

Çevrel titreşim kayıtları kullanılarak yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi

Elif Orak Boru^{1*}, Mustafa Kutanis²

17.06.2014 Geliş/Received, 19.08.2014 Kabul/Accepted

ÖZ

Yapıların dinamik yükler etkisi altındaki davranışları, yapı dinamik parametreleri kullanılarak belirlenmektedir. Yapı dinamik parametreleri (doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı) teorik ve deneysel yöntemler kullanılarak elde edilebilmektedir. Bu çalışmada 1975 Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış bir binanın dinamik parametreleri Teorik ve Deneysel Modal Analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel Modal Analiz ile yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesinde binadan alınan Çevrel Titreşim kayıtları ve Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma Yöntemi kullanılmıştır. Teorik Modal Analiz ile yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesinde ise Sonlu Elemanlar Yöntemi ile oluşturulan analitik model kullanılmıştır. İki yöntem kullanılarak elde edilen yapı dinamik parametreleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Yapılan Sonlu Eleman Modeli Güncelleme çalışması ile yapının gerçek durumdaki rijitliği belirlenmiştir. Yapılan çalışma ile Çevrel Titreşim Kayıtları kullanılarak yapı dinamik parametrelerinin gerçekçi olarak elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: yapı dinamik parametreleri, çevrel titreşim, operasyonel modal analiz

Determination of structural dynamic parameters with ambient vibration measurements

ABSTRACT

Structural behavior under effect of dynamic loads, is identified by dynamic characteristics of structures. Structural dynamic characteristics, natural frequency, mode shape and damping ratio are determined by theoretical and experimental methods. In this study, dynamic parameters of a building which was designed according to 1975 earthquake design code, are determined by Theoretical and Experimental Modal Analysis. In Experimental Modal Analysis ambient vibration measurements and Enhanced Frequency Domain Decomposition Method are used to determine dynamic characteristics of the building. Analytical model which is created by Finite Element Method is used in Theoretical Modal Analysis. Dynamic characteristics, which are determined by Experimental and Theoretical Modal Analysis are given as a conclusion. Additionally Finite Element Model Updating Method is used to determine real structural stiffness of the building. This study has concluded that it is possible to determine realistic structural dynamic characteristics using Ambient Vibration Measurements.

Keywords: structural dynamic characteristics, ambient vibration measurement, operational modal analysis

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya - eorak@sakarya.edu.tr

2 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya - kutanis@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Titreşimler günlük hayatta her yerde karşımıza çıkmakta ve bazen ses bazen de yapı tahribatı gibi olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Titreşimler yapıda dinamik etkilerin meydana gelmesine neden olmaktadır ve yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları birçok belirsizlik içermektedir. Yapıların dinamik yükler etkisi altındaki davranışları, her yapı için karakteristik özelliğe sahip dinamik parametreler kullanılarak belirlenebilmektedir. Son 30 yıl içinde yapı dinamik davranışı ve yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Bu çalışma alanı literatürde Modal Analiz olarak adlandırılmaktadır. Yapı dinamik karakteristiklerini (doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı) Teorik ve Deneysel Modal Analiz Yöntemlerini kullanarak hesaplamak mümkündür. Yapı dinamik karakteristikleri, oluşturulan analitik modellerin doğruluğunun kontrolü ve yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Yapının modal davranışına bakılarak rijitlik dağılımı ve burulma düzensizliği olup olmadığı hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı dinamik karakteristiklerin yapılar üzerinde titreşim testleri yapılmak suretiyle gerçekçi olarak belirlenmesi oldukça önemlidir [1]. Dinamik yüklerdeki belirsizliklerin yanı sıra dinamik davranışı etkileyen parametrelerdeki (mevcut yapısal özellikler, malzeme özellikleri, sınır şartları ve hasar durumu) ve inşaa aşamasındaki belirsizlikler, yapı dinamik davranışının gerçekçi olarak belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Dinamik karakteristiklerin mevcut yapının özelliklerini yansıtacak şekilde deneysel yöntemler ile belirlenebilmesi, yapı dinamik davranışının daha gerçekçi elde edilmesine imkan sağlamaktadır.

