

# ICEANS 2022



## **2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences**

October 15 - 18, 2022: Konya, Turkey

**Proceeding Book**



2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences

October 15 - 18, 2022, Turkey

**Typesetting**

Asst. Prof. Dr. Umut ÖZKAYA

**Cover Design**

Asst. Prof. Dr. Umut ÖZKAYA

**Editors**

Asst. Prof. Dr. Umut ÖZKAYA

ISBN: 978-605-73046-3-6



## **National Organizing Committee**

Prof. Dr. Adnan Sözen, Gazi University

Prof. Dr. Murat Yakar, Mersin University, Turkey

Assoc. Prof. Enes Yiğit, Uludağ University

Assoc. Prof. Halit Öztekin, Sakarya Applied Science University

Assoc. Prof. Harun Kemal Öztürk, Pamukkale University

Assoc. Prof. Merih Palandöken, İzmir Katip Çelebi University

Asst. Prof. Umut Özkaya, Konya Technical University

Dr. Şaban Öztürk, Amasya University

## **International Organizing Committee**

Prof. Dr. Josep Guerrero, Aalborg University

Prof. Dr. Carlos A. Coelho, Universidade Nova de Lisboa

Prof. Dr. Mohammad Ashraf Gondal, King Fahd University

Prof. Dr. Weidong Zhu, University of Maryland

Assoc. Prof. Dr. Abdul Ghaffar, Government College University

Assoc. Prof. Dr. Farid Melgani, University of Trento

Assoc. Prof. Dr. Francesco Cottone, University of Perugia

Assoc. Prof. Dr. Rita Ismailova, Kyrgyz Turkish Manas University

Dr. Amina Othmani, University of Monastir -Tunisia

Dr. Arti Jain, Jaypee Institute of Information Technology

Dr. Mariya Ouaisa, Moulay Ismail University

Dr. R.A. Ilyas, Universiti Teknologi Malaysia



## **Scientific Committee**

Prof. Dr. Abdurazzag Ali Aburas, University of Kwazulu-Natal

Prof. Dr. Adnan Sözen, Gazi University

Prof. Dr. Amit Soni, Manipal University

Prof. Dr. Anis Koubaa, Prince Sultan University

Prof. Dr. Carlos A. Coelho, Universidade Nova de Lisboa

Prof. Dr. Josep Guerrero, Aalborg University

Prof. Dr. Juan Vasquez, Aalborg University

Prof. Dr. Laszlo T. Koczy, Budapest University of Technology and Economics

Prof. Dr. Mohammad Ashraf Gondal, King Fahd University

Prof. Dr. Murat Yakar, Mersin University, Turkey

Prof. Dr. Muhammad Rashid, University of West Florida

Prof. Dr. Saad Mekhilef, Malaya University

Prof. Dr. Salim Ibrir, King Fahd University

Prof. Dr. Subarna Shakya, Tribhuvan University

Prof. Dr. Suzuki Hisashi, Chuo University

Prof. Dr. Usha Mehta, Institute of Technology, Nirma University

Prof. Dr. Vagif Gasimov, Azerbaijan Technical University

Prof. Dr. Weidong Zhu, University of Maryland

Assoc. Prof. Abdul Ghaffar, Government College University

Assoc. Prof. Ali Hakan Işık, Burdur Mehmet Akif Ersoy University

Assoc. Prof. Amita Nandal, Manipal University

Assoc. Prof. Aslan İnan, Yıldız Teknik University

Assoc. Prof. Atif Iqbal, Qatar University  
Assoc. Prof. Francesco Cottone, University of Perugia  
Assoc. Prof. Farid Melgani, University of Trento  
Assoc. Prof. Halit Öztekin, Sakarya Applied Science University  
Assoc. Prof. Hamdy Ziedan, Assiut University  
Assoc. Prof. Harun Kemal Öztürk, Pamukkale University  
Assoc. Prof. Jiri Pela, Brno University of Technology  
Assoc. Prof. Merih Palandöken, İzmir Katip Çelebi University  
Assoc. Prof. Rita Ismailova, Kyrgyz Turkish Manas University  
Assoc. Prof. Sadia Samar Ali, King Abdul-Aziz University  
Assoc. Prof. Tanmay De, National Institute Of Technology Durgapur  
Assoc. Prof. Zeashan Khan, Air University  
