

Titreşim Analizi Yöntemi ile Hasarlı ve Hasarsız Binaların Belirlenmesi

-ÖNERİLEN METODUN BAŞARISINI SINAMAK İÇİN YIKIM ALANINDA YAPILAN ÖLÇÜM ÇALIŞMASI
RAPORU- 19.08.2013

Raporu Hazırlayan:

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

SARP DİNÇER, MS (İnşaat Y. Mühendisi)

1 ÇALIŞMANIN AMACI

Bir deprem sonrasında binada gizli veya açık bir hasar oluşup oluşmadığına ya da bu hasarın ciddiyetine karar vermek çok güç ve zaman alıcı bir faaliyettir. Oysa yaşamsal önem taşımaktadır. Binalarda oluşan hasarlar sadece deprem sonucunda değil, etraftaki derin kazılar, tünel ve metro çalışmaları, patlatmalı inşaat faaliyetleri ya da yorulmaya bağlı olarak da zaman içinde oluşabilmektedir. Özellikle kritik yapılarda bu beklenmedik hasarları hızla tespit edebilecek bir ölçüm yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaca yönelik olarak binalarda titreşim ölçümüne dayalı bir çözüm geliştirilmiştir.

Bir binanın hakim salınım periyotundaki değişim, o binada yapısal olarak bir farklılık (genelde hasar, kimi zaman güçlendirme) oluştuğunu gösterir. Bu sonuç teorik ve deneysel olarak pek çok bilimsel çalışmada kanıtlanmıştır [1-12].

Bu teoriye dayalı olarak binaları 7/24 esasında takip ve gerçek zamanlı olarak analiz ederek, oluşacak gizli ya da açık hasarları saatler mertebesinde tespit edecek bir çözüm önerilmektedir.

Bu deneysel çalışmada ise amaç, önerilen ölçüm yöntemi ile gerçek binalarda ölçüm yaparak, hasarlı ve hasarsız durumlarının arasında karşılaştırma yapmak, hakim periyotları arasında oluşan bu farkın tespit edilip edilemeyeceğini görmektir.

Bu deney tamamen Türkiye’de geliştirilmiş sensör, veri toplama sistemi ve yazılımlardan oluşan bir sistemle gerçekleştirilmiştir.