Bu çalışmada, mevcut bir betonarme binanın dinamik parametreleri teorik ve deneysel modal analiz yöntemleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonlu Eleman (SE) Modeli Güncelleme tekniği ile binanın mevcuttaki rijitliği belirlenmiştir. Çalışmada ilk olarak teorik yöntem ile Sonlu Elemanlar Metodu kullanılarak binanın analitik modeli oluşturulmuş ve dinamik parametreleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise deneysel yöntem ile çevrel titreşim kayıtları kullanılarak yani Operasyonel Modal Analiz Yöntemi ile binanın dinamik parametreleri belirlenmiştir. Sonlu eleman modelinden elde edilen dinamik parametreler Sonlu Eleman Modeli Güncelleme tekniği ile deneysel yolla elde edilen dinamik parametrelere yakınsayınca kadar iteratif olarak güncellenmiştir.

2. YAPI DİNAMİK PARAMETRELERİ HESAP YÖNTEMLERİ (STRUCTURAL DYNAMIC PARAMETERS DETERMINATION METHODS)

Yapı dinamik parametreleri teorik ve deneysel yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. Teorik yöntemler arasında, yapı analitik modellerinin oluşturulması veya yaklaşık yöntemler yer almaktadır. Yapı analitik modellerinin oluşturulması için birçok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Analitik modeller yardımı ile yapıların doğal frekans, mod şekli ve etkiyen dış yük altındaki yapı dinamik davranışını belirlemek mümkündür. Bunun yanında birçok yapı standardında birinci yapı frekansının belirlenmesi için yaklaşık bağıntılar mevcuttur.

2.1. Deneysel Modal Analiz (Experimental Modal Analysis)

Yapılar üzerinde titreşimlerden oluşan tepkilerin ölçülmesi ve ölçüm verilerinden yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemler Deneysel Modal Analiz Yöntemleri olarak bilinmektedir. Bu yöntemlerde yapılar ya bilinen bir kuvvetle titreştirilmekte ya da çevrel titreşim kayıtları dikkate alınarak ölçümler yapılabilmektedir. Deneysel yöntemlerde modal parametrelerin hesabı için sistem davranışı ve sistem tanılama teknikleri kullanılmaktadır. Mevcut yapıların matematik modeli her zaman oluşturulamadığı için son yıllarda Deneysel Modal Analiz Yöntemleri yapı dinamik parametrelerinin elde edilmesinde çok fazla tercih edilmektedir. Ölçümler yapı üzerinden hiçbir kabul yapılmadan direkt alındığından dolayı, deneysel yöntemlerle elde edilen dinamik parametrelerin, SE modeli ile elde edilenden daha güvenilir olarak kabul edilir. Deneysel yöntemlerle yapıların dinamik davranışının belirlenmesi, yapı üzerinden alınan ölçümlerden dinamik parametrelerin elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu süreç 3 aşamada gerçekleştirilebilir:

- 1.Yapı üzerinden modal verinin ölçülmesi
- 2.Ölçülen modal verinin analiz edilmesi ve modal parametre tahmini
- 3.Elde edilen modal parametreler kullanılarak dinamik davranışın belirlenmesi.

Deneysel yöntemler, ölçümlerde kullanılan titreşim kuvvetinin bilinip bilinmemesine bağlı olarak, Deneysel Modal Analiz Ve Operasyonel Modal Analiz Yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır [1, 2]. Çalışmada çevrel titreşim kayıtlarının kullanıldığı Operasyonel Modal Analiz Yöntemi kullanılmıştır.

2.2. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi (Operational Modal Analysis Method)

90'lı yılların başından itibaren Operasyonel Modal Analiz (OMA) İnşaat mühendisliği alanında, bina, gökdelen, köprü vb. yapılarda uygulanmaya başlanmıştır. Büyük mühendislik yapıları deprem, rüzgar, taşıt ve insan hareketleri, makine titreşimleri gibi genliği ve zamanla değişimi tam olarak bilinmeyen titreştiriciler tarafından tetiklenmektedir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve elektronik imkanlar, titreşimlere maruz mühendislik yapılarının ölçümlerinde bir titreştirici kullanmak yerine yapıdaki mevcut titreşimleri dikkate alarak ölçüm yapılabilmesini mümkün kılmaktadır [1].