Dr. Ali Almisreb, International University of Sarajevo  
Dr. Amina Othmani, University of Monastir-Tunisia  
Dr. Arti Jain, Jaypee Institute of Information Technology  
Dr. Arun Kumar Verma, Malaviya National Institute of Technology Jaipur  
Dr. Aziz Shah, University of Glaskow  
Dr. Bal Chand Nagar, ECE National Institute of Technology Patna  
Dr. Baoze Wei, Aalborg University  
Dr. Bohumil Brtník, University of Pardubice  
Dr. Diptiranjan Behera, The University of the West Indies at Mona  
Dr. Fayçal BENSALI, Qatar University  
Dr. Fugui Qi, Fourth Military Medical University  
Dr. Magdi S. Mahmoud, King Fahd University  
Dr. Mariya Ouaisa, Moulay Ismail University  
Dr. Merdaci Slimane, University of -Sidi Bel Abbés, Algeria  
Dr. Moharram Challenger, Antwerp University

Dr. Muhammad Sultan, Zakariya University

Dr. Lesya Anishchenko, Bauman Moscow State Technical University

Dr. Sadina Gagula Palalić, International University of Sarajevo

Dr. Stefania Tomasiello, University of Tartu

Dr. Syed Omer Gilani, National University of Sciences and Technology (NUST)

Dr. Tarık Namas, International University of Sarajevo

Dr. Uduak A. Umoh, University of Uyo

Dr. Yajuan Guan, Aalborg University



## **Keynote Speakers**

Prof. Dr. Josep M. Guerrero, Aalborg University, Denmark

Prof. Dr. Sunny Joseph Kalayathankal, Jyothi Engineering College, India

Assoc. Prof. Dr. Shahzad Ali Shahid Chatha, Government College University,  
Pakistan

Asst. Prof. Dr. R.A. Ilyas, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia



## Topics

### **Engineering**

Aerospace Engineering  
Agricultural Engineering  
Biological Engineering  
and Sciences  
Biological Systems  
Engineering  
Biomedical Engineering  
Bioprocess Engineering  
Chemical Engineering  
Civil Engineering  
Computer Engineering  
Electrical Engineering  
Electronic Engineering  
Energy Engineering  
Environmental  
Engineering  
Food Engineering  
Geotechnical Engineering  
Genetic Engineering  
Industrial Engineering  
Manufacturing  
Engineering

Materials Engineering  
Mechanical Engineering  
Mining and Geophysical  
Engineering  
Nanoengineering  
Nuclear Engineering  
Petroleum Engineering  
Power Engineering  
Process Engineering  
Forest Industry  
Engineering  
Structural Engineering  
Systems and Software  
Engineering  
Textile Engineering  
Thermal Engineering  
Web Engineering

### **Natural Sciences**

Astronomy and Space  
Sciences  
Atmospheric Sciences  
Biological Sciences  
Botany

Bacteriology  
Chemistry  
Fisheries and Aquaculture  
Sciences  
Forestry Sciences  
Genetics  
Geological Sciences  
Materials Science  
Mathematics  
Medical Sciences  
Meteorology  
Microbiology  
Mineralogy  
Palaeoecology  
Pharmacology  
Physical Sciences  
Physics  
Plant Sciences  
Psychology  
Statistics  
Systems Biology

# 2 ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND APPLIED NATURAL SCIENCES

OCTOBER 15-18, 2022

---

21.10.2022

15-18 Ekim 2022 tarihlerinde MEET üzerinden çevrimiçi olarak gerçekleştirilen 2 nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences akademik teşvik kriterlerini sağlamaktadır. Toplam 587 adet bildirinin yer aldığı kongre dört gün boyunca çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir.

Türkiye dışından toplam 24 farklı ülkeden katılım sağlanmış olup, 587 adet bildirinin 300 tanesi yabancı katılımcı tarafından sunulmuştur.

