

ULUSAL 8. YAPI MEKANİĞİ LABORATUVARLARI ÇALIŞTAYI

Eskişehir Teknik Üniversitesi



EDİTÖRLER

Prof. Dr. Sinan ALTIN
Prof. Dr. Gökhan ÖZDEMİR



**ULUSAL
8. YAPI MEKANIĞI
LABORATUVARLARI
ÇALIŞTAYI**

EDİTÖRLER
Sinan ALTIN
Gökhan ÖZDEMİR

14-15 Ekim 2022
Eskişehir Teknik Üniversitesi
ESKİŞEHİR

BETONARME YAPILARDA HASAR, ONARIM VE GÜÇLENDİRMELERİN DİNAMİK DAVRANIŞA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DAMAGE, REPAIR AND STRENGTHENING ON DYNAMIC BEHAVIOR IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Mahmud Sami DÖNDÜREN¹ ve Abdulhamit NAKİPOĞLU²

ÖZET

Bu çalışmada, deprem hasarına maruz kalmış betonarme yapıların hasar, onarım ve güçlendirme durumlarının yapıların dinamik davranışına ne ölçüde etki ettiği araştırılacak ve uygulanan iyileştirmelerin performansları irdelenecektir. Bu amaçla 1/3 ölçekli 2 katlı ve tek açıklıklı 3 boyutlu 3 adet betonarme çerçevede hasarsız durum, birleşim bölgelerinden hasarlı durum, onarılmış durum ve dolgu duvarlarla, düzleme içi ve düzleme bitişik perde duvarlarla ve X çelik çaprazlarla güçlendirilmiş durumlar test edilecek ve araştırılacaktır. Numunelere sarsma tablası ile zorlanmış titreşime maruz bırakılacaktır. Numunelere her durumda aynı şiddette Kobe depreminin 1/2 ivme ölçekli simülasyonu uygulanacaktır. Titreşim deneyleri esnasında numunelerde kat hizalarından ivme ve deplasman talepleri ölçülecektir. Geleneksel deneysel modal analiz ile frekans davranış fonksiyonları üzerinden doğal titreşim frekansları, sönüm oranları ve mod şekilleri belirlenecektir. Ayrıca yük-deplasman histeresis eğrileri, zarf eğrileri, enerji tüketimi ve rijitlik değerleri incelenecektir. Sonuçta yapılarda her farklı durumda dinamik davranış elde edilecek, hasarın, onarım ve güçlendirmelerin davranışa etkisi karşılaştırılarak yorumlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Deneysel modal analiz, Deprem hasarları, Dinamik davranış, Sarsma tablası

ABSTRACT

In this study, the effect of damage, repair and strengthening conditions of reinforced concrete structures exposed to earthquake damage on the dynamic behavior of the structures. The performances of the applied improvements will be examined. For this purpose, 3 dimensional 1/3 scaled 2 story-2 span 3 samples' undamaged condition, joint damage condition, repaired condition and reinforced with infill walls, with shear walls inside of plane and out of plane, and with X steel braces will be tested and investigated. The samples will be subjected to forced vibration by shaking table. 1/2 acceleration scaled simulation of the Kobe earthquake in all conditions will be applied to the samples. During the vibration tests, acceleration and displacement demands will be measured from the story levels of the samples. By using experimental modal analysis, natural frequencies, damping ratios and mode shapes will be determined through frequency response functions. In addition, load-displacement hysteresis curves, envelope curves, energy consumption and stiffness values will be examined. As a result, the dynamic behavior of the structures in each condition will be obtained and the effects of damage, repair and strengthening on the behavior will be compared and interpreted.