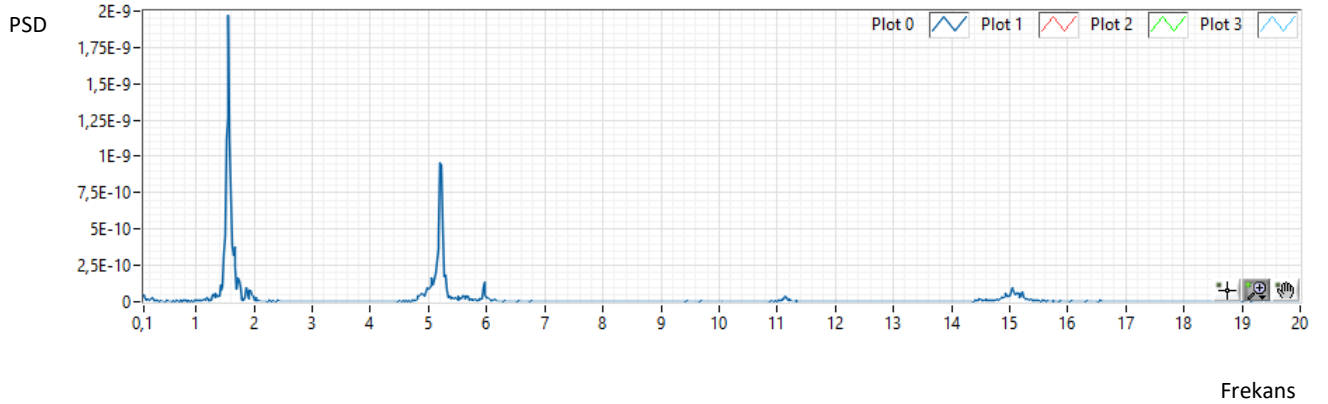


2 TEORİK VE PRATİK ALTYAPI, LİTERATÜR

Ortam titreşimi altında binaların modal analizlerinin yapılması, salınım modlarının, frekanslarının ve hakim periyotlarının bulunması inşaat mühendisliği alanında çok yenilikçi bir teknolojidir. Halen pek çok önde gelen yeni akademik araştırmanın konusunu oluşturmaktadır [1, 2, 4, 5, 7-12]. Asıl olarak 1900'lerin ortalarından itibaren ortaya çıkmış titreşim analizi, teknolojinin ilerlemesi ve mikro-g seviyesindeki ivmelerin ölçülebilir hale gelmesi ile 2000'lerin başında büyük bir hız kazanmıştır. Bu konunun pek çok boyutu olsa da bu çalışmada kullanılan kısmı şu şekilde özetlenebilir.

Teknolojinin ilerlemesi ile binalara ek bir sarsıntı uygulamaya gerek kalmaksızın ortam titreşimi altında yerleştirilecek sensörler ile saatler içinde binanın hakim periyotunu ölçmek mümkündür. Ortam titreşimi, rüzgar yükleri, taşıt araçlarının yarattığı titreşimler, küçük sismik kıpırtılar gibi etkenler tarafından sürekli oluşturulmaktadır.

Ölçümler mikro-g (yerçekimi ivmesinin milyonda biri) seviyesinde ölçüm yapabilen ivmeölçerler ile yapılmalıdır. Bu ölçümlerde kaydedilen ivme değerleri frekans tabanında incelendiğinde binanın karakteristiğini oluşturan imzası niteliğinde bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Binada gizli ya da açık bir hasar oluşmadıkça bu karakteristik hep aynı kalır. Aşağıdaki şekilde binanın imzası olarak adlandırılabilir bu frekans çözümlemesine bir örnek sunulmuştur. (Şekil-1)



Şekil-1- Binanın titreşim karakteristiği grafiği (Power Spectral Density)

Binada gizli ya da açık bir hasar oluştuğunda binanın yapısal davranış karakteristiklerini değişmesi ile frekans kümesindeki bu grafik ve modal frekanslar da değişir. Yapısal elemanlarda ya da onlara destek veren bileşenlerde oluşacak bir hasar, genelde binada rijitlik kaybı olarak ortaya çıkar. Zaman zaman yumuşama olarak da adlandırılabilen bu rijitlik kaybı ile binanın hakim periyodu genelde büyür. Modal frekanslarda ya da hakim salınım periyodunda oluşacak bu değişimin tespiti ile binanın hasarlı duruma geçtiği öngörülebilir.

Bu konu ile ilgili yapılmış pek çok teorik ve deneysel akademik çalışma literatürde mevcuttur [7-12]. İstenildiği takdirde sunulacaktır.

3 ÇALIŞMANIN KAPSAMI VE METODOLOJİ

Bu çalışmada ise aynı tip projelere sahip, yan yana duran, aynı malzeme karakteristiğine sahip, biri hasar almış, diğeri ise hasar almamış iki binadan bu rijitlik kaybının tespiti amacıyla ölçümler alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

DENEYİN YERİ: Test sahası olarak İstanbul Kartal'da bulunan yıkımına karar verilmiş Emek-İş Blokları seçilmiştir. Emek iş Blokları 13 katlı aynı tip proje ile inşa edilmiş bir dizi apartmandan oluşmaktadır. Bu blokların çoğunluğunda patlatmalı yıkım tekniği uygulanacaktır. Sitenin genel görüntüsü Şekil-2'de sunulmuştur.



Şekil-2- Deneysel çalışmanın yürütüldüğü Emek-İş Blokları Sitesi

İNCELENEN BİNALAR: İlk planlama olarak aynı bina üzerinden yumuşatma çalışmaları öncesi ve sonrası veri olarak aradaki farkın incelenmesi düşünülmüştür. Ancak zamanlama ve koordinasyon nedeniyle bu mümkün olamamıştır. Yıkım çalışmasını yürütmekte olan firma yetkilileri, gerek riskler gerekse zaman sıkışıklığı nedeniyle daha fazla zayıflatma çalışması yapılamayacağını beyan etmişlerdir.