*Kongremize ilginiz için teşekkür ederiz.*

*Saygılarımızla,*



---

Asst. Prof. Dr. Umut Özkaya

*Congress' Coordinator*

## İnşaat Mühendisliğinde Operasyonel Modal Analiz Yönteminin Kullanılması

Ayça Akbaş<sup>1\*</sup>, Özlem Çalışkan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü / Lisansüstü Eğitim Ens., İnşaat Mühendisliği ABD., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

\*aycakbas26@gmail.com

**Özet** – İnşaat mühendisliği yapılarının planlanan servis ömrü boyunca güvenli olarak hizmet vermesi gerekmektedir. Ancak doğal afetler, çevresel etkiler, farklı yüklemelere maruz kalma, malzeme özelliklerinin zaman içerisinde mukavemetlerini yitirmesi veya kimyasal etkilere maruz kalınması vb. etkiler yapıların servis ömürleri boyunca güvenli hizmet vermeleri için tehdit oluşturmaktadır. Bu tehditlerin önlenememeleri durumunda büyük ölçüde can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıpları önlemek için yapıların dinamik davranışlarının belirlenmesi gerekmektedir. İnşaat mühendisliğinde yapıların dinamik davranışlarının belirlenmesi; onarım-güçlendirme ihtiyaçlarının olup olmadığının saptanabilmesi, yapıların buldukları bölgedeki bilinen deprem yükü etkisindeki veya çevresel etkiler altındaki dinamik davranışlarının bilgisayar ortamında modellenebilmesi, kültürel miraslarımız olarak kabul edilen tarihi yapıların korunabilmesi vb. amaçlarla Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanılmaktadır. Deneysel modal analiz yöntemlerinden biri olan Operasyonel Modal Analiz yönteminin uygulanması sırasında bilinen bir tahrik kuvvetine gerek duyulmamaktadır. Bu nedenle bu yöntem ölçüm işlemleri sırasında yapılarda hasar meydana getirmemektedir. Özellikle tarihi yapılar gibi korunması gereken hassas yapılarda tahrik kuvvetleri hasar meydana getirebileceği için Operasyonel Modal Analiz yönteminin kullanılması daha isabetli bir karar olmaktadır. Operasyonel Modal Analiz yöntemi sonucunda elde edilen yapı dinamik karakteristikleri aracılığı ile belirlenen yapı dinamik davranışları neticesinde yapıların onarım-güçlendirme ihtiyaçları, performans analizleri, yük altındaki davranışları, imalatları tamamlanan yapıların projeye uygunluğunun kontrolleri ve yapıların fonksiyonellikleri belirlenebilmektedir. Belirlenen bu parametreler ışığında olası can ve mal kayıplarının öne geçilebilme ve tarihi miraslarımız korunmaktadır. Bu çalışmanın amacı Operasyonel Modal Analiz yöntem ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi vermek, Operasyonel Modal Analiz yönteminin inşaat mühendisliği ve mühendislik yapıları için gereklilik ve önemini ortaya koymaktır.

*Anahtar Kelimeler – Operasyonel Modal Analiz, Modal Analiz, Dinamik Karakteristikler, İnşaat Mühendisliği*

### I. GİRİŞ

Barınma ihtiyacı, neredeyse tüm canlı türleri için en önemli temel ihtiyaçlar arasında yer almaktadır. İnsanlık tarihine bakıldığında; insanların barınma ihtiyaçlarını gidermek amacı ile çeşitli doğal veya yapay materyallerden yararlandıkları ve bu materyalleri yüksek mukavemetli olanlar arasından seçtikleri gözlemlenmektedir. Barınma ihtiyacı kadar bu ihtiyacın güvenle karşılanması da önem arz etmektedir. Çimento ve çeliğin kompozit

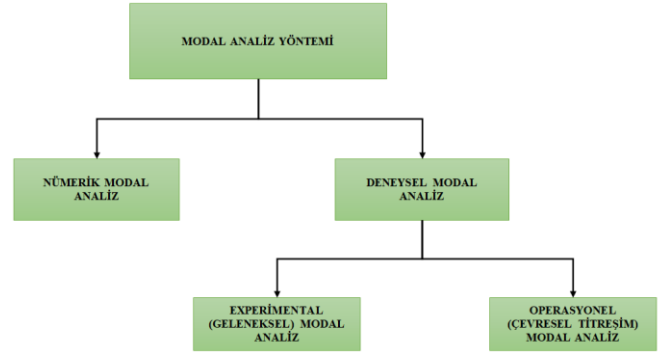
birleşiminden oluşan betonarme yapıların keşfi ile birlikte günümüzde bu ihtiyacın giderilmesinde en çok kullanılan malzemeler beton ve çelik olmuştur. Gelişen teknoloji ve değişen talepler ile birlikte insanlar yalnızca barınmak için değil birçok farklı amaca hizmet edecek farklı türde yapılar inşa etmeye başlamışlardır [1]. Mühendislik yapıları olarak genellenebilecek bu yapıların en önemli inşa edilme prensibi, planlanan servis ömrü süresince güvenle hizmet vermesidir. Mühendislik yapılarının fonksiyonelliğini azaltarak planlanan servis