OMA, çevrel, yalnızca çıkış veya doğal çıkışlı modal analiz olarak da adlandırılmaktadır. OMA yöntemi ile modal parametrelerin hesabında sadece yapının çevrel titreşim kayıtları veya doğal çıkışları kullanılmaktadır. Çevrel titreşim kayıtlarının elde edilmesi yapıya herhangi bir zarar vermediği için büyük yapıların dinamik parametrelerin elde edilmesinde sıklıkla tercih edilen bir tekniktir. Bu ölçüm tekniğinde pahalı ve kullanılması zor aletlere gerek kalmaması da bu tekniğin tercih edilmesine neden olan diğer bir etkidir [2-4].

OMA yöntemi sadece dinamik tasarım ve yapı kontrolü için değil titreşim esaslı yapı sağlığı izleme ve yapıların hasar tespiti gibi alanlarda da kullanılabilir [5, 6]. Sistem tanımlama tekniğinde modal parametrelerin tayini için birçok yöntem geliştirilmiştir. Çalışmada ARTEMIS yazılımında da kullanılan Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma (GFTAA, Enhanced Frequency Domain Decomposition) yöntemi kullanılmıştır.

3. GELİŞTİRİLMİŞ FREKANS TANIM ALANINDA AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ (ENHANCED FREQUENCY DOMAIN DECOMPOSITION METHOD)

Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma (FTAA) Yöntemi klasik frekans tanım alanı yöntemi olan Tepe Seçme (Peak Picking) yönteminin geliştirilmiş hali olarak bilinmektedir. Yöntemde çıkış (output) verileri kullanılarak hesaplanan güç spektral yoğunluk matrisi Tekil Değer Ayırışımı Yöntemi (TDA, Singular Value Decomposition) ile ayrıştırılmaktadır. Tahrik fonksiyonunun geniş bantlı, modların ortogonal ve dinamik sistemin düşük sönümlü olması durumunda TDA ile bulunan her bir oto-spektral yoğunluk fonksiyonu, dinamik sistemin tek bir titreşim moduna karşılık gelmektedir. Mod şekilleri tekil vektörler kullanılarak bulunabilmektedir. Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma (GFTAA) yönteminde ise

doğal titreşim frekansları ve sönüm oranları Ters Fourier Dönüşümü ile zaman tanım alanına dönüştürülen tek serbestlik dereceli sistemlerin güç spektral yoğunluk fonksiyonları kullanılarak elde edilmektedir. Frekans tanım alanında ayırıştırma yöntemi Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD, Fast Fourier Transform) analizinde tekil frekans çizgisinin (single frequency line) kullanılması esasına dayanmaktadır. Tahmin edilen doğal frekansların kesinliği HFD çözümlemesine bağlıdır ve modal sönüm hesaplanamaz. GFTAA yönteminde ise doğal frekanslar, mod şekilleri ve modal sönüm de belirlenebilmektedir. Güç spektral yoğunluk fonksiyonlarında oluşan spektral matris ise Welch-Bartlett yöntemi kullanılarak bulunabilmektedir [7, 8]. GFTAA yöntemi ARTEMIS® paket programında uygulanabilen yöntemlerden biridir ve bu çalışmada tercih edilmiştir.

4. SONLU ELEMAN MODELİ GÜNCELLEME TEKNİĞİ (FINITE ELEMENT MODEL UPDATING)

Yapı analizinde SE modeli uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ancak SE modellemesinde yapılan kabuller, modelleme hataları, yapının malzeme özelliklerindeki belirsizlikler, yapıda servis yükleri altında meydana gelen aşınmaların yıllar içinde birikmesi, mesnetlenme koşullarının tam olarak bilinmemesi, deprem ve patlama gibi ani etkilerle yapıda oluşabilen hasarların tam olarak bilinmemesi, analiz içindeki bilinmeyenler ve belirsizlikler SE modelinin güvenilirliğini azaltmaktadır. Mevcut yapı ile SE modelinin doğruluğunun sağlanması aşamasında Sonlu Eleman Modeli Güncelleme çalışmaları kullanılmaktadır.