Bunun üzerine binaların aynı tip projelere sahip olduğu, birbirine çok yakın inşa edildiği ve yönlerinin de aynı olduğu göz önüne alınarak yumuşatma öncesi titreşim karakteristiklerinin aynı ya da çok yakın olacağı varsayılmıştır. Bir tanesi yumuşatma çalışmasına tabii tutulmuş diğeri ise tutulmamış iki çok yakın komşu binanın karşılaştırılmasına karar verilmiştir.

Seçilen bu binalar aşağıda Şekil-3'te gösterilen binalardır. Bu binalardan bir tanesinde minimum hasar bulunmaktadır. Resimde sol tarafta görünen bu binada dış ve iç dolgu duvarlar büyük oranda yerinde durmaktadır. Sadece iç kısımdaki kapı, pencere gibi mimari aksamların söküldüğü tespit edilmiştir. Diğer bina ise deprem hasarı almış binayı temsil edecek yumuşatma çalışması yapılmış bina olarak belirlenmiştir. Resimde sağ tarafta yer alan bu binanın en alt 2 katında tüm dolgu duvarlar kaldırılmıştır. Bazı kolonlarında da zayıflatma çalışması yürütülmüştür. Üst katlarında da bazı iç dolgu duvarların kaldırıldığı görülmüştür.

Az hasarlı bina referans olarak kabul edileceğinden raporun bundan sonraki kısmında **REF** olarak adlandırılacaktır. Ağır hasar aldırılmış bina ise **TEST** olarak adlandırılacaktır.



Şekil-3- Aralarında karşılaştırma yapılmasına karar verilen 2 bina (Soldaki-minimum hasarlı, Sağdaki – alt 2 katta önemli miktarda yumuşatma çalışması yapılmış)



Şekil-4- Aralarında karşılaştırma yapılmasına karar verilen 2 bina (Soldaki-minimum hasarlı, Sağdaki – alt 2 katta önemli miktarda yumuşatma çalışması yapılmış)



Şekil-5- Aralarında karşılaştırma yapılmasına karar verilen 2 bina – Alt katlarının yakın çekimi

SENSÖR VE ÖLÇÜM CİHAZININ YERLEŞİMİ: Bina seçimi yapıldıktan sonra binaların ön incelemesi yapılmıştır. Binalarda 6. katın üzerine çıkmanın hayati risk taşıyacağı yıkım firması yetkilileri tarafından bildirildiğinden her 2 binada da 6. katta bir ölçüm noktası seçilmiştir. Her iki binada seçilen ölçüm noktası konum ve planda yerleşim itibarıyla tam olarak aynı noktada yer almaktadır. Ölçüm noktasının seçimi yapılırken merdiven konisinin aksından mümkün olduğunca uzaklaşmaya çalışılmıştır. Döşeme üzerinde bir nokta seçilmiştir. Binalarda matkap çalıştırılması riskli olacağından silikon ile sensör yere yapıştırılması metodu tercih edilmiştir. Silikonun yere daha iyi yapışması için seçilen noktanın taş kaplama olmasına dikkat edilmiştir. Sönümleyici ve yanıtıcı niteliğe sahip parke gibi kaplama malzemelerinden kaçınılmıştır. Sensörlerin yerleşim yeri aşağıdaki fotoğraflarda gösterilmiştir. (Şekil-6)



Şekil-6- Sensör yerleşim noktaları, Solda referans REF binası, Sağda TEST binası, her iki binada sensörler 6.kata, kat planı üzerinde aynı noktalara, ana eksenine GÜNEY yönüne bakacak şekilde yerleştirilmiştir.

Sensörlerin yerleştirilmesi ve ölçüm esnasında çekilen diğer fotoğraflar aşağıda sunulmaktadır. (Şekil-7-8-9-10)