ömürlerini ve güvenli hizmet vermelerini etkileyen bazı parametreler bulunmaktadır. Başlangıçta inşa edilen yapı elemanlarının özelliklerinin ve kondisyonlarının deprem, hava koşulları, patlama vb. gibi doğal etkiler altında kaldıklarında değişim göstermeleri, servis ömürleri boyunca maruz kaldıkları yüklerden dolayı meydana gelen mukavemet değişimleri, kimyasal etkilerden kaynaklanan değişimler, yapı malzemelerinin üretiminde veya servisleri sırasında meydana gelen değişimler bu parametreler arasında yer almaktadır [2].

Yapıların servis ömrünün, güvenliğinin bilinmesi ve ilerleyen zamanlarda karşılaşılabilecek belli başlı yükler altındaki davranışlarının önceden analiz edilebilmesi; doğal afetler veya çevresel etkilerden kaynaklanacak can ve mal kayıplarını önlenmesi, kültürel miraslar olan önemli tarihi yapıların korunması ve diğer nesillere aktarılması, karayolu ulaşımında kullanılan yapıların güvenliğinin sağlanması, yapıların durabilitesinin artırılması, yapıların onarım ve güçlendirme ihtiyacı olup olmadığının belirlenmesi ve meydana gelebilecek kayıpların önceden engellenebilmesi için oldukça önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu davranışların analiz edilmesi ve bilgisayar ortamında yapıların gerçeğine en yakın modellerinin oluşturularak dinamik davranışlarının tespit edilebilmesi için modal analiz yönteminden yararlanılmaktadır.

Gelişen teknoloji ve imkanlar ile birlikte, özellikle son 20 yıl içerisinde Modal Analiz yöntemi, mühendislik yapılarının dinamik karakteristikleri olarak bilinen parametrelerin belirlenmesinde, iyileştirilmesinde ve optimize edilmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Modal Analiz yöntemi; yapıların doğal frekanslarının, sönüm faktörlerinin ve mod şekillerinin deneysel ve matematiksel metotlar aracılığı ile belirlenerek, belirlenen bu veriler ışığında yapıların dinamik davranışlarının elde edilmesi sürecidir [3]. Literatüre bakıldığında; Modal Analiz yönteminin ilk olarak 1940'lı yılların başında, hava araçlarının dinamik davranışlarını daha iyi anlamak amacıyla uygulanan bir yöntem olduğu görülmektedir [4].

Modal Analiz yöntemi nümerik modal analiz ve deneysel modal analiz olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir (Şekil 1) [5].



Şekil 1. Modal Analiz Yöntemi

Günümüz teknolojisi ile birlikte nümerik analiz yönteminde yapısal analiz için geliştirilen, SAP2000, ETABS vb. bilgisayar programları kullanılmaktadır. Deneysel modal analiz yöntemi geleneksel yöntem olarak bilinen Experimental Modal Analiz (EMA) ve çevresel titreşim testi olarak da adlandırılan Operasyonel Modal Analiz (OMA) yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu iki yöntemin arasındaki en büyük fark geleneksel yöntem olarak bilinen Experimental Modal Analiz yönteminde; yapı dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi için yapılan analizlerde, ölçümler esnasında yapıya dışarıdan uygulanacak tahrik kuvvetlerine ihtiyaç duyulması olarak ortaya çıkmaktadır. Geleneksel deneysel yöntem ile karşılaştırıldığında; Operasyonel Modal Analiz yönteminde yapıya dışarıdan herhangi bir ek kuvvet uygulanmasına ihtiyaç bulunmamaktadır. Operasyonel Modal Analiz yönteminde tahrik kuvveti hava koşulları, trafik, yaya hareketleri, doğal yer titreşim hareketleri vb. gibi çalışır vaziyetteki yapıya etki edebilecek çevresel faktörler olmaktadır [6]. Operasyonel Modal Analiz yöntemi, ölçümler sırasında yapı üzerine herhangi bir tahrik kuvveti uygulanmaması nedeniyle özellikle korunması gereken tarihi eser niteliğindeki yapılar ve tarihi sanat yapıları için güvenli bir yöntem olarak tercih edilmektedir. Operasyonel Modal Analiz yöntemi ölçümleri sırasında yapıların işlevselliğinin devam etmesi, ölçümü yapılacak yapının kullanıma kapatılmasına gerek olmaması, günlük hayatta; örneğin ulaşım, eğitim vb. gibi durumlarda aksamalar yaratmaması ve ölçüm süresinin uzun olmaması gibi nedenler tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Ayrıca bunlara ek olarak literatüre göre Geleneksel deneysel yöntem ile kıyaslandığında Operasyonel Modal Analiz yönteminin daha az maliyetli olduğu öne sürülmektedir [7].

Literatüre göre Operasyonel Modal Analiz yönteminin kullanıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Kuyumcuoğlu [8] yaptığı çalışmada, Operasyonel Modal Analiz yönteminin uygulama alanları ve uygulanabilirliğini saptamak amacıyla farklı materyal veya malzemeler üzerinde uygulanmasını irdelemiştir. Birinci [9] yüksek lisans çalışmasında taş kemer köprülerin dinamik karakteristikleri olan doğal frekansları, sönüm oranları ve mod şekillerinin deneysel ve teorik olarak belirlenmesi ve buna ek olarak köprülerin sonlu eleman modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemi ile iyileştirmesi üzerinde çalışmıştır. Özcan [10] doktora tez çalışmasında, yapıların patlatma kaynaklı doğrusal olmayan davranışları deneysel yöntemlerle belirlemiştir. Çalışmasında, betonarme ve yığma taşıyıcı sistemine sahip olan hem bina hem de köprü örnekleri kullanmıştır. Bu yapı örneklerinin patlatma anındaki zemin ve yapı titreşim verilerini almıştır. Patlatma hasarının tahmin kriterlerinin belirlenmesi amacıyla bölgeye ait 64 adet patlatma kaydı verisi kullanmıştır. Yapılara ait dinamik karakteristiklerin belirlenmesinde Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Sevim [11] doktora tezi çalışması kapsamında kemer barajların dinamik davranışlarının sonlu eleman ve deneysel modal analiz ile belirlenmesini, laboratuvar ortamında inşa edilen küçük ölçekli TİP-1 barajı ve mevcut bir baraj olan Berke Barajı üzerinde uygulamıştır. Turan [12] çalışmasında dengeli konsol betonarme karayolu köprülerinin dinamik karakteristiklerini belirlemek amacı ile deneysel modal analiz ve analitik çalışma yöntemlerini kullanmıştır. Deneysel modal analiz yöntemi olarak Operasyonel Modal Analiz yöntemini seçmiştir. Osmancıklı [13] yaptığı çalışmada, prefabrik yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde analitik ve deneysel yöntemler kullanarak, Operasyonel Modal Analiz yönteminin kullanıldığı deneysel yöntem sonuçlarına göre yapıların sonlu eleman modellerinin iyileştirilmesini amaçlamıştır. Baştürk [14] yaptığı tez çalışmasında Bursa ilinde bulunan tarihi yığma minarelerin dinamik davranışlarının incelenmesinde modal analiz yöntemi kullanmıştır. Çalışma kapsamında 7 adet minare incelemiştir. Analiz yöntemleri beraberinde bulunan frekansların yapıların deprem davranışlarındaki etkisi üzerinde durmuştur. Bu etkiyi belirlemek amacı ile deprem yönetmeliğinden yararlanmıştır. Toydemir [15]

Sivas-Ankara Demiryolu hattında bulunan 5 adet köprüünün deprem performansının spektral analizini incelemek amacıyla bu çalışmayı yapmıştır. Çalışmasında kullandığı köprülerin analitik ve deneysel analizleri sonucunda bulduğu dinamik karakteristiklerini karşılaştırmıştır. Çalışmada deneysel analiz olarak Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Demirtaş [16] yaptığı çalışmada çok katlı betonarme binaların dinamik karakteristiklerinin hesaplanmasında Operasyonel Modal Analiz yöntemi ve Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanmıştır. Çalışmasının amacını, yakın fay yer hareketlerine göre izolatörlü ve izolatörsüz deprem davranışlarının araştırılması olarak belirtmiştir. Kömür vd. [17] yaptıkları çalışmada Operasyonel Modal Analiz yöntemini laboratuvar ortamında oluşturdukları küçük ölçekli düzlem çelik çerçeve sistemler üzerinde uygulamışlardır. Çalışma kapsamında tek katlı-tek açıklıklı ve üç katlı-tek açıklıklı düzlem çelik çerçeve sistemler kullanmışlardır. Başlangıç olarak bu sistemlerin SAP2000 programı üzerinde sonlu eleman modellerini oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu sonlu eleman modellerinin dinamik karakteristiklerini nümerik analiz yöntemi ile elde etmişlerdir. Sonrasında yapılan Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile elde ettikleri dinamik karakteristikleri ise nümerik analiz sonucunda elde ettikleri dinamik karakteristikler ile karşılaştırmışlardır. Koçak vd. [18] çalışmalarında Ankara-Sivas yolu üzerinde bulunan, tek açıklıklı bir demiryolu köprüsü olan, DGK175 köprüsünün dinamik karakteristiklerini, Operasyonel Modal Analiz ve Sayısal Analiz yöntemi ile belirlemişlerdir. Boru [19] yaptığı çalışmada DBYBHY 2007 yönetmeliğine göre 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'ni geçirmiş hasarsız, az hasarlı ve hasarlı olmak üzere seçtiği 8 bina üzerinde deprem performans analizi yapmıştır. Çalışmasında öncelikle seçtiği binaların SAP2000 ve Probing Orion programları ile sonlu eleman modellerini hazırlamıştır. Hazırladığı modellerden yine aynı programlar aracılığıyla yapıların dinamik karakteristiklerini elde etmiştir. Modeli bu binaların gerçek binaların davranışlarına en yakın hale getirecek sonlu eleman model iyileştirmesini yapabilmek amacıyla yapıları Operasyonel Modal Analiz yöntemini uygulamıştır. Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile ARTEMIS programında Geliştirilmiş Frekans Tanım Aralığı Ayırıştırma yöntemi kullanımı sonucunda elde ettiği dinamik

karakteristikler ile analitik olarak bilgisayar programları aracılığıyla elde ettiği dinamik karakteristikleri karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda sonlu eleman modellerinin iyileştirilmesini ve güncellemesini yapmıştır. Hökeleli [20] yaptığı çalışmada Manisa ilinde bulunan Hafsa Sultan Camii'nin ve minaresinin deprem davranışının belirlenmesini amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda caminin dinamik karakteristiklerini analitik ve deneysel yöntemler ile belirlemiştir. Analitik yöntem olarak sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Çalışmada ilk olarak Hafsa Sultan Camii'nin hasar tespiti, taşıyıcı eleman ve malzeme deneylerini yapmıştır. Yapılan tespitler doğrultusunda AutoCad ve ABAQUS programları ile yapının sonlu eleman modelini oluşturmuştur. Oluşturduğu sonlu eleman modelinden teorik olarak dinamik karakteristikleri elde etmiştir. Daha sonra yapıya Operasyonel Modal Analiz yöntemi uygulayarak elde ettiği dinamik karakteristiklere göre yapının sonlu eleman modelinin iyileştirmesini yapmıştır. Yapının deprem davranışını belirlemek amacıyla 1999 Kocaeli Depremi Düzce ili ivme kayıtlarını kullanarak Zaman Tanım Alanında doğrusal deprem analizi yapmıştır. Önceden yaşadığı deprem ile hasar geçmişi olan bu caminin çatlak olan noktalarını esas alarak deprem davranışlarını sunmuştur. Yetkin [21] çalışmasında Elazığ ilinin Doğukent mahallesinde bulunan Karabulut Sitesi A bloğunun dinamik karakteristiklerini elde etmek ve sonlu eleman modelini iyileştirmek amacıyla Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Çalışmasında bodrum + 5 kat olan betonarme yapıyı proje verilerine uygun olarak SAP2000 programı ile modellemiştir. Operasyonel Modal Analiz sonucunda elde ettiği dinamik karakteristikler ile analitik olarak elde ettiği dinamik karakteristikleri karşılaştırarak, Operasyonel Modal Analizden elde ettiği dinamik karakteristiklere göre yapının sonlu eleman modelini iyileştirmek amacı ile analitik modeli güncellemiştir. Kurt [22] çalışmasında Ordu ili Ordu-Ulubey yolunda bulunan Şihlar Köyündeki Sarpderesi üzerinde bulunan tarihi Osmanlı döneminin son kısımlarına (19.yüzyıl) dayanan Tarihi Sarpdere Köprüsü'nün dinamik karakteristiklerini elde etmiştir. Dinamik karakteristikleri elde ederken analitik yöntem olarak Sonlu Elemanlar Yöntemini, deneysel yöntem olarak ise Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Mert [23] çalışmasında yapıların

dinamik karakteristiklerini belirlemek ve güçlendirme yapılan yapılarda yapılan güçlendirme işleminin dinamik karakteristikleri nasıl etkilediğini incelemek amacıyla Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Çalışmasının başında malzeme deneyleri ile birlikte referans yapılar inşa etmiştir. İnşa ettiği bu referans yapılara sarsma tablası aracılığıyla deprem etkisi yaratmıştır. Bu yükleme işlemi sonrasında yapılara güçlendirme uygulaması yapmıştır. Güçlendirme uygulaması öncesi ve sonrasında Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanarak yapıların dinamik karakteristiklerini elde ederek karşılaştırmalarını yapmıştır. Yavuzer [24] yaptığı çalışmada İstanbul ili, Eyüp ilçesi, Defterdar Caddesi ile Zal Paşa Caddesi arasında bulunan Zal Mahmud Paşa külliyesinin yapısal davranışını ve geçmiş deprem hasarlarının incelemesini yapmıştır. Örnek caminin dinamik karakteristiklerinin elde edilmesinde Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Özkul [25] çalışmasında İzmir'in Tire ilçesinde bulunan 1894 yılında inşa edilmiş ve zaman içerisinde yalnızca minaresi ayakta kalabilmiş olan, Rahmanlar Camii Minaresinin deprem performansının deneysel yöntem olan Operasyonel Modal Analiz yöntemiyle belirlenmesini amaçlamıştır. Güneş ve Anıl [26] Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile yığma yapıların dinamik davranışlarının belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında ele alınan Ankara ilinin Çankaya ilçesine bağlı ve Maltepe Semtinde bulunan 5 katlı yığma yapının dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde hem nümerik analiz yöntemine hem de Operasyonel Modal Analiz yöntemine başvurmuşlardır. Nümerik analizi ise sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Erol [27] çalışmasında TCDD köprüsünün dinamik karakteristiklerinin elde etmek amacıyla analitik analiz yöntemi olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi ve deneysel analiz yöntemi olarak ise Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. TCDD 39+646 köprüsünün SAP2000 programı ile sonlu eleman modelini oluşturmuştur. Oluşturduğu modele program aracılığı ile modal analiz yaparak köprünün dinamik karakteristikleri olan mod şekilleri ve doğal frekans değerlerini elde etmiştir. Bu analiz sonucunda sonlu eleman iyileştirmesi yapılmamış model üzerinde oluşan sehim ve etkiyen momentleri incelemiştir. Daha sonra köprünün deneysel analizini Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile yapmıştır. Operasyonel

Modal Analiz yöntemi sırasında çevresel etkiler olarak; tren yükü, rüzgâr ve yaya hareketleri kullanmıştır. Operasyonel Modal Analiz sonucunda Skotastik Alt Alan Belirleme (SAAB) yöntemiyle köprüye ait dinamik karakteristikleri elde etmiştir. Analitik ve deneysel analizlerden elde edilen dinamik karakteristikleri karşılaştırarak köprünün sonlu eleman modelinin iyileştirmesini yapmıştır. Gani [28] yaptığı çalışmada Tarihi Davutpaşa Kışlası olarak bilinen ve günümüzde Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü bünyesinde Fen-Edebiyat Fakültesi olarak kullanılan yapının dinamik karakteristiklerini elde ederken Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Aslay [29] çalışmasında 1939 Erzincan Depremi nedeniyle apsis kısmının yıkıldığı iddia edilen Değirmenliköy Kilisesi'nin gerçek yıkılma sebebini araştırmak amacıyla Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Operasyonel Modal Analiz yöntemiyle elde ettiği dinamik karakteristikleri analitik olarak elde ettiği dinamik karakteristikler ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda çıkan farkların giderilmesi ve gerçeğe uyum sağlaması amacıyla Operasyonel Modal Analiz yönteminden elde ettiği dinamik karakteristikleri referans alarak yapının sonlu eleman modelini iyileştirmiştir. Güneş [30] yaptığı çalışmada yağma bir yapının dinamik karakteristiklerini, nümerik analiz ve deneysel yöntemler ile belirlemiştir. Çalışmada binaya ait dinamik karakteristiklerin belirlenmesinde nümerik yöntem olarak sonlu elemanlar yönteminden, deneysel çalışmalarda ise Operasyonel Modal Analiz yönteminden yararlanmıştır. Özdoğan [31] yaptığı çalışmada Erzurum ili Yakutiye ilçesi Kadana Mahallesi'nde bulunan Kadana Camii'nin dinamik karakteristiklerinin elde edilmesinde analitik yöntem ile Operasyonel Modal Analiz Yöntemini kullanmıştır. Bulgur [32] yaptığı çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Yerleşkesi'nde bulunan Otağ-1 Humayun tarihi binasının sonlu elemanlar yöntemi ile modellemesini oluştururken Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Youssouf [33] yaptığı çalışmada tarihi bir yağma yapı örneğini oluşturan duvarların düzlem dışı deprem etkileri için hasar limitlerinin irdelenmesinde, yapı dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi ve elde edilen dinamik karakteristiklere göre sonlu eleman modelinin iyileştirilmesi aşamasında Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Alpaslan [34]

yaptığı çalışmada Tarihi Sarpdere Köprüsü'nün deneysel yöntemlerle dinamik karakteristiklerini belirleyerek; laboratuvar ortamında küçük bir boyutunu inşa ettiği tarihi köprü ile aynı özellikleri taşıyan yapıya meydana gelmesi muhtemel hasarlar vererek yapının bu hasarlar karşısında dinamik davranışlarında meydana gelen değişimlerin incelenmesiyle, gerçek yapıdaki hasar bölgesinin yerinin araştırılmasını amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda gerçek Sarpdere Köprüsü'ne Operasyonel Modal Analiz uygulayarak yapının gerçek dinamik karakteristiklerini elde etmiştir. Laboratuvar ortamında küçük ölçekli olarak modellenen köprüye de Operasyonel Modal Analiz yöntemi uygulayarak prototip yapının dinamik karakteristiklerini de elde ederek karşılaştırmıştır. Sarıça [35] çalışmasında yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde çevresel titreşim testi olarak bilinen Operasyonel Modal Analiz yönteminde kullanılabilecek bir bilgisayar programı yazılımı üzerinde çalışmıştır. Altıok [36] yaptığı çalışmada Manisa'da bulunan tarihi Lala Mehmet Paşa Camii ve İbrahim Çelebi Camii yapılarına ait minarelerin dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde deneysel yöntem olarak Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Yücel [37] yaptığı çalışmada herhangi bir ikaz kuvveti uygulanmasına ihtiyaç duyulmayan Operasyonel Modal Analiz yöntemini bir dizel gemi jeneratörü üzerinde uygulanmasının sonuçlarını ele almıştır. Akbaş [38] çalışmasında iki betonarme binada bağ kirişlerinin etkilerinin araştırılmasında; İstanbul ilinde 1976 yılında inşa edilen, A ve B Bloklarından oluşan, ikiz ve kat seviyelerinde bağ kirişleriyle birbirine bağlı betonarme binalar üzerinde Operasyonel Modal Analiz ve Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanmıştır. Çalışmanın başında yapıları laboratuvar ortamında gerçek ölçekli ve bağ kirişli olarak modellemiştir. Modellenen yapılar üzerinde her biri için ayrı olmak koşuluyla Operasyonel Modal Analiz yöntemi uygulamış ve sonlu eleman modellerini oluşturmuştur. Şahin [39] yaptığı çalışmada kauçuk izolatörlü yapıların soğuk hava koşulları etkisi altındaki modal davranışlarını araştırmak amacıyla; Erzurum şehrinde bulunan, toplam 386 adet kauçuk izolatör üzerinde inşa edilmiş olan Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nin incelemesini yaparken Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Savaş [40] yaptığı çalışmada çok katlı betonarme yapıların yapım kalitesi kontrolünün

değerlendirilmesinde Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Yetkin vd. [41] Operasyonel Modal Analiz yönteminde referanslı ve referanssız ölçümlerin karşılaştırılması için yaptıkları çalışmada Elazığ ilinde bulunan Sait Koç Cami'nin minaresi kullanmışlardır. Üç farklı ölçüm kullanılan bu çalışmada referanslı ve referanssız ölçüm sonuçlarını listelemişlerdir. Toydemir [42] