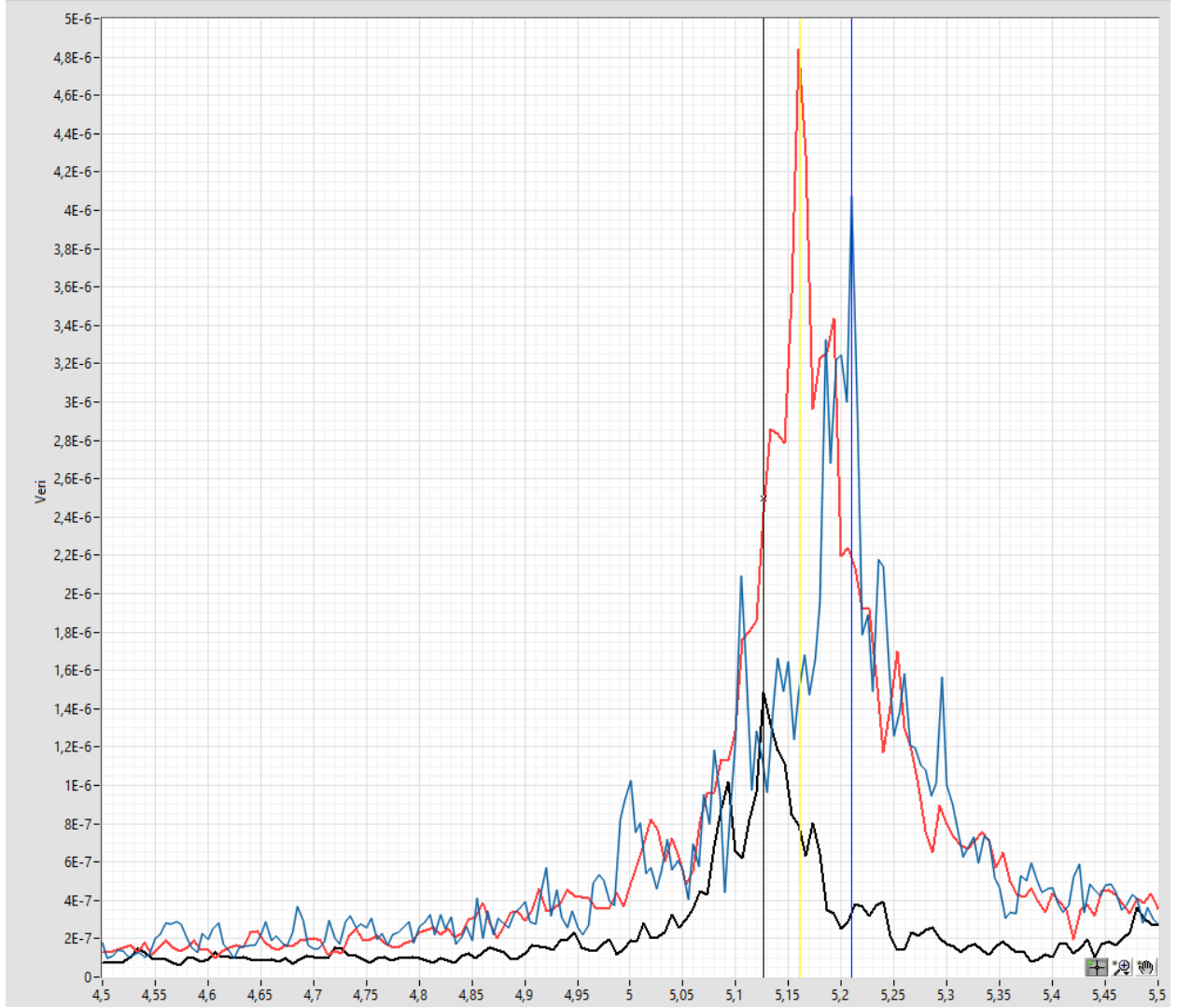
X-EKSENİ: Frekans

DURUM 2 : MAVİ

Y-EKSENİ: Genlik

DURUM 3 : SİYAH

KUZEY-GÜNEY 2.MOD KARŞILAŞTIRMA



EKSEN	DOĞU-BATI		KUZEY-GÜNEY	
	1.MOD (Hz)	2.MOD (Hz)	1.MOD (Hz)	2.MOD (Hz)
DURUM 1	1.824	5.608	1.562	5.210
DURUM 2	1.808	5.551	1.554	5.161
DURUM 3	1.792	5.480	1.550	5.126

Grafiklere ve tabloya bakıldığında, Durum 1'den Durum 3'e gidildikçe binanın doğal titreşim frekanslarının her iki yönde de azaldığı (periyodların arttığı) görülmektedir.