Keywords, Experimental modal analysis, Earthquake damages, Dynamic behavior, Shaking table,

¹ Prof. Dr., Konya Tek. Üni., Müh. ve Doğ. Bil. Fak., İnşaat Müh. Böl., KONYA, msdonduren@ktun.edu.tr

² Arş. Gör., Konya Tek. Üni., Müh. ve Doğ. Bil. Fak., İnşaat Müh. Böl., KONYA, anakipoglu@ktun.edu.tr

GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı ülkemiz için oldukça hassas bir konudur. Depremler yapılara etkiyen dinamik yüklerin başında gelir. Yapılarda, dinamik yükler, statik yüklere göre çok daha büyük tepkilere sebep olmakta ve büyük iç kuvvetler ve yer değiştirmeler yaratmaktadır. Bu nedenle sistemlerin tasarım aşamasında dinamik yük durumu gerçek haliyle mutlaka dikkate alınmalıdır. Ancak, deprem, rüzgâr vb. dinamik etkiler, çözümlerinin karmaşıklığından dolayı genellikle basitleştirilmiş eşdeğer statik çözüm yöntemleriyle incelenmektedir. Bu yöntemler yapıların dinamik etkiler altındaki gerçek performansını tam anlamıyla gösterememektedir.

Ülkemiz, her yıl büyük küçük ortalama 20 bin depreme maruz kaldığı için adeta doğal bir deprem laboratuvarı niteliğindedir. Bu depremlerden bazıları yapılarda hasara sebep olmaktadır. Bu hasarlar yapının depreme ne kadar dayanıklı tasarlandığı ile de alakalıdır. Hasar görmüş yapılar bazı durumlarda, onarım ve/veya güçlendirme yapılmadan yeni sarsıntılara maruz kalmaktadır. Kimi zaman bu sarsıntılar artçı bir deprem olurken kimi zaman da yeni bir ana deprem olmaktadır. Hasarlı bir yapıda depreme karşı direnç önemli miktarda azalmış olacak ve yeni bir sarsıntının etkisiyle yapı göçme durumuna bile geçebilecektir.

Bu çalışmada; yapılarda deprem sonrasında meydana gelen hasara bağlı ve hasar sonrası uygulanan onarım ve güçlendirmelere bağlı etkiler irdelenecektir. Deprem yüklemesinin gerçek haliyle ele alınması için araştırma dinamik tabanlı olacaktır. Bu amaçla laboratuvar ortamında sarsma tablası vasıtasıyla zorlanmış titreşim deneyleri üzerinden deneysel modal analiz yürütülecektir. Çalışmanın öncelikli amacı; betonarme model yapılarda hasar, onarım ve güçlendirmelerin dinamik davranış üzerindeki etkisinin ve iyileştirme tekniklerinin dinamik açıdan verimliliğinin incelenmesidir.

Betonarme yapılarda titreşim deneyleri/modal analiz üzerine son yıllarda yapılmış bazı çalışmalar şu şekildedir. Musiał (2012) yaptığı çalışmada, betonarme kirişlerde statik ve dinamik eğilme rijitliklerini deneysel yollarla belirleyip karşılaştırmıştır. Operasyonel modal analiz yöntemi uygulanmıştır. Sonuçta statik ve dinamik karakteristikler arasında ciddi farklılıklar gözlenmiştir. Yousefianmoghadam vd. (2015), yaptıkları çalışmada 2 katlı betonarme bir binanın farklı hasar durumlarındaki dinamik davranışını belirlemiştir. Shin vd. (2016), çalışmalarında betonarme çerçevelerde FRP mantolama ile güçlendirilmiş kolonların sistemin dinamik davranışına etkisini incelemiştir. Geleneksel deneysel modal analiz ile zorlanmış titreşime uygulanmıştır. Sonuçlar FRP mantolamanın sistemin mukavemetini, rijitliğini ve sünekliğini artırdığını göstermektedir. Altunışık vd. (2018), yaptıkları çalışmada betonarme çerçeve modelin dinamik karakteristiklerini belirlemiştir. Hasarsız, hasarlı, tamir edilmiş ve güçlendirilmiş durumlar incelenmiştir. Sonuçlar doğal titreşim frekanslarının hasardan dolayı ciddi miktarda azaldığını, ancak güçlendirilmiş ile hasarsız durumdaki değerlere oldukça yaklaşıldığını göstermiştir. Hüsem vd. (2018), kompozit kolon ve çelik kiriş birleşimlerinde hasarın dinamik davranışa etkisini araştırmışlardır. Çalışmada ortamsal titreşimlerin kullanılarak operasyonel modal analiz yapılmıştır. Sonuçta doğal titreşim frekanslarında hasarın etkisinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Beskhyroun vd. (2020), çalışmalarında farklı titreşim testleri ile 13 katlı mevcut betonarme bir binanın dinamik davranışını belirlemiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada 1/3 ölçeğinde 2 katlı tek açıklıklı 3 boyutlu 3 adet çerçeve numunesinin hasarsız, hasarlı, onarılmış ve güçlendirilmiş durumları incelenecektir. Deneylerde numuneler sarsma tablası vasıtasıyla zorlanmış titreşime maruz bırakılacaktır. Titreşim deneylerinden elde edilecek ivme-zaman, yük-zaman verileri kullanılarak geleneksel deneysel modal analiz yöntemiyle numunelerde her durum için dinamik parametreler belirlenerek yapıların dinamik davranışı irdelenecektir. Belirlenecek dinamik parametreler; doğal titreşim frekansları, sönüm oranları ve mod şekilleridir. Aynı zamanda dinamik yükleme esnasında numunelerde kat hizalarından LVDT cihazları vasıtasıyla deplasman-zaman değerleri elde edilecektir.