Sonlu eleman modeli güncelleme tekniği yapı dinamik karakteristikleri yardımı ile SE modelinin doğrulanması sürecinde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde başlangıç modelinin bazı parametreleri, tahmin edilen dinamik özelliklerle referans özellikler (genellikle deneysel ölçüm verileri) arasındaki fark azalınca kadar değiştirilir [9]. Modelleme sürecinde kullanılan yapı geometrisi, yapısal malzeme bilgileri ve analiz içindeki bilinmeyenlerin veya belirsizliklerin giderilmesi için yapılan güncellemelerin analitik sonuçları iyileştirdiği 1970'li yıllarda başlayan ve 1990'larda çok fazla kullanılan Deneysel Modal Analiz çalışmaları ile ispatlanmıştır. 90'lı yıllarda başlayan deneysel ve SE modellerinin benzeşim çalışmaları içinde model güncelleme teknolojileri standart birer araç olarak kullanılmış ve model tutarlılığının değerlendirilmesi ve artırılması için kullanılmıştır. Çalışmada Femtools yazılımı kullanılarak incelenen binanın SE modelinin dinamik parametreleri, deneysel modelden elde edilen

dinamik parametrelere yakınsayınca kadar güncellenmiştir [10].

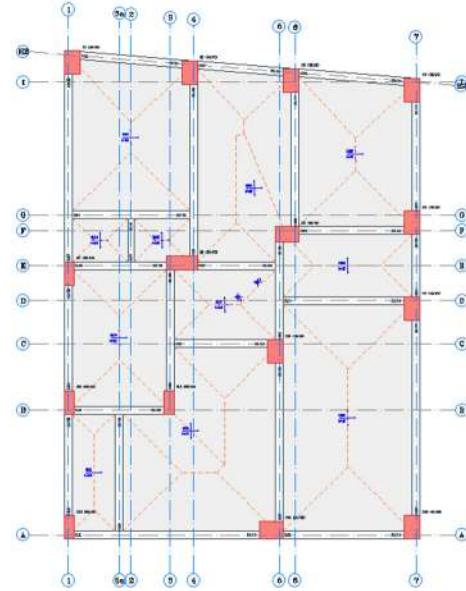
5. SAYISAL ÇALIŞMA (NUMERICAL STUDY)

Çalışmada Sakarya merkezde (Adapazarı, Yenidoğan Mah. Yan Sokak No:10) bulunan, Yan Sokak Apartmanı incelenmiştir. Yan Sokak Apartmanı düzenli, küçük, zemin kat+5 normal kat olarak tasarlanmış bir binedir. İlk katı dükkan ve depo olarak tanzim edilmiştir. Yapının normal katlarında dolgu duvarlar mevcuttur, giriş katında ise düzensiz ve tek yönde dolgu duvarları bulunmaktadır (Şekil 1). Binanın kolonları; 25x60 cm, 35x60 cm, 60x35 cm, 80x30 cm ve kirişleri ise 20x60 cm boyutlarındadır. Yapı 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmıştır. Yan Sokak binasında karot numuneleri ve kalibre edilmiş beton çekici okumalarından elde edilen verilere dayanılarak, yapıda tüm betonarme elemanların

karakteristik beton basınç mukavemetleri 16 MPa alınmıştır. Bina kullanımında olduğundan dolayı çelik numunesi alınamamıştır. Bu nedenle çelik sınıfı projede öngörülen S420 çeliği kabul edilmiştir. Zemin sınıfı Z3 olarak belirlenmiştir. Çalışmada çevrel titreşim kayıtları kullanılarak yapı dinamik karakteristikleri belirlenmiştir [11].

5.1. Yan Sokak Apartmanı Yapı Tanılama Çalışmaları (Yan Sokak Apartment System Identification Study)

Binanın yapı tanılama çalışmalarında çevrel titreşim kayıtları kullanılmıştır. Kayıtları almak amacıyla Tübitak 108M303 projesi kapsamında AREL elektronik [12] tarafından geliştirilen sekiz adet, üç eksenli ölçüm yapan DAC-3HDG serisi ivme duyarlı ölçüm cihazları kullanılmıştır [13]. Kullanılan ivme ölçüm cihazlarının donanımsal ve teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