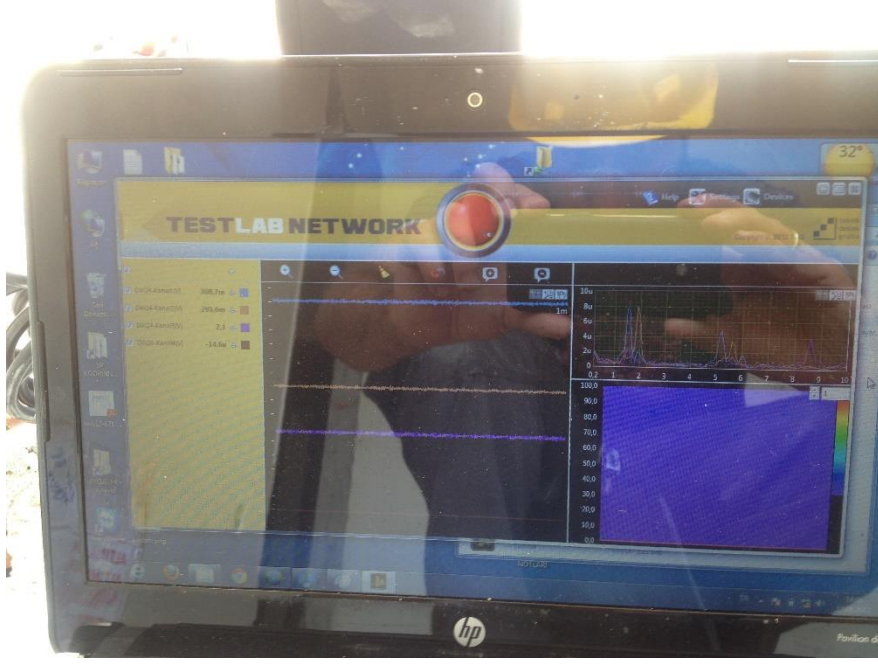
Şekil-7- Sensörlerin silikonla yapıştırılması



Şekil-8- Sensörlerin silikonla yapıştırılması



Şekil-9- Sensörlerin ölçüm öncesi son yerleşimi



Şekil-10- Ölçüm anında 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 Sirmatel ve Sarp Dinçer'den oluşmuştur.

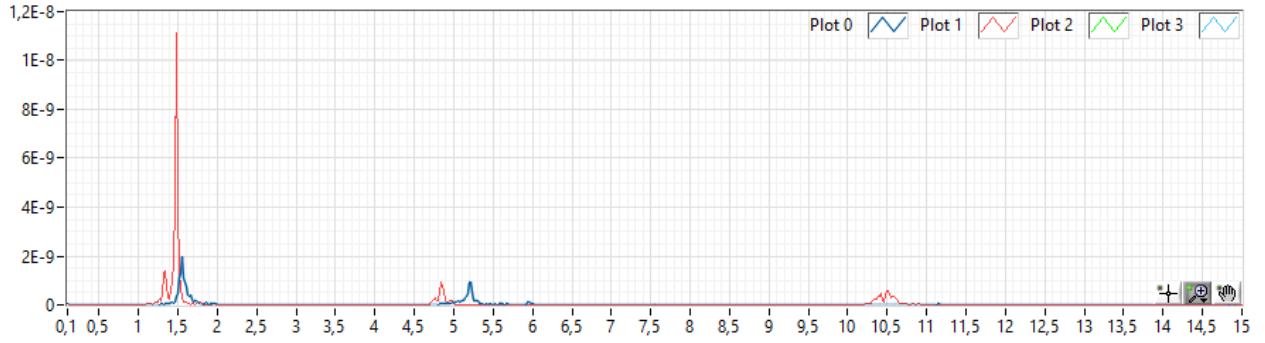
ÖLÇÜM PROSEDÜRÜ: Ölçüm 2 aşamada gerçekleşmiştir. Öncelikle cihazlar silikon ile yapıştırılmadan önce her 2 binadan 5'er dakika uzunluğunda kısa deneme ölçümleri alınmıştır. Daha sonra sensör öncelikle zayıflatma çalışması görmemiş REF binasında belirtilen konuma yapıştırılmıştır, 1 saat ölçüm alınmıştır. Daha sonra buradan sökülerek TEST binasına taşınmış yine aynı noktaya silikon ile yapıştırılarak yerleştirilmiş ve 1 saat uzunluğunda ölçüm de buradan alınmıştır. Gerek yıkım çalışmasının son günleri olması gerekse hayati riskler nedeniyle daha uzun ölçüm alınamamıştır.