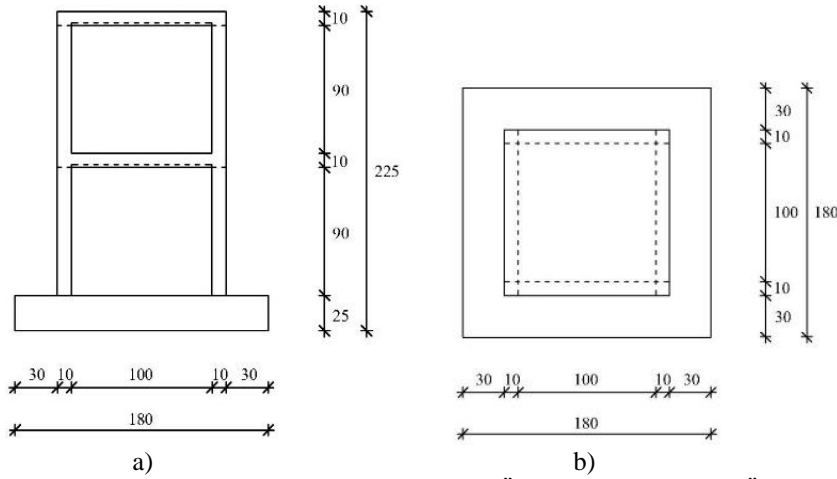
İlk önce hasarsız durum için deney yapılacak, ölçümler ve hesaplar tamamlandıktan sonra sistemlerin dinamik davranışları belirlenecektir. Ardından çerçevelerde olası deprem hasarı oluşturulacaktır. Hasarlı numune için titreşim testi tekrardan yürütülecek ve hasarın dinamik açıdan yapıya etkisi

görülmüş olacaktır. Devamında yapı üzerindeki hasarlar onarılacak ve tekrar aynı titreşime maruz bırakılacaktır. Bu şekilde onarımın yapıyı ne ölçüde ilk haline döndürdüğü incelenecektir. Son deneylerde ise, numunelerin 3 farklı şekilde güçlendirilmesi yapılacak ve aynı şekilde yüklenecektir. Böylece güçlendirmelerin dinamik davranışa katkısı görülmüş olacaktır. Bu aşamada çerçevelerde; düzlem içi perdeler, düzleme bitişik perdeler ve çelik çaprazlarla güçlendirme yapılacaktır. Ayrıca tam bir güçlendirme yöntemi olmasa da çerçevelere dolgu duvar eklenmesi ile de bir başka iyileştirme yapılacak ve duvar varlığının dinamik davranış üzerindeki etkisi görülmüş olacaktır.