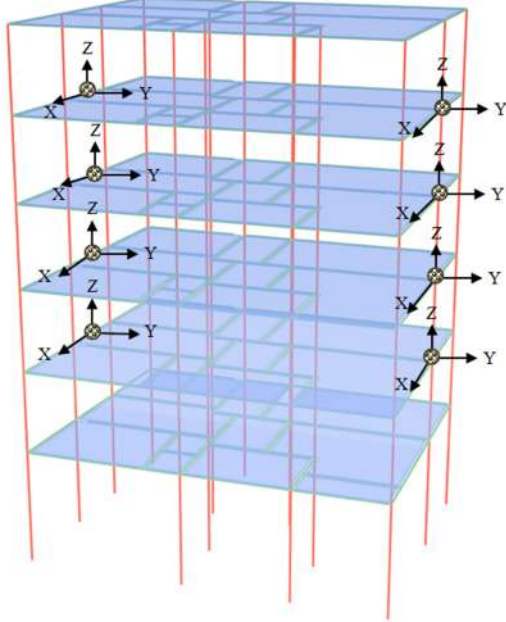


Şekil 1. Yan Sokak Apartmanı fotoğrafı ve kalıp planı (Yan Sokak Apartment photograph and plan layout) [11]

Tablo 1. DAC-3HDG serisi ivme duyarlı ölçüm cihazlarının özellikleri (DAC-3HDG series accelerometer properties)

Donanımsal Özellikler		Teknik Özellikler	
Ölçüm	3 eksenli	İvmeölçer	a. Capacitive Force Micromachined Sensor
Güç	12 VDC		b. 300ng/√Hz. noise
Çalışma	-20, +80		c. ±2g Full calibration
Haberleşme	1 Ethernet / TCP-IP		d. ±5 V Differential output
GPS	50 Kanal Super Sense Dahili		e. Resolution over 200 Hz. bandwidth
		Çalışma frekansı	50/100/200 Hz. (5mS)
		Hafıza	2 Gb Dahili, (140 saat kayıt alabilme)

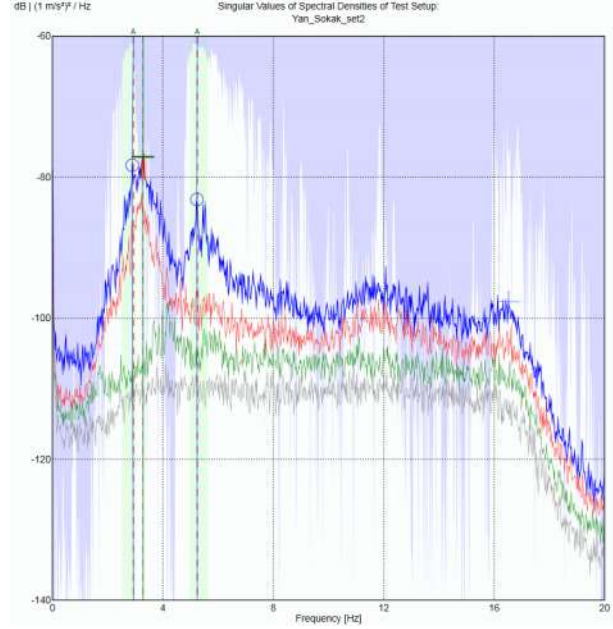
Sekiz adet ivmeölçer binada uygun yapısal noktalar üzerine yerleştirilmiştir. ivmeölçerlerin binadaki konum ve yönelimi yönelimlerinin 3 boyutlu sonlu eleman yapı modeli üzerinde oluşturdukları gözlem-ölçüm ağı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yan Sokak Apartmanı ivme ölçüm cihazlarının konum ve yönelimlerinin üç boyutlu görünüşü (Yan Sokak Apartment 3D appearance of accelerometers position and orientation)

Yan Sokak Apartmanından 30 dakika boyunca saniyede 200 örnek (sps) ile çevrel titreşim kaydı alınmış ve elde edilen kayıt beşer dakikalık setlere bölünmüştür. Kayıtlara, ortalama değerlerin ve lineer hataların ayıklanması (base-line correction-lineer), gürültünün fazla olduğu çok düşük ve çok yüksek frekanslı kısımların filtre edilmesi (highpass 0.5 Hz, lowpass 20 Hz) gibi bazı temel sinyal işleme teknikleri uygulanmıştır.