4 VERİLERİN ANALİZİ VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

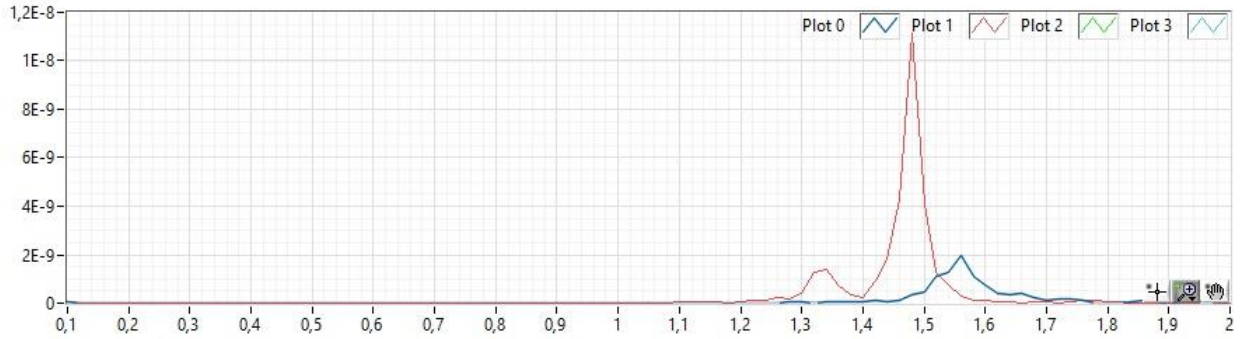
REF ve TEST binalarından alınan kayıtlar TESTLAB-Analyze&Report Yazılımı aracılığı ile analiz edilmiştir. Oldukça çarpıcı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Veriler frekans kümesinde analiz edilerek hakim periyotlar hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

KUZEY-GÜNEY EKSENİ:

Kuzey Güney doğrultusunda alınan veriler FFT'ye tabii tutulduktan sonra frekans bileşenleri ortaya çıkarılmıştır. Grafikler her eksen için 2 aşamada sunulmaktadır. i)Tüm modların görülebileceği 15HZ'lik spektrum ve ii) özellikle bu tür bir çalışmada daha önemli olan binanın ana hakim periyotunun daha detaylı gösterildiği 2Hz'lik spektrum.



Şekil-11- Kuzey Güney / Power Spectral Density(PSD) Tüm Modlar / Mavi REF Binası /Kırmızı TEST Binası



Şekil-12- Kuzey Güney / Power Spectral Density(PSD) İlk Mod / Mavi REF Binası /Kırmızı TEST Binası

REF Binası Kuzey Güney 1. Mod: 1,56 Hz

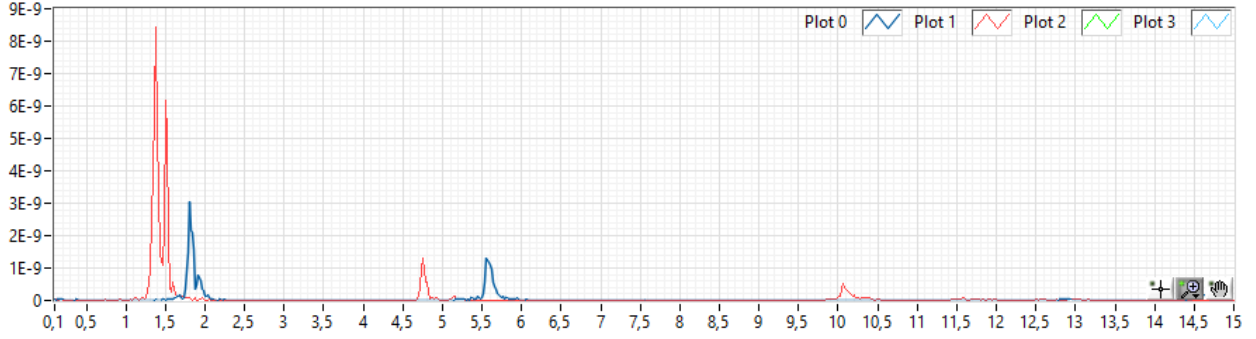
REF Binası Kuzey Güney Hakim Periyot: 0,64 sn