Yapı ve Numuneler

Yapıların taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Numuneler ilk hallerinde dolgu duvarsız boş çerçeveler olarak imal edilecektir. Burada boş çerçevelerin kullanılmasının öncelikli amacı dolgu duvarların dinamik özelliklere etkisini görebilmektir ve ayrıca ticari, estetik vb. birçok sebepten dolayı dolgu duvarların olmadığı veya kaldırıldığı binaların temsil edilmesi amaçlanmıştır.

Çerçeve numunelerinde ülkemiz yapı stoğunda sıkça karşılaşılan bazı olumsuzluklar özellikle oluşturulacak olup bunlardan biri kolonların kirişlerden güçlü olması ilkesine uyulmayacak olmasıdır. Kolon enkesit boyutları 10x10 cm, kiriş enkesitleri de aynı şekilde 10x10 cm olacaktır. Katlarda 8 cm kalınlığında plak döşemeler teşkil edilecektir. Numunelerin temelleri 180x180x25 cm boyutlarında kirişsiz radye şeklinde imal edilecektir. Kat yükseklikleri her katta 1m, döşemelerde her iki doğrultuda da net açıklıklar 1m'dir. Ön ve yan görünüşler birebir aynıdır. Şekil 1'de numunelerin cm cinsinden boyutları ve görünüşleri verilmiştir.



Şekil 1. Numunelerin boyutları ve görünüşleri; a) Ön ve yan görünüş, b) Üst görünüş

Malzeme

Mevcut yapı stoğunun durumu düşünülerek, $f_{ck}=16\text{MPa}$ basınç dayanımına sahip beton kullanımı öngörülmektedir. Enine ve boyuna olmak üzere yerleştirilecek tüm donatılar B420C nervürlü çeliğinden olacaktır. Kolonlarda $4\Phi 8$, kirişlerde altta $2\Phi 8$ ve üstte $2\Phi 8$ olmak üzere toplamda yine $4\Phi 8$ düz boyuna donatı kullanılacaktır. Kolon ve kirişlerin tamamında enine donatı olarak $\Phi 6/100\text{mm}$ etriye kullanılacaktır.

Döşemelerde altta ve üstte 6mm donatı çapında 150x150 mm aralıklı hasır donatı kullanılacaktır. Temele ise her iki doğrultuda altta ve üstte $\Phi 12/190$ mm düz donatı yerleştirilecektir. Numunelerin x ve y doğrultularında boyutları, donatı düzenleri ve detayları aynıdır.

Çerçevelerin Hasar, Onarım, Güçlendirme Durumları ve Deney Planı

1. Hasarsız durum: betonarme çerçeveler bu durumda hasarsız ve boş haldedir. 1. durum bütün numuneler için genel referans olacaktır.

2. Hasarlı durum: deprem etkisinde betonarme yapılarda en kritik bölgelerden olan düğüm bölgeleri genellikle hasar gördüğü için çerçeve numuneler kolon-kiriş ve kolon-temel birleşim

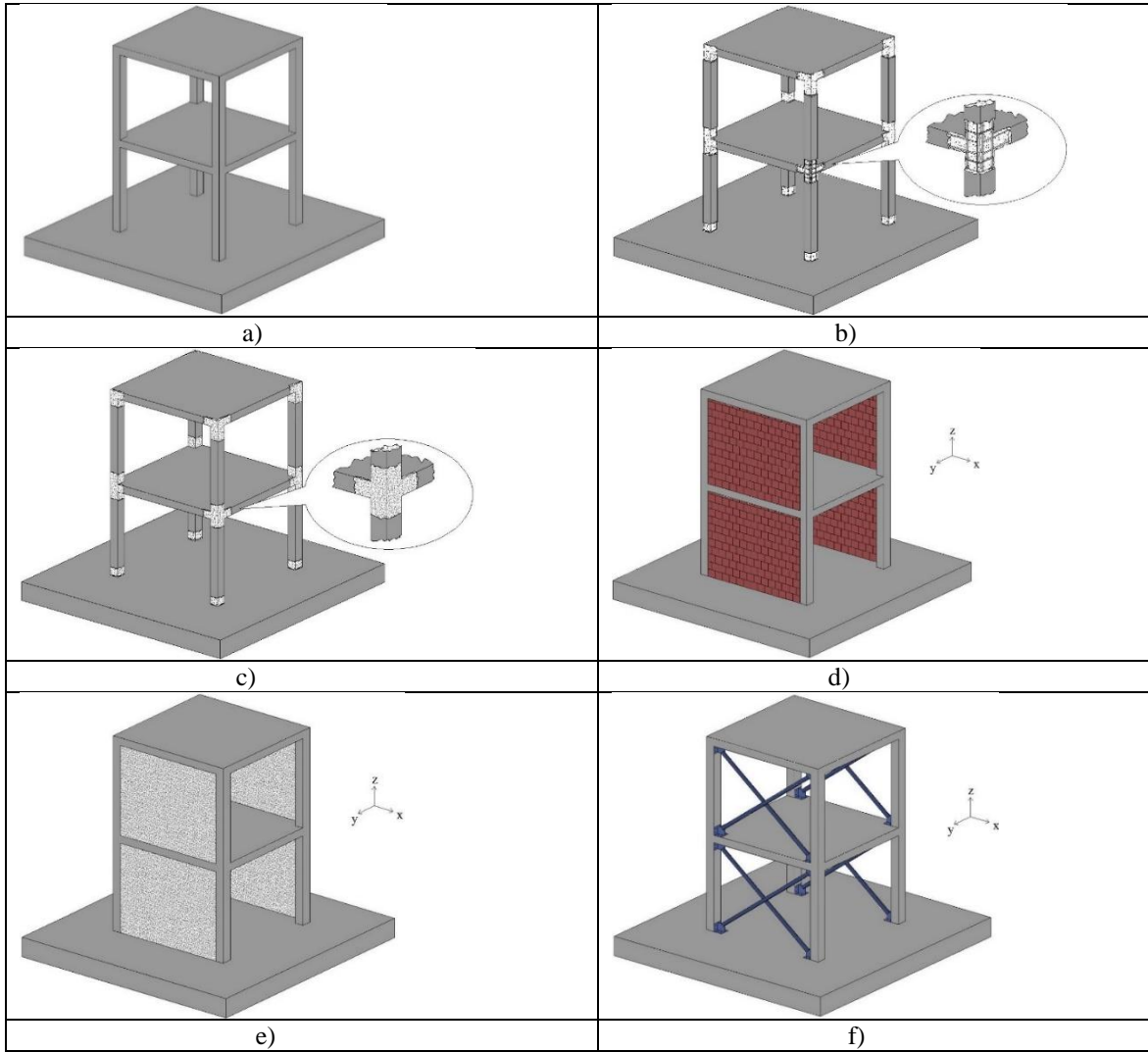
bölgelerinden hasarlandırılacaktır. Bu amaçla 1. durumdaki hasarsız boş çerçevelerin 2. durum için düğüm bölgelerindeki beton örtüsü kırılacak ve donatıları açığa çıkarılacaktır.

3. Onarılmış durum: 2. durumda hasarlandırılan çerçeveler 3. durumda beton örtüsünün tamiri yapılarak onarılacaktır.

4. Güçlendirilmiş durum: Bu durumda 3. durumda onarılmış olan çerçeveler farklı tekniklerle güçlendirilecektir. Güçlendirmeler tek doğrultuda ve sistemsel bazda yapılacaktır.

1. numune öncelikle, x eksenı doğrultusunda dolgu duvarlarla iyileştirilip titreşim deneylerine tabi tutulacaktır. Ardından 1. numunede dolgu duvarlar kaldırılacak ve numune düzlem içi betonarme perde duvarlarla güçlendirilerek deneyi yapılacaktır. 2. numune ise düzleme bitişik betonarme perde duvarlarla güçlendirilecektir. 3. numunenin güçlendirilme aşamasında St37 çeliğinden imal edilmiş olan L köşebentler X çapraz şeklinde kullanılacaktır. Betonarme çerçeveler ile çelik profillerin bağlantısı için çelik plakalar hazırlanacaktır. Bu plakalar ankraj bulonlarıyla betona ankrajlanacaktır. Köşebentler de plakalara kaynaklanacaktır.

Sonuç olarak toplamda 7 farklı durumda zorlanmış titreşim deneyi yapılacaktır. Şekil 2’de numunelerin hasar onarım ve güçlendirilme durumlarındaki görünüşleri verilmiştir.



Şekil 2. Numunelerin durumları; a) Hasarsız durum, b) Hasarlı durum, c) Onarılmış durum, d) Dolgu duvarlarla iyileştirme, e) Perde duvarlarla güçlendirme, f) Çelik çaprazlarla güçlendirme

Deney Düzeneği, Yükleme ve Ölçüm

Zorlanmış titreşim deneylerinde titreşim üretici olarak sarsma tablası kullanılacaktır. Sarsma tablasının hem x hem y yönünde hareket edebilmesi için iki adet servo motoru bulunmaktadır.

Sarsma tablası dönme hareketini doğrusal harekete dönüştürme prensibiyle çalışmaktadır. 4x4 m boyutlarındaki sarsma tablası her iki doğrultuda ± 15 cm deplasman kapasitesine ve 10 ton düşey yük taşıma kapasitesine sahiptir. Şekil 3'te sarsma tablasına ait görünüşler verilmiştir.



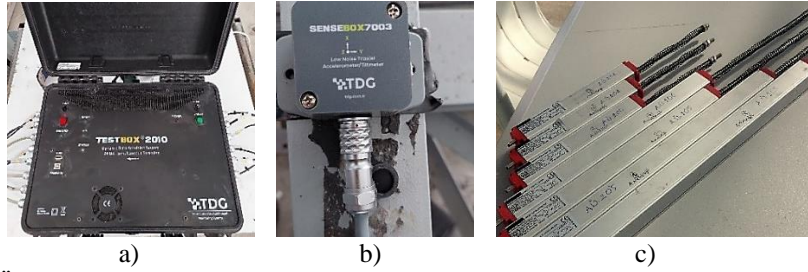
Şekil 3. Sarsma tablası

Dinamik yükleme olarak çerçevelere sarsma tablasında 1995 Kobe, Japonya depreminin simülasyonu uygulanacaktır. İvme verileri 90° yönü için Kakogawa, Japonya istasyonunun kaydettiği veriler olup 0.5 ölçek faktörüyle çarpılarak numunelere etki ettirilecektir.

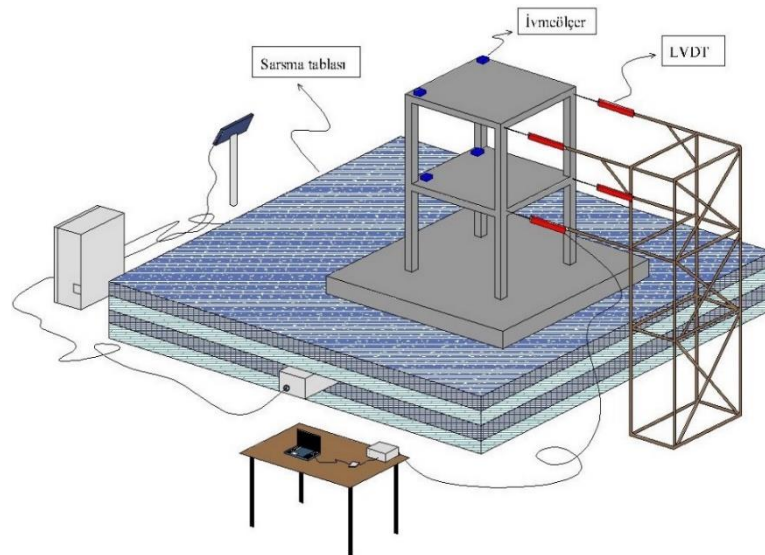
Numunelerin titreşime tepkileri ivmeölçerler ve LVDT'ler ile ölçülecektir. MEMS tipi düşük gürültü özellikli yüksek hassasiyetli 3 eksenli ivmeölçerler ile katlardaki ve tabladaki ivme değerleri ve LVDT'ler vasıtasıyla katların deplasman tepkileri ölçülecektir. Ham veriler 16 kanallı yüksek çözünürlüklü (24 bit) dinamik veri toplama ünitesi vasıtasıyla bu sensörlerden toplanıp dijital ortama aktarılacaktır.