Filtrelenmiş kayıtlar ARTeMIS programına [14] aktarılmış ve oluşturulan test modeli kullanılarak her bir set için Genişletilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak binanın dinamik karakteristikleri belirlenmiştir. Tüm setlerin dinamik karakteristik sonuçları incelenmiş ve çevrel etkilerin en az olduğu set kullanılmıştır. Yan Sokak apartmanının ARTeMIS programında GFTAA yöntemi kullanılarak ilk üç mod için elde edilen spektral yoğunluk matrisi tekil değerleri (SYMTD) Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Yan Sokak Apartmanına ait SYMTDA (Yan Sokak Apartment spectral density matrix singular values)

Yan sokak apartmanının ARTeMIS programında çevrel titreşim kayıtları yardımı ile elde edilen SYMTD (Şekil 3) kullanılarak elde edilen doğal frekans ve sönüm oranı değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yan Sokak Apartmanı deneysel yolla elde edilen frekans ve sönüm oranı değerleri (Yan Sokak Apartment experimental frequency and damping ratio values)

Mod	Deneysel Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	2.930	3.075
2	3.287	1.396
3	5.248	3.048

Deneysel yolla modal karakteristiklerin belirlenmesinin ardından Sap2000 programı kullanılarak binanın SE modeli oluşturulmuş ve modal karakteristikleri belirlenmiştir [15]. SE modeli oluşturulurken zemin kat kolonlarının zemine ankastre olarak mesnetlendiği ve tüm döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı kabulü yapılmıştır. SE modeli ile Sap2000’de yapılan modal analiz sonucunda elde edilen frekans ve modal kütle katılım oranı değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Yan Sokak Apartmanı Sap2000 modal analizi ile elde edilen frekans ve modal kütle katılımı oranı (Yan Sokak Apartment frequency and modal mass participation ratio from Sap2000 modal analysis)

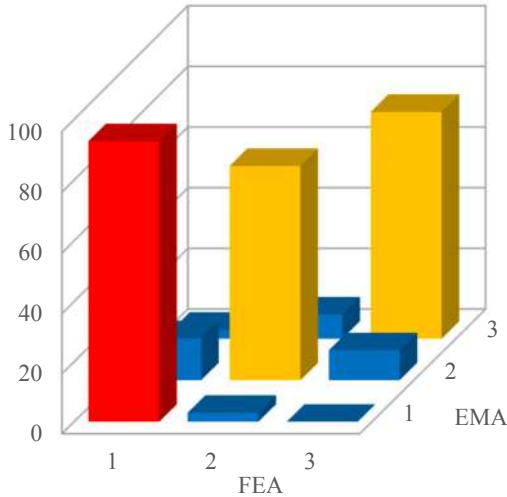
Mod	Sap2000 (Hz)	Modal Kütle Katılım Oranı		
		X Yönü	Y	Z Yönü
1	2.107	0.73	0.00	0.00
2	2.376	0.00	0.75	0.00
3	2.378	0.05	0.03	0.00

Operasyonel Modal Analiz ve SE modeli analizi sonucunda elde edilen mod şekilleri ve frekans değerleri karşılaştırılmıştır. İki frekans değeri arasındaki fark deneysel sonuç dikkate alınarak yüzde cinsinden, mod şekilleri arasındaki korelasyon ise Modal Gerçekleşme Kriteri (MAC-modal assurance criterion) değeri ile yüzde cinsinden belirlenmiştir. Yan Sokak Apartmanının Femtools programı kullanılarak elde edilen ilk 3 mod için Operasyonel Modal Analiz ve SE modeli analizi sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Yan Sokak Apartmanı deneysel ve SE modelinden elde edilen frekanslar (Yan Sokak Apartment experimental and finite element model frequency values)

Mod	Sap2000 (Hz)	Deneysel (Hz)	Fark (%)	MAC (%)
1	2.145	2.930	-27.94	92.8
2	2.450	3.287	-77.56	70.8
3	2.663	5.248	-51.76	74.2

SE modeli ile gerçek model arasındaki mod şekilleri korelasyonu gösteren MAC değerleri matrisi ise Şekil 4'te verilmiştir.