TEST Binası Kuzey Güney 1. Mod: 1,48 Hz

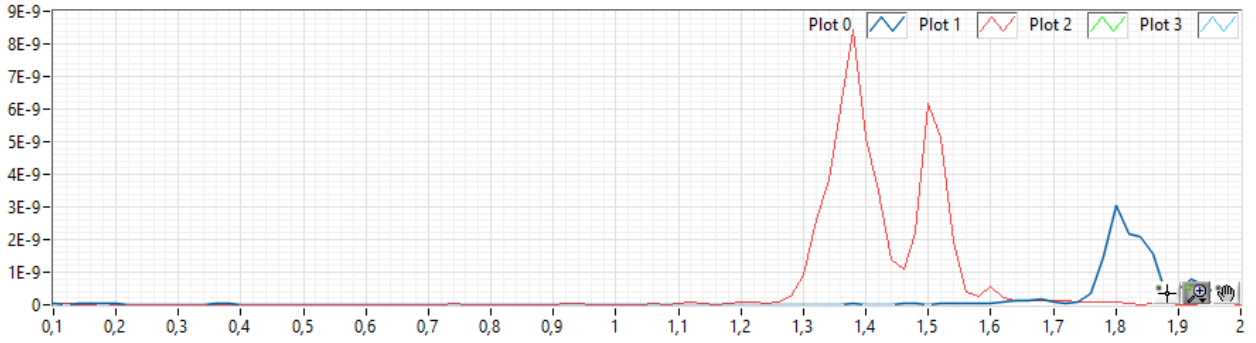
TEST Binası Kuzey Güney Hakim Periyot: 0,68 sn

Kuzey Güney Ekseni Hakim Periyot Değişimi: % 6,25

DOĞU-BATI EKSENİ:



Şekil-13- Doğu Batı / Power Spectral Density(PSD) Tüm Modlar / Mavi REF Binasi / Kırmızı TEST Binasi



Şekil-14- Doğu Batı / Power Spectral Density(PSD) İlk Mod / Mavi REF Binasi / Kırmızı TEST Binasi

REF Binasi Doğu Batı 1. Mod: 1,80 Hz

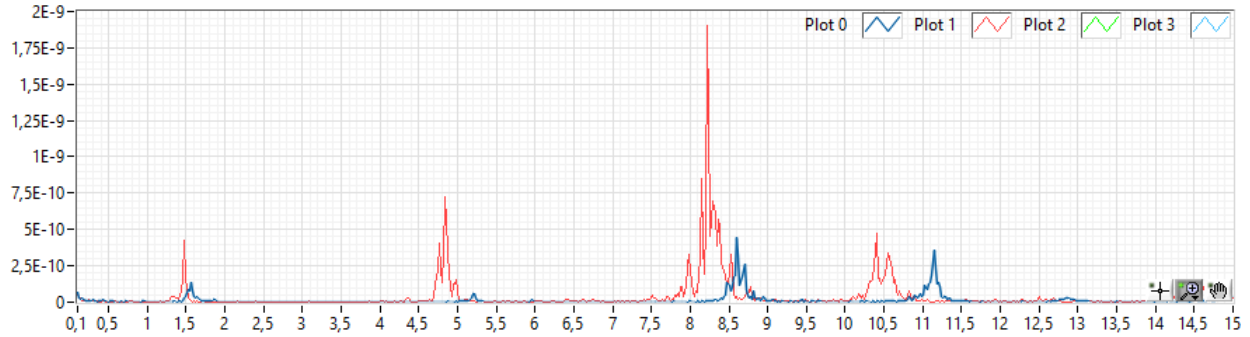
REF Binasi Doğu Batı Hakim Periyot: 0,55 sn

TEST Binasi Doğu Batı 1. Mod: 1,38 Hz

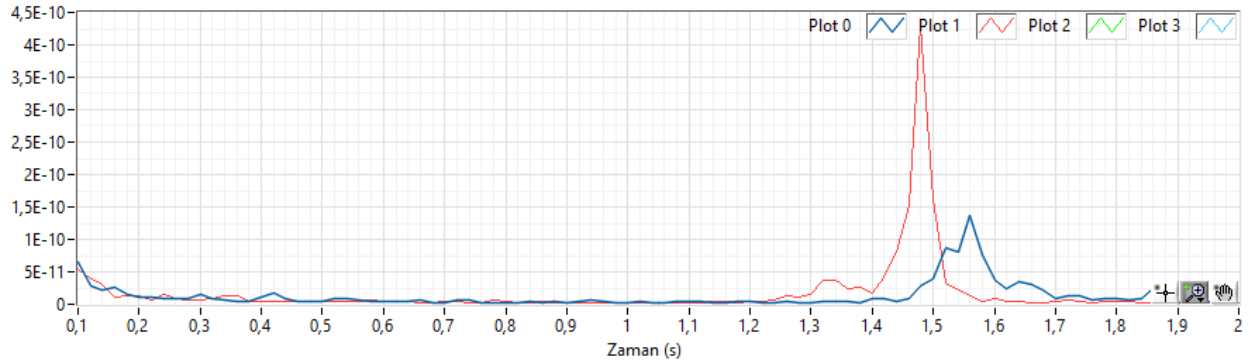
TEST Binasi Doğu Batı Hakim Periyot: 0,73 sn