LVDT takımının sisteme entegre edilebilmesi için sarsma tablasının paralelinde bir karkas oluşturulacaktır. LVDT'ler karkasa monte edilecek ve buradan çerçevelere uzatılarak deplasman ölçümleri elde edilecektir.

Şekil 4'te ölçüm ekipmanları, Şekil 5'te de deney düzeneğinin genel görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4. Ölçüm ekipmanları; a) Dinamik veri toplama ünitesi, b) 3 eksenli ivmeölçer, c) LVDT



Şekil 5. Deney düzeneği

Analiz

Geleneksel deneysel modal analiz ile modal parametrelerin belirlenebilmesi için; deneylerden elde edilecek ham veriler düzenleme, kalibrasyon, sinyal işleme, filtreleme vb. süreçlerden geçirilecektir. Sinyal işleme aşamasında numunelerde kat hizalarından ölçülecek etki ve tabla üzerinden ölçülecek tepki ivme verilerinin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) yapılarak zaman tanım alanından frekans tanım alanına geçilecektir. Daha sonra tepki Fourier genlik verileri, kuvvete dönüştürülen etki Fourier genlik verilerine oranlanacak ve Frekans Davranış Fonksiyonları yani Transfer Fonksiyonları (FRF) elde edilecektir. FRF fonksiyonlarının grafiklerinde eğri uydurma yapılarak tepe tutma yöntemi (peak picking) vasıtasıyla doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları her bir mod için ayrı ayrı belirlenecektir. Sönüm oranlarının belirlenmesinde yarım güç bant genişliği yöntemi kullanılacaktır.

Bunun dışında LVDT'ler ile ölçülen zamana bağlı deplasman verileri ve tabla üzerinden ölçülen ivmeden elde edilecek olan dinamik yük verileri kullanılarak numunelerin yük-deplasman histerezis eğrileri, zarf eğrileri, tüketilen enerji miktarları, rijitlik grafikleri elde edilecektir.

Aynı zamanda SAP2000 yapısal analiz bilgisayar programı vasıtasıyla da çerçeveler modelleneyecek ve aynı yükleme koşulları altında analitik olarak incelenecektir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışmanın sonuç ve tartışma kısmında yapıların gerçek dinamik yükleme altında deprem sonrası hasarlı, onarılmış ve çeşitli yöntemlerle güçlendirilmiş durumlarındaki dinamik davranışları karşılaştırılıp yorumlanacaktır.

Analitik olarak elde edilen değerler deneysel yollarla elde edilen değerlerle karşılaştırılacak ve yorumlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Altunışık AC, Karahasan OŞ, Genç AF, Okur FY, Günaydın M, Kalkan E, Adanur S (2018) "Modal parameter identification of RC frame under undamaged, damaged, repaired and strengthened conditions", *Measurement*, 124:260-276
- Beskhyroun S, Navabian N, Wotherspoon L, Quincyn M (2020) "Dynamic behaviour of a 13-story reinforced concrete building under ambient vibration, forced vibration, and earthquake excitation", *Journal of Building Engineering*, 28
- Hüsem M, Nasery MM, Okur FY, Altunışık AC (2018) "Experimental evaluation of damage effect on dynamic characteristics of concrete encased composite column-beam connections", *Engineering Failure Analysis*, 91:129-150
- Musiał M (2012) "Static and dynamic stiffness of reinforced concrete beams", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12:186-191
- Shin J, Scott DW, Stewart LK, Yang CS, Wright TR, DesRoches R (2016) "Dynamic response of a full-scale reinforced concrete building frame retrofitted with FRP column jackets", *Engineering Structures*, 125:244-253
- Yousefianmoghadam S, Song M, Stavridis A, Moaveni B (2015) "System identification of a two-story infilled RC building in different damage states", *Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures*, 2015