EMA: deneysel modal analiz FEA: Sonlu eleman analizi

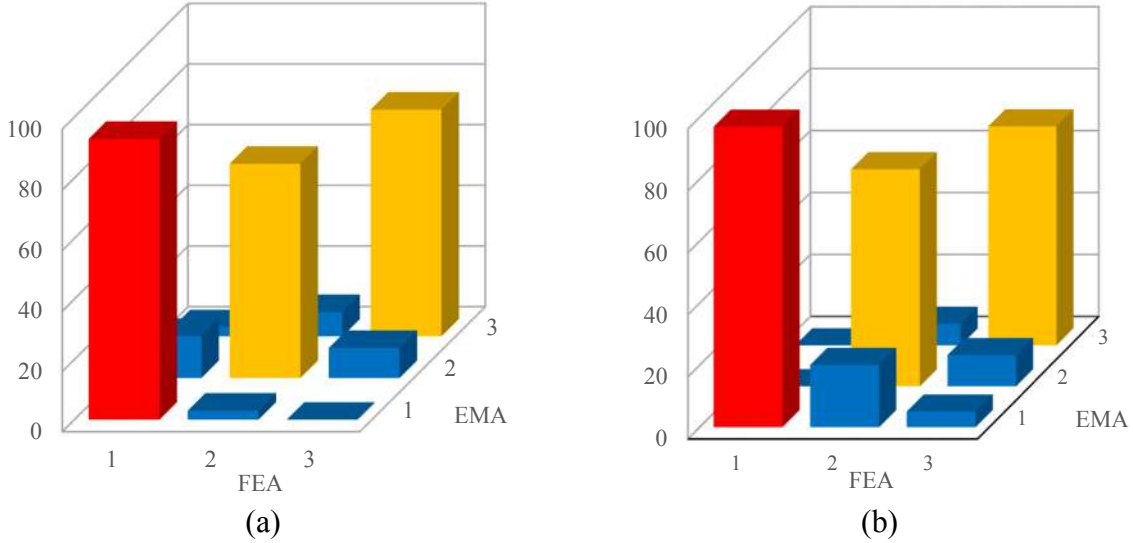
Şekil 4. Yan Sokak Apartmanı MAC matrisi (Yan Sokak Apartment MAC matrix)

5.2. Yan Sokak Apartmanı Model Güncelleme Çalışması (Yan Sokak Apartment Finite Element Model Updating Study)

Binanın deneysel ve teorik frekans değerlerinin ve mod şekillerinin karşılaştırılmasının ardından SE modelinin deneysel sonuçlara göre iyileştirilmesi aşaması yani Sonlu Eleman Modeli Güncelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Model güncelleme aşamasında ilk olarak güncelleme parametresi belirlenmiştir. Güncelleme parametresi olarak betonarme yapılarda belirsizlik oranı yüksek olan binanın rijitliğini ve davranışını doğrudan etkileyen betonun elastisite modülü seçilmiştir. Farklı geometri ve davranış özelliklerine sahip tüm elemanların elastisite modülleri güncelleme parametresi olarak seçilmiştir. Sonlu eleman modelinde yapısal elemanların elastisite modülleri iteratif olarak deneysel model dinamik parametrelerine yakınsayınca kadar güncellenmiştir. Güncelleme sonucunda sonlu eleman modelinden elde edilen binanın yeni frekans değerleri ve mod şekillerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Tablo 5'te, güncelleme öncesi ve sonrası elde edilen MAC matrisleri ise Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Yan Sokak Apartmanı güncelleme sonrası elde edilen frekanslar (Yan Sokak Apartment frequency values after finite element model updating)

Mod	Sap2000	Deneysel	Fark	MAC
1	2.820	2.930	-3.90	96.9
2	3.363	3.287	2.26	70.0
3	3.566	5.248	-47.16	70.7



EMA: Deneysel modal analiz, FEA: Sonlu eleman analiz

Şekil 5. Yan Sokak Apartmanı model güncelleme öncesinde (a) ve sonrasında (b) elde edilen MAC matrisleri (Yan Sokak Apartment MAC matrices before (a) and after (b) finite element model updating)