Periyoddaki artış oranlarının yüzdesel ifadesini içeren tablo şu şekildedir:

EKSEN	DOĞU-BATI		KUZEY-GÜNEY	
	1.MOD % Artış	2.MOD % Artış	1.MOD % Artış	2.MOD % Artış
DURUM 1-2	0.9	1.1	0.6	1
DURUM 2-3	0.9	1.1	0.2	0.5
DURUM 1-3	1.8	2.2	0.8	1.6

Değişim oranlarına bakıldığında, çevredeki binaların patlatmayla yıkılması işleminin kuzey-güney ekseninde duvar yıkımına göre titreşim periyodlarında daha fazla değişim yarattığı görülmektedir.

Doğu-batı ekseninde ise her iki işlemin yarattığı değişim yaklaşık olarak aynı oranda gözükmemektedir.

5 SONUÇ

Bir önceki çalışmanın sonucunda, birbirlerine çok yakın nitelikte olan ve biri önemli derecede hasar görmüş iki binanın salınım periyodu arasında %33 seviyelerinde fark tespit edilmiştir. Bu sayede bu ölçüm yönteminin büyük hasarları belirlemekte başarılı olduğu görülmüştür.

İkinci çalışma ile birlikte aynı binadan patlatma sonrası ve duvar yıkımı sonrası olmak üzere yeni veriler elde edilmiş ve tüm bu veriler analiz edildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Patlatma sonrasında binanın her iki eksenindeki periyodunda az da olsa artış görülmektedir. Artış oranı %0.6 ile %1.1 arasında değişmektedir.
2. Duvar yıkımı sonrasında binanın her iki eksenindeki periyordunda az da olsa artış görülmektedir. Artış oranı %0.2 ile %1.1 arasında değişmektedir.
3. Ölçüm yöntemi, binanın çevresindeki başka binaların patlatılarak yıkılması sonucu doğal periyotlarda oluşan çok küçük değişimleri dahi algılayabilmiştir.
4. Ölçüm yöntemi, taşıyıcı eleman olmadığı varsayılan tuğla duvarlardan yalnızca iki tanesinin yıkılması sonucu doğal periyotlarda oluşan çok küçük değişimleri dahi algılayabilmiştir.

Her iki saha çalışmasının sonuçları birleştirildiğinde, bu ölçüm yönteminin hem bina için risk teşkil etmeyecek çok ufak hasarları, hem de dramatik düzeydeki hasarları tespit edebildiği görülmektedir. Buradan hareketle, binalar bu yöntemle izlendiği takdirde farklı seviyelerdeki hasarların (deprem sonrası hasarlar dahil) tespit edilebileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

6 GELECEK ÇALIŞMALAR VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başarılı olduğu ve ölçüm tekniğinin başarısını gösterdiği göz önünde bulundurularak sistemin gelişimi açısından aşağıdaki çalışmalara ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

GERÇEK BİNALARDA UYGULAMA: Çok sayıda bina üzerinden ortam titreşimi altında verilerin kaydedilmeye başlanması: Oluşmaya başlayacak veri tabanı ile sistemi ileriye götürmek ve yaşanacak sarsıntı ya da farklı hasar yaratıcı olaylar sonrasında sistemi kalibre etmek ve daha ileriye götürmek mümkün olacaktır. Bir deprem öncesi ve sonrası alınmış veriler çok değerli olduğundan, pilot uygulamanın deprem olasılığı yüksek 10 şehir seçilerek başlatılması uygun olacaktır.

DENEMELER VE YAZILIM MODÜLÜ: Bu çalışmaya benzer yıkım alanlarında, farklı hasar seviyesindeki binalar üzerinde çalışmaların devam ettirilmesiyle, bu analizi gerçek zamanlı ve daha net yargılarla gerçekleştirecek analiz ve yazılım modülünü geliştirmek mümkün olacaktır.

LABORATUVAR ÇALIŞMALARI: Bir üniversite laboratuvarında küçük ölçekli modeller üzerinde daha çok sayıdaki bir deney programının oluşturulmasıyla, ana çalışmayı destekler nitelikte daha kontrollü deneyler yaparak teorinin pratikteki uygulanabilirliğini ilerletmek mümkün olacaktır.

KURALLAR VE METODOLOJİ: Yine yukarıda çalışmaların katkısı ile sistemin uygulaması ile ilgili kurallar ve metodoloji bütünü oluşturulması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR:

Başta T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanımız Sayın Erdoğan Bayraktar, Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürü Sayın Vedad Gürgen ve Daire Başkanı Sayın Adnan Malkoç olmak üzere, proje başında itibaren İstanbul Kartal'da Emek-İş Blokları yıkım sahasında bu çalışmaya dahil olan ve değerli yardımlarını, görüşlerini esirgemeyen EGE NİTRO firması yöneticilerine teşekkürlerimizi sunarız.

7 KAYNAKLAR

- [1] Vitelmo V. Bertero, Fouad M. Bendimerad and Hareh C. Shah, "Fundamental Period of Reinforced Concrete Moment Resisting Frame Structures", The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Report No. 87, September 1988, 151 pp.
- [2] Hiroshi KOBAYASHI and Shigeki UNJOH, "DEVELOPMENT OF AN EARTHQUAKE DAMAGE DETECTION SYSTEM FOR BRIDGE STRUCTURES", Public Works Research Institute, JAPAN, pp 1-10.
- [3] Helen CROWLEY and Rui PINHO, "SIMPLIFIED EQUATIONS FOR ESTIMATING THE PERIOD OF VIBRATION OF EXISTING BUILDINGS", First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 1122.
- [4] Sameh S.F. Mehann, "Are theoretically calculated periods of vibration for skeletal structures error-free?", Earthquakes and Structures, Vol. 3, No. 1 (2012) 17-35.
- [5] Arthur C HEIDEBRECHT and Nove NAUMOSKI, "PERIODS OF REINFORCED CONCRETE FRAMES DURING NONLINEAR EARTHQUAKE RESPONSE", 12 WCEE, 200, Paper No: 208.
- [6] Paolo Ricci, Gerardo Mario Verderame, and Gaetano Manfredi, "Analytical investigation of elastic period of infilled RC MRF buildings", Engineering Structures 33 (2011) 308–319.
- [7] Alemdar Bayraktar, Ahmet Can Altunışik, and Mehmet Özcan, "Safety assessment of structures for near-field blast-induced ground excitations using operational modal analysis", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 39 (2012) 23–36.
- [8] Ahmet Can Altunışik, Alemdar Bayraktar, Barış Sevim and Şevket Ateş, "Ambient vibration based seismic evaluation of isolated Gülburnu highway bridge", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 31 (2011) 1496–1510.
- [9] Gökhan Osmancikli, Şenay Uçak, Fatma Nur Turan, Temel Türker and Alemdar Bayraktar, "Investigation of restoration effects on the dynamic characteristics of the Hagia Sophia bell-tower by ambient vibration test", Construction and Building Materials 29 (2012) 564–572.
- [10] Alemdar Bayraktar, Temel Türker, Ahmet Can Altunışik and Barış Sevim, "Evaluation of blast effects on reinforced concrete buildings considering Operational Modal Analysis results", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30 (2010) 310–319.
- [11] Onur Doğan, Özgür Anıl, S. Oğuzhan Akbaş, Erkan Kantar, R. Tuğrul Erdem, "The Effects of Blast-Induced Accelerations on Reinforced Concrete Structures", Elsevier Science, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 50, pp. 168-181, 2013.
- [12] Özgür Anıl, S. Oğuzhan Akbaş, Erkan Kantar, A. Cem Gel, "Vibration Measurement of Cooling System and Vulnerability Analysis with Finite Element Methods", Techno Press, Smart Structures and Systems, Vol. 11, No. 2, pp. 199-215, 2013. (21.5 Puan)

- [13] Farrar, C.R. ve Jauregui, D.A. (1998a). Comparative study of damage identification algorithms applied to a bridge: I, Experiment, *Smart Materials Structure*, 7, 704-719.
- [14] Farrar, C.R. ve Jauregui, D.A. (1998b). Comparative study of damage identification algorithms applied to a bridge: II. Numerical Study, *Smart Materials Structure*, 7, 720-731.
- [15] Sampaio, R.P.C., Maia, N.M.M. ve Silva, J.M.M. (1999). Damage detection using the frequency-response- function curvature method, *Journal of Sound and Vibration*, 226:5, 1029-1042.
- [16] Cooley, J.W., Tukey, J.W., *An Algorithm for the Machine Computation of Complex Fourier Series*, *Mathematics of Computation*, Vol. 19, pp. 297-301, April 1965.