SARSMA TABLASINA YERLEŞTİRİLMİŞ 3 KATLI HASARLI VE HASARSIZ ÇELİK YAPI MODELİNİN DİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Yüşa Gökhan DURGUN[1], Muharrem AKTAŞ[2] ve Mustafa KUTANİS[2]

[1] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya*
[2] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya*
Email:[1]ydurgun@sakarya.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmada, üç katlı çelik yapı modelinin dinamik karakteristikleri laboratuvar ortamında belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, 60x60 cm boyutlarında eğitim amaçlı sarsma tablası üzerine yerleştirilmiş model yapının katlarına minyatür ivmeölçerler yerleştirilmiş, sarsma tablası vasıtasıyla model binaya farklı frekanslarda sinüsoidal zorlanmış titreşim uygulanarak kayıtlar alınmıştır. Alınan ivme kayıtlarının işlenmesi ve değerlendirilmesi ile hasarsız yapı modelinin doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları belirlenmiştir. Yapılan ikinci deneyde model yapının bazı kolonlarına hasar verilerek tekrar ivme kayıtları alınmış, alınan kayıtlar aynı şekilde filtreleme işlemlerine tabi tutulmuş ve hasarlı yapının dinamik karakteristikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak hasarlı ve hasarsız yapı modellerinin dinamik karakteristiklerindeki değişimler kıyaslanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Dinamik hesap, Zorlanmış titreşim, Serbest titreşim, Sinyal işleme.

1. GİRİŞ

Aktif deprem kuşağında bulunan ülkeler, yaşanan depremlerin ardından ağır can ve mal kayıpları sorunlarıyla yüzleşmiştir. Deprem, yağmur, kar, rüzgar gibi doğal bir olay olduğu halde, insanoğlu bunu afete dönüştürmüştür. Deprem de ekolojik dengenin bir unsurudur. İnşaat mühendisliği açısından 100 yılı aşkın bir süre depreme dayanıklı yapı tasarım felsefesi iyi bilinmekle beraber, çeşitli nedenlerle (cahillik, fakirlik, vs.) deprem tasarımı hala büyük sorun teşkil etmektedir.

İnşaat mühendisliği için hazırlanan yönetmelikler yapılan deneysel ve teorik çalışmalarla sürekli güncellenmesine rağmen, çalışmaların teorik kısımlarından sınır şartları, malzeme davranış modeli v.b. parametrelerdeki değişimlerin belirsizliğinden tam olarak anlaşılamamaktadır. Bu nedenle problemin doğru yorumlanabilmesi için deneysel çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Deneysel çalışmalarla elde edilen verilerin işlenmesinin ardından mod şekilleri, sönüm oranları, yapısal frekansları gibi yapının dinamik karakteristik özelliklerinin yanı sıra, imalat sırasında oluşan kusurlardan dolayı malzemenin fiziksel özelliklerinde oluşan değişimlerin yapı davranışına nasıl etkidiği daha açık bir şekilde anlaşılabilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmada sarsma tablası vasıtasıyla yapıya farklı frekanslarda kuvvetlerin uygulanmasının ardından yapının serbest titeşime geçtiği durum için kayıtlar alınmıştır. Ardından yapılan bu işlem yapı kolonlarında oluşturulan hasarsız ve hasarlı durumlar için tekrar edilmiştir. Kullanılan minyatür ivmeölçerlerden alınan deney kayıtları filtreleme işlemine tabi tutulmuş ve sonrasında oluşan dinamik değişimler belirlenmiştir.

1.2. Literatür Çalışmaları

Yapılan çalışma kapsamında literatürde yapıların titreşim verilerinden elde edilen kayıtlara bağlı olarak dinamik değişimlerin belirlenmesini kapsayan birçok çalışma mevcuttur. yorumlanabilmesi için deneysel çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Hasar tespit amacıyla geliştirilen yöntemlerin bir kısmında direkt olarak dinamik karakteristiklerden yararlanılırken, bir kısmında ise dinamik karakteristiklerden türetilen ifadelerden yararlanılmaktadır (Bayraktar vd. 2009).

Catbas ve arkadaşları , yaptıkları çalışmada üç açıklıklı köprü ile laboratuvar deney örneğine dereceli olarak hasarlar verilmiş, yapılan çalışma sonrasında oluşan hasarların kavramsal ve fiziksel açıdan anlamlı olduğu gösterilmiştir.

Beyen (2007), yapmış olduğu çalışmayla 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrası büyük hasarlar alan Fatih Camii'nden çevrel titreşimler alınmış, spektral analizler ve parametrik analizler yapılmıştır. Yapılan spektral analizlerle geniş band modal frekanslar bulunmuş, parametrik analizlerle ise kalman filtre ve durum uzay modeller çalıştırılarak modal frekans değerleri ve mod şekilleri hesaplanmıştır.

Türer ve Boz (2005), yaptıkları çalışmada iki bin iki yüz yılı aşkın süredir birçok depreme maruz kalan Aspendos Tiyatrosunun, çevrel titreşimler altında dinamik analizi gerçekleştirilmiş, elde edilen titreşim değerleri altında yapının doğal salımın değerleri ve malzemenin elastisite modülü kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Elde edilen bu veriler doğrultusunda yapının deprem yükleri altında yapının deprem yükleri altındaki davranışı ve gerilmelerin seviyeleri belirlenmiştir.

2. VERİ ANALİZİ

Kullanılan ivmeölçerlerden alınan kayıtlar analiz edilmeden önce veri işleme olarak adlandırılan bir veri düzeltme ve filtreleme işlemlerine tabi tutulur. Yapılan bu işlemlerin amacı analizin kolaylaştırılması ve analiz sonucu oluşabilecek hata oranlarını da azaltmaktır. Alınan kayıtlar için uygulanan veri işleme süreci dört aşamada gerçekleşmektedir:

1. Verideki ortalama değerlerin ve lineer hataların düzenlenmesi (temel-çizgisi hatası düzeltmesi).

2. Gürültü yoğunluğunun fazla olduğu çok düşük ve yüksek frekanslı kısımların filtrelenmesi.

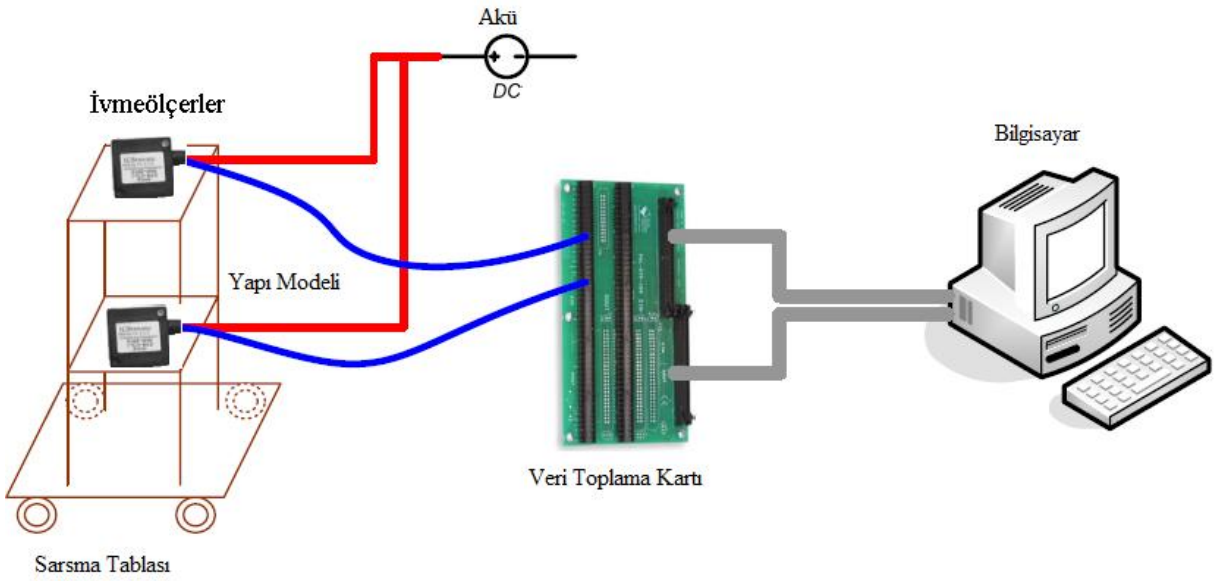
3. Yapının etkin en yüksek frekansının değerlendirilmesiyle gerekirse kaydın örnekleme aralığının yükseltilmesi

4. Eğer sensörlerden alınan kayıtlar senkronize değilse analitik yöntemler kullanarak kayıtların senkronize edilmesi (Şafak 2007).

3. VERİ TOPLAMA

Mevcut mühendislik yapılarının dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi için yapılan tanı çalışmalarındaki ilk aşama deneysel çalışmalar sonrası veri elde edilmesini sağlayan veri toplama düzeneğinin kurulumu aşamasıdır. İncelenen yapı modelinden elde edilen dinamik karakteristiklerin türüne göre kullanılan ivmeölçerler tek eksenli ya da üç eksenli ivmeölçerler olarak değişiklik gösterebilir. Yapılan tez çalışmasında veri toplama için kullanılan ekipmanlar ICS 3140 tipi tek eksenli ivmeölçer, PowerDAQ veri toplama ünitesi, ivmeölçerleri besleyen 12 VDC akü ve LabVIEW veri işleme yazılımından oluşmaktadır. İvmeölçerlerin topladığı sinyaller veri toplama

ünitesine aktarılarak kullanıcının talep ettiği örnekleme aralığında LabVIEW yazılımına gönderilerek Şekil 1. deki gibi değerlendirilir (Kutanis 2007).

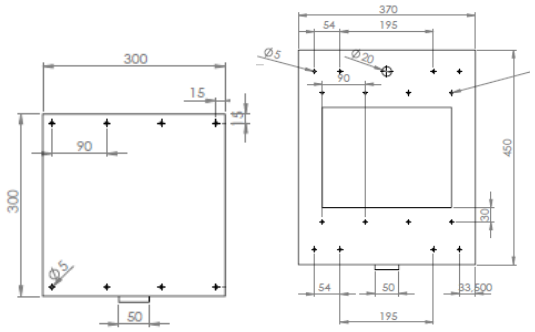


Şekil 1. Veri toplama ünitesi şematik olarak gösterilmesi

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Düzeneğinin Hazırlanması

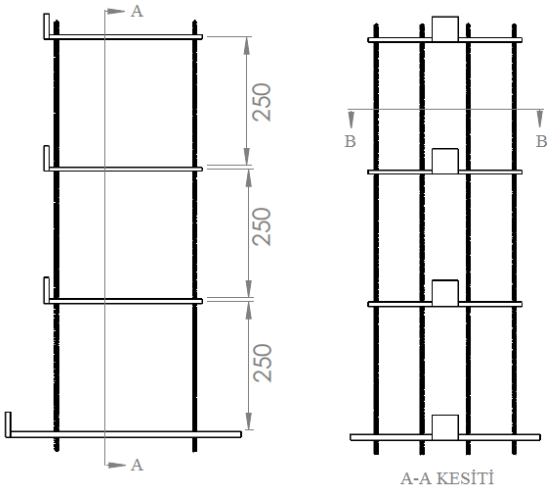
Deney sırasında kullanılacak yapı modelini oluşturan elemanlarının seçimi ve kullanılacak malzeme kesitlerinin teknik çizimleri oluşturulmuş ve yapı modelinin boyutlandırma aşaması Şekil 2.'de tanımlanmıştır.



(a) (b)

Şekil 2. Yapı modelini oluşturan kat levhası (a) ve sarsma tablası rijit plakası(b) boyutları(mm)

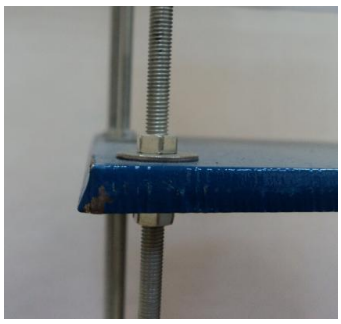
Yapıyı oluşturan her bir kat döşemesi 300x300x8 mm boyutlarında ve St37 çeliğinden imal edilmiş levhalarla temsil edilmektedir. Yapı modelini oluşturan kolonlar ise sekiz adet 5mm çapında saplama elemanların tablalar arası cıvatalar kullanılarak rijit bağlantıyla oluşturulmuştur. Kat seviyelerinden ivme kayıtlarının alınması amacıyla düşeyde 50x50 mm 'lik levhalar kaynaklanmıştır. Ayrıca yapıyı oluşturan kat yükseklikleri her katta eşit olup, Şekil 3.'teki gibi 250 mm boyutundadır.



(a) (b)

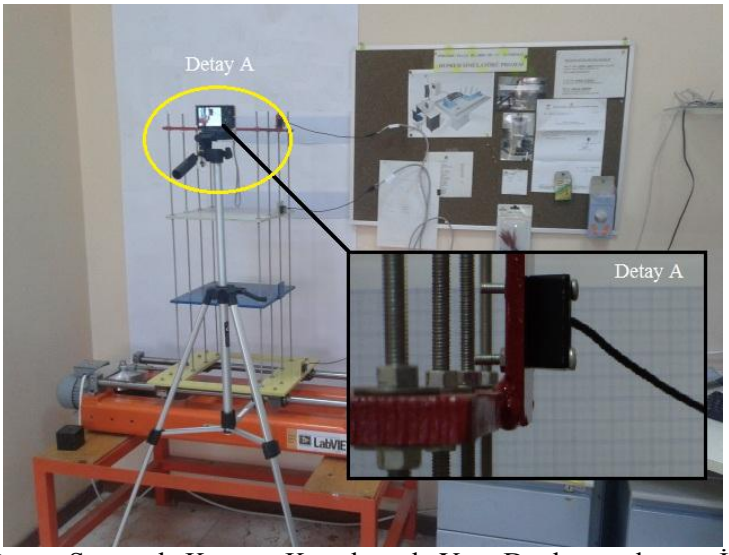
Şekil 3.Yapı Modeline Ait Yandan (a) ve Önden (b) görünüş (mm)

Kurulan yapı modelinde katları oluşturan sekiz adet kolon bulunmaktadır. Yapı mdelini oluşturan kolonlar piyasadaki adı ile kullanılan gijon elemanlardır. Elemanlar arası rijit bağlantı deneyde çalışılan kat seviyesinde elemanların birbirine cıvata ve somunlu birleşimlerle Şekil 4.'teki gibi rijit bir şekilde sıkıştırılarak bağlanmasıyla oluşturulmuştur.



Şekil 4. Cıvata ve somunlarla oluşturulmuş birleşim

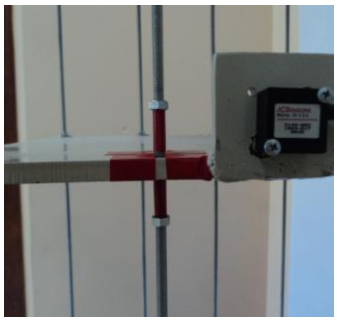
Yapı modelinin üçüncü kat seviyesinde yapılacak olan filtreleme işleminin kontrolünü sağlamak amacıyla kat seviyesinde duvar düzleminde milimetrik kağıtlar yerleştirilip Şekil 5.'teki gibi kamera aracılığıyla yapı deplasmanları gözlemlenmiş, böylece ivmeölçerlerden alınan kayıtların filtrelenmesi sırasında oluşabilecek hatalar en aza indirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5. Deney Sırasında Kamera Kayıtlarında Yapı Deplasmanlarının İzlenmesi

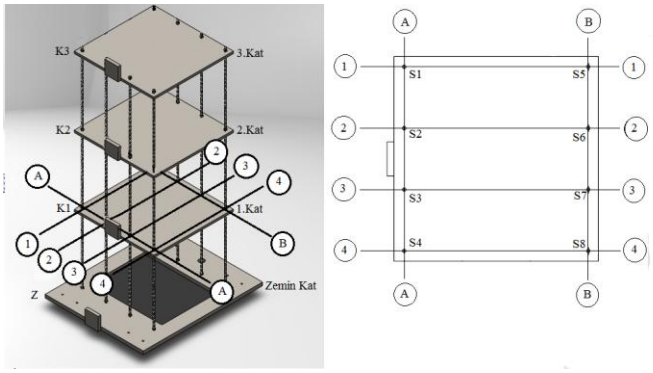
3.2. Deneysel Çalışma Aşamaları

Yapılan deneysel çalışma biri hasarsız on altı tanesi ise hasarlı olmak üzere dört kolonda on yedi farklı deney yapılmıştır. Hasarlı deneyler aynı kolon için yapının tabla seviyesindeki cıvatalı birleşimlerin gevşetilmesinden başlanarak aynı kolonda tabla hasarına ilaveten sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü kat kolonlarının tam olarak bağlantılarının Şekil 6.'daki gibi gevşetilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 6. Cıvatalı birleşimlerin gevşetilmesi

Oluşturulan hasar durumlarının yerlerinin belirlenebilmesi amacıyla yapı modelinde bulunan kat kolonları Şekil 7.'de numaralandırılmıştır. Yapılan hasarlı deneyler iç kısımda bulunan 4 kolon için tekrar edilmiştir. Yapılan deneyler numaraları ve oluşturulan deney türleri Tablo 1.'de gösterilmiştir. Örneğin birinci hasarlı deney durumunda zemin kat S2 kolonunda oluşturulmuş hasar durumu ZS2 olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.Yapı modeline ait akslar ve kolon numaraları

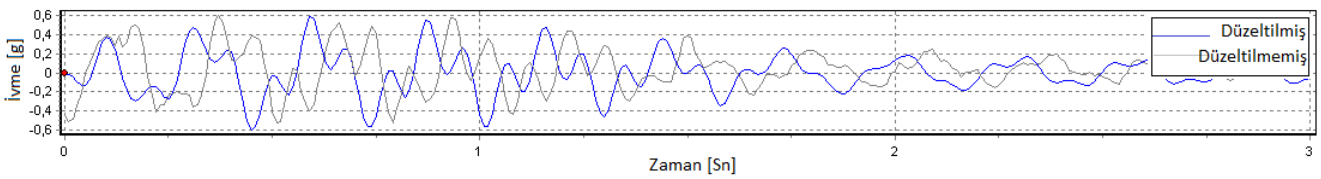
Tablo 1. Deney numarası ve deney türü

DENEY NUMARASI	DENEY TÜRÜ	DENEY NUMARASI	DENEY TÜRÜ
1	Hasarsız Yapı	10	ZS3 Hasarlı
2	ZS2 Hasarlı	11	ZS3-1S3 Hasarlı
3	ZS2-1S2 Hasarlı	12	ZS3-1S3-2S3 Hasarlı
4	ZS2-1S2-2S2 Hasarlı	13	ZS3-1S3-2S3-3S3 Hasarlı
5	ZS2-1S2-2S2-3S2 Hasarlı	14	ZS7 Hasarlı
6	ZS6 Hasarlı	15	ZS7-1S7 Hasarlı
7	ZS6-1S6 Hasarlı	16	ZS7-1S7-2S7 Hasarlı
8	ZS6-1S6-2S6 Hasarlı	17	ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı
9	ZS6-1S6		

3.3. Üç Katlı Yapı Modeli Deneyleri

Deney çalışmaları ilk olarak hasarsız durum için hem farklı frekanslarda kuvvetlerin uygulanmasının ardından yapının serbest salınıma geçtiği durum için, hem de yapının kuvvetsiz serbest titreşim durumu için ayrı ayrı gözlemlenmiştir.

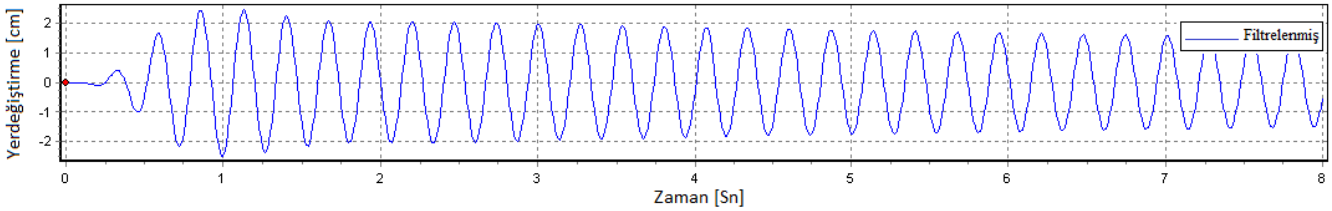
Yapı modeline ait ivmeölçerlerden alınan kayıtların LabVIEW programıyla bilgisayara aktarılmasının ardından kayıtların doğru okunabilmesi için temel çizgisi hatalarının düzeltilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde elde edilen deplasman değerlerinde çok büyük farklar oluşmaktadır. Yapı modeli için alınan ivme kayıtlarının filtrelenmesi gerekmektedir. Bu işlemler için deprem ve inşaat mühendisliğinde geniş kullanım alanına sahip olan Seismosignal programından yararlanılmıştır. Yapının zorlanmış kuvvet etkisi sonrası serbest titreşime geçtiği değer için elde edilmiş hasarsız yapı ivme kaydı değerleri Şekil 8.'deki gibidir.



Şekil 8. Hasarsız Duruma ait Filtrelenmiş ivme kayıtları

3.4. Sönüm Oranı Hesabı Ve Zorlanmış Titreşim Sonrası Hasarsız Yapı Frekansının Davranış Spekturumu İle Elde Edilmesi

Yapı modeline ait serbest titreşim ivme kayıtlarının filtrelenmesinin ardından logaritmik azalım yöntemiyle sönüm oranı hesaplanmıştır. Bunun için yapının serbest titreşim Şekil 9.'daki deplasman kayıtlarından sönüm oranı Denklem 1. kullanılarak elde edilir (Chopra 2007).



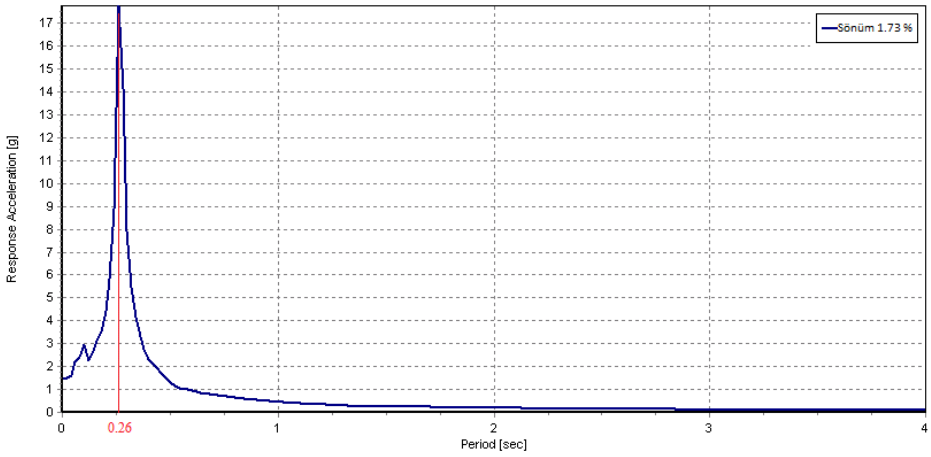
Şekil 9. Yapının serbest titreşim deplasman kaydı

Yapı modeline ait filtrelenmiş deplasman değerlerinin kullanılmasıyla yapısal sönüm oranı elde edilmektedir. Sönüm oranının hesaplanması için logaritmik azalım yöntemi kullanılmıştır. Birbirine komşu veya birbirinden j uzaklıkta bulunan maksimumların kullanılmasıyla sönüm oranı hesaplanabilir. Yapı modeline ait 1 maksimum değer 2.44 cm iken 14 devir sonra bu değerde %14.15 azalma gözlemlenmiştir.

$$\delta = \frac{1}{j}\ln\left(\frac{u_1}{u_{j+1}}\right) \approx 2\pi\xi \qquad (1)$$

Bu denklem kullanılarak sönüm oranı % 1.73 olarak hesaplanmıştır.

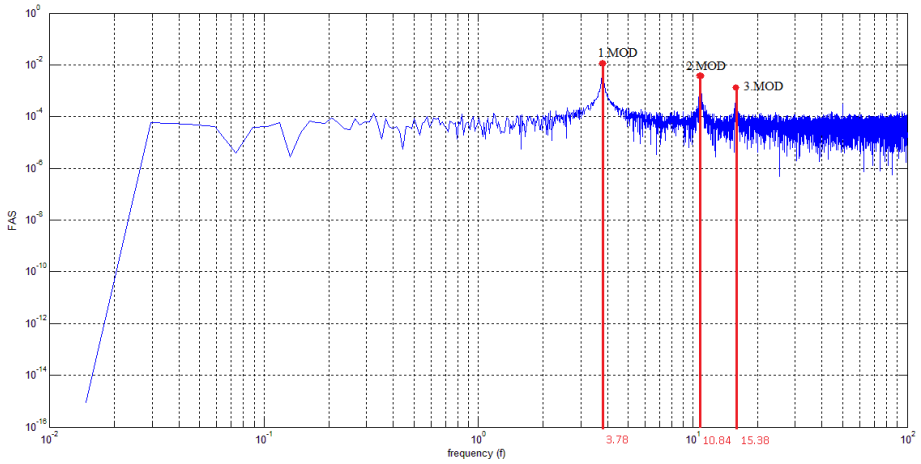
Yapı modeline ait filtrelenmiş ivme kayıtlarından oluşturulmuş davranış spekturumu ile yapının birinci modal periyodu Şekil 10.'da gösterilmiştir. Elde edilen periyodun frekans karşılığı 3.86 Hz'dir.



Şekil 10.Filtrelenmiş kayıtlardan elde edilen ivme spektrumu

3.4. Yapısal Frekansların Hızlı Fourier Dönüşümleri(FFT) ile Elde Edilmesi

Yapı modeline ait ivme kayıtlarından modal frekansları elde etmemin bir diğer metodu da Hızlı Fourier Dönüşümleridir(FFT). Yapı modelinden alınmış ivme kayıtlarının frekans ortamına taşınmasıyla yapının ilk üç modal frekansı elde edilmiştir. Hasarsız yapı modeline ait FFT ile elde edilmiş frekans değerleri Şekil 11.'de belirtilmiştir.



Şekil 11.Hasarsız yapıya ait FFT grafiği

Geri kalan 16 hasar durumu için yine aynı şekilde FFT ile yapının modal frekanslarına ait deney sonuçları Tablo 2.'de belirtilmiştir.

Tablo2. Deney Sonrası Elde Edilen Frekans İçeriği

Deney Numarası	**Deney Tipi**	**Deney Sonucu**		
		f_1 Hz	**f_2 Hz**	**f_3 Hz**
1	**Hasarsız Yapı**	3,78	10,84	15,38
2	**ZS2 Hasarlı**	3,676	10,5	15,64
3	**ZS2-1S2 Hasarlı**	3,548	10,4	15,43
4	**ZS2-1S2-2S2 Hasarlı**	3,5	10,06	15,26
5	**ZS2-1S2-2S2-3S2 Hasarlı**	3,408	9,908	14,98
6	**ZS6 Hasarlı**	3,39	9,714	14,95
7	**ZS6-1S6 Hasarlı**	3,274	9,763	14,71
8	**ZS6-1S6-2S6 Hasarlı**	3,244	9,467	14,76
9	**ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı**	3,224	9,365	14,42
10	**ZS3 Hasarlı**	3,125	9,15	14,43
11	**ZS3-1S3 Hasarlı**	3	9,14	14,34
12	**ZS3-1S3-2S3 Hasarlı**	2,954	8,769	14,62
13	**ZS3-1S3-2S3-3S3 Hasarlı**	2,941	8,693	14,35
14	**ZS7 Hasarlı**	2,8	8,379	14
15	**ZS7-1S7 Hasarlı**	2,66	7,94	13,38
16	**ZS7-1S7-2S7 Hasarlı**	2,63	7,833	13,2
17	**ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı**	2,61	7,76	12,91

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında incelenen 3 katlı yapı modeline ait dinamik değişimler incelenmiştir. Yapı modelinin iç kısımlarında bulunan dört adet kolon için birleşimlerin tümü gevşetilerek hasarlar oluşturulduktan sonra elde edilen analiz verilerine göre yapının birinci modunda %31, ikinci modunda % 29 ve üçüncü modunda ise %16 oranında azalma olmuştur. Elde edilen frekans azalmalarından ve deney sırasında yapılan gözlemlerden

yola çıkılarak yapıda bulunan gevşetilmiş dört adet kolonun her ne kadar düşeyde yük taşıma kapasitesi olmasada yaklaşık olarak %19 oranında yapının frekans değerlerine etkimiştir. Ayrıca yapının ilk iki modundaki tutarlılık üçüncü moda oranla modal katılım bakımından daha etkili olduğu yorumu yapmamızı sağlayabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, 2012-50-01-028 proje numarası ve "Yapı Tanılama Teknikleri Kullanılarak Yapıların Hasar Tespitleri" isimli araştırma projesini destekleyen Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkalığına teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

Bayraktar A., Türker T., Özcan M., Akköse M., Adanur S., Ateş Ş. (2009). Yapısal Hasarların Deneysel ve Operasyonal Modal Analiz Yöntemleriyle Belirlenmesi, 106M038'nolu Tübitak Projesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi,Trabzon.

Catbas F. N., Gul M., Burkett J. L.(2008). Conceptual damage-sensitive features for structural health monitoring: Laboratory and field demonstrations, Mechanical Systems and Signal Processing 22, 1650-1669.

Beyen K. (2007). 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Hasar Alan Fatih Camiinin Dinamik Karekteristiklerinin Tanımlanması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı.

Türer A., Boz B.(2005). Aspendos Tarihi Tiyatrosunun Modellenmesi ve Deprem Yükleri Altında Analizi , Antalya Yöresi Sorunları Kongresi.

Şafak E.(2007). Yapı Titreşimlerinin İzlenmesi: Nedir, Neden Yapılır, Nasıl Yapılır, Ve Ne Elde Edilir?, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı.

Kutanis M. (2007). Deprem Simülatörü Yapımı ve Tasarımı, 105M082'nolu Tübitak Projesi, Sakarya Üniversitesi , Ocak 2007, Sakarya.

Chopra, A. K. (2007). Dynamic of Structures,Theory And Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall,2007.