Güncelleme çalışması sonucunda birinci mod şeklinde bir iyileşme yakalanmıştır. Ayrıca frekans değerlerinde de gerçek değerlere yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan güncelleme sonucunda binanın mevcut rijitliğinin sonlu eleman modelinden elde edilenden daha yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada Sakarya merkezde bulunan, 17 Ağustos 1999 depreminde herhangi bir hasar almayan Yan Sokak Apartmanı incelenmiştir. İnceleme kapsamında binanın deneysel ve teorik modal analiz yöntemleri kullanılarak yapı dinamik parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde oluşturulan SE modeli kullanılarak mevcut durum ile uyumlu sonuçlar elde edildiği saptanmıştır. X yönündeki birinci mod şeklinde % 92.8 oranında büyük bir uyum olduğu görülmektedir. Y yönündeki ikinci mod şeklinde %70 ve burulma modu olan üçüncü mod şeklinde ise bu uyumun %74'ler seviyesinde olduğu görülmektedir. Tüm modlar için % 70 ve üzerinde kabul edilebilir bir uyum yakalanmıştır. Malzeme davranışı ve rijitlik değişimi tam olarak bilinmeyen, yapım ve davranış aşaması birçok belirsizlik içeren betonarme yapılarda böyle bir uyumun yakalanması azımsanmayacak bir sonuçtur. Betonun elastisite modülü kullanılarak gerçekleştirilen sonlu eleman modeli güncelleme çalışması sonucunda ise sadece X yönündeki birinci modda iyileşme yakalanmıştır. Diğer modlarda iyileşme yakalanamamıştır. Bu çalışmada sadece betonun elastisite modülü göz önüne alınarak model güncelleme çalışması yapılmıştır. Bundan sonra yapılacak

çalışmalarda farklı güncelleme parametrelerinin kullanılması ve sonlu eleman modelinde yapı zemin etkileşiminin detaylı olarak tanımlanması ile gerçekle daha uyumlu sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir. Yapılan çalışma sonucunda anlaşılmıştır ki, çevrel titreşim kayıtları kullanılarak tahribatsız bir şekilde mevcut bir yapının dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi mümkündür. Yapılacak sonlu eleman modeli güncelleme çalışmaları ile analitik modellerin gerçek modelleri daha iyi şekilde temsil edebileceği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Yazarlar, bu çalışmanın yapılmasını destekleyen 108M303 numaralı Tübitak projesine teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A.C., Sevim, B. and Özcan, M. (2010) Binaların dinamik parametrelerinin operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi, İmo Teknik Dergi, pp. 5185–5205.
- [2] Kaya, H. (2004) Experimental modal analysis of a steel grid frame, Msc Thesis, Middle East Technical University.
- [3] Soyoz, S., Taciroglu, E., Asce, M., Orakcal, K., Nıgbor, R. and Skolnik, D. (2014) Ambient and forced vibration testing of a reinforced concrete building before and after its seismic retrofitting, vol. 139, No. 10, pp. 1741–1752.

- [4] Ventura, C. E., Lord, J. and Simpson, R. D. 'Effective use of ambient vibration measurements for modal updating of a 48 storey building in Vancouver, Canada', In Proceedings Of The 22th International Modal Analysis Conference (Imac).
- [5] Zhang, L. An Overview of operational modal analysis : major development and issues 1 . Major developments of OMA," No. 1.
- [6] Svibs. (2014) What is operational modal analysis, Available:
http://www.svibs.com/solutions/what_is_oma.aspx [10 May 2014].
- [7] Bendat, J. S. and Piersol, A. G. (1993) Engineering applications of correlation and spectral analysis (2). Usa: John Wiley&Sons.
- [8] Özçelik, Ö.,Yücel, İ. S. and Mısıır, U. (2013) Model Bir yapının hasar tanımlaması ve model - sarsıcı etkileşiminin azaltılması için kullanılan offline iterasyon tekniği, pp. 1–11.
- [9] Chen, G. (2001) FE Model Validation for Structural Dynamics, PhD Thesis, University of London.
- [10] Dynamic Design Solutions (DDS) (2014) Femtools, versiyon 3.7.
- [11] Kutanis, M., Beyen, K., Yılmaz, M. T. and Bal, İ. E. (2011) Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin deprem sonrası Türkiye' de gözlenen yapı performansları ile karşılaştırılarak geliştirilmesi, 108m303 nolu Tübitak Projesi.
- [12] Arel Deprem İzleme Simulatörleri (2014) Arel Dac Series, Available:
<http://www.areldeprem.com.tr/en/ivmeolcer> [15 May 2014].
- [13] Beyen, K., Kutanis, M., Tanöz, H. Ö. and Başkan, D. (2007) Yapı sağlığı izleme ve yapı tanı çalışmalarını için akıllı aktarma protokollü kablosuz sensör ağı, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı.
- [14] Svibs. (2014) ARTeMIS, Ambient response testing and modal identification software, versiyon modal 3.0.
- [15] Computers and Structures (2013) Sap2000 versiyon 15.1.0. Berkeley.