Kuzey Güney Eksenine Hakim Periyot Değişimi: % 32,73

DÜŞEY EKSEN(Z):



Şekil-15- Düşey / Power Spectral Density(PSD) Tüm Modlar / Mavi REF Binası / Kırmızı TEST Binası



Şekil-16- Düşey / Power Spectral Density(PSD) İlk Mod / Mavi REF Binası / Kırmızı TEST Binası

SONUÇLAR:

Sonuçlar ile ilgili özet tablo aşağıda Tablo-1'de bulunabilir. Aşağıda ortaya çıkan sonuçlar listelenmiştir:

1. Her üç ekseninde de (Kuzey-Güney, Doğu-Batı, Düşey) frekans analizinde hasarlı bina ile hasarsız bina arasında ciddi farklar gözlemlenmiştir. Her üçünde de TEST binasının periyodunda uzama tespit edilmiştir. Bu da beklenti ve test öncesi kurulan teori ile uyumludur.
2. En çarpıcı fark Doğu-Batı ekseninde görülmüştür. Doğu-Batı ekseninde hakim salınım periyodu hasarsız bina da(REF) 0,55 sn, hasarlı binada(TEST) ise 0,73 sn olarak ölçülmüştür. Aradaki fark %33'lük bir farka denk gelmektedir. Bu da ciddi bir rijitlik kaybını göstermektedir.
3. Güney Kuzey ekseninde hakim salınım periyodu hasarsız bina da(REF) 0,64, Hasarlı binada ise(TEST) 0,68 Olarak ölçülmüştür. Aradaki fark %6'lık bir farka denk gelmektedir. Bu sonuç yine

bir değişim ve rijitlik kaybına işaret etmekle birlikte kayıp Doğu-Batı eksenini ile karşılaştırıldığında çok daha azdır.

4. Test ve yıkım sahasında yıkım firması yetkililerinden ölçüm sonrası zayıflatma çalışmaları ile ilgili kısa bilgi edinilmiştir. Bu bilgilerde zayıflatma çalışmasının ana hedefinin Doğu-Batı ekseninde %30 oranında zayıflatma, Kuzey Güney ekseninde ise zayıflatma yapmamak ya da en azda tutmak olduğu öğrenilmiştir. Analiz sonunda elde edilen sonuçlar yıkım firmasının bu hedefleri ile de uyumlu ve birbirini doğrular niteliktedir.
5. Düşey ekseninde de gerek hakim periyot gerekse binanın frekans kümesindeki tepkisinde büyük farklar oluşmuştur.
6. Hakim periyota ek olarak tüm eksenlerde gerek 2.modlarda, gerek genel PSD analizlerinde, gerekse 1. Mod ile takip eden modlar arasında grafiğin altında kalan alanda çok büyük değişimler kolaylıkla gözlemlenebilmektedir. Bu da zayıflatma çalışmaları ile yapısal karakteristikleri değiştirilmiş bir binanın bu ölçüm yöntemi ile her şekilde kolaylıkla ayırt edilebileceğini göstermektedir.

EKSEN	DOĞU-BATI		KUZEY-GÜNEY	
	1.MOD FREKANS (Hz)	HAKİM PERİYOT (sn)	1.MOD FREKANS (Hz)	HAKİM PERİYOT (sn)
REF BİNASI	1,80	0,55	1,56	0,64
TEST BİNASI	1,38	0,73	1,48	0,68
DEĞİŞİMİN ANLAMAMI	TEST BİNASINDA CİDDİ RİJİTLİK KAYBI / YUMUŞAMA		TEST BİNASINDA RİJİTLİK KAYBI / YUMUŞAMA	
DEĞİŞİM ORANI (%)	33		6	

Tablo 1 – Sonuç Özet Tablosu

5 SONUÇ

Bu deneysel çalışmada amaç, önerilen ölçüm yöntemi ile gerçek binalarda ölçüm yaparak, hasarlı ve hasarsız durumlarının arasında karşılaştırma yapmak, hakim periyotları arasında oluşan bu farkın tespit edilip edilemeyeceğini görmektir.

Önerilen ölçüm tekniğın (Yapısal Sağlık Takibi) başarılı olup olmadığı bir saha testi ile denenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Bu ölçüm tekniği ve analiz yöntemi ile zayıflatılmış ve zayıflatılmamış bina arasındaki rijitlik farklı çok net olarak tespit edilmiş, zayıflatılan binanın rijitliğini yitirdiği (yumuşadığı) sayısal olarak ortaya çıkmıştır.
2. Bu nedenle binanın imzası niteliğindeki bu değişimin sürekli takibi ile bir binada gizli ya da açık yapısal hasarlar oluştuğunu tespit edebilmek mümkün olabilecektir.
3. Binanın birbirine dik 2 ekseninde çok farklı oranlarda rijitlik kaybı tespit edilmiştir. Bu sonucun binada çalışmakta olan yıkım ekibinin teorik hesabı ve öngörülerini ile üst düzeyde örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, bu ölçüm tekniği ile ortaya çıkan sonuçların sadece hasar oluşup oluşmadığını değil, yumuşamanın miktarını da ortaya çıkarabileceğini göstermiştir.
4. Genel olarak, önerilen ölçüm tekniğinin deneysel saha çalışması sonucunda başarılı olduğu ve aranan farkları ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir.

6 EK KAZANIMLAR

Yapılan çalışma sırasında bu ölçüm yönteminin önerilen 7/24 Yapısal Sağlık Takibi çözümüne ek bir takım kazanımlar ortaya çıkarabileceği gözlemlenmiştir. Bunlar aşağıda listelenmiştir:

1. Özellikle patlatmalı yıkım çalışması yapılacak binalarda yıkım öncesi yumuşatma faaliyetleri yürütülmektedir. Teorik hesaba dayalı olarak yapılan bu yumuşatma faaliyetleri sırasında aşama aşama önerilen cihazlar ile ölçüm alınması, yumuşatma çalışmasının tam istendiği oranda yapılmasına katkıda bulunacaktır. Böylelikle hem risk yaratabilecek aşırı yumuşatma, hem de bu çalışma için harcanacak ekstra maliyet ortadan kaldırılabilir. Test esnasında yıkım ekibi ile yapılan karşılıklı değerlendirmelerde bu sonuca ulaşılmıştır.
2. Güçlendirme ve onarım yapılacak binalarda güçlendirme öncesi ve sonrası ölçümler yapıldığında hem güçlendirme projesinin daha doğru oluşturulması sağlanabilecek hem de çalışma sonrası istenen rijitlik kazanımının sağlanıp sağlanmadığı test edilebilecektir.
3. Ana ölçüm öncesi alınan acele 5 dakikalık test sonuçları dahi binanın hakim periyotu ve dolayısıyla rijitliği hakkında doğruya yakın sonuçlar üretmiştir. Bu da göstermektedir ki, tüm binalarda 7/24 takip söz konusu olmasa bile kalan binaların çok hızlı bir şekilde ölçülerek ölçüm sonuçlarının bir veri tabanında saklanması, gelecekteki deprem ya da farklı olaylar sonucundaki hasarların erken tespitinde çok önemli olabilecektir.

7 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.

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 sayıda ve daha düşük maliyetli bir deney programının oluşturulmasıyla 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, Genel Müdür Yrd. Sn. Uğur TUTAR'a, yıkım işçilerine, ve sahada yıkım çalışmalarını yürüten İstanbul Üniversitesi Öğretim Üyesi Sn. Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir KARADOĞAN'a teşekkürlerimizi sunarız.

8 KAYNAKLAR

[1] Vitelmo V. Bertero, Fouad M. Bendimerad and Haresh 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 Altunişik, 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 Altunişik, 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 Osmançikli, 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 Altunişik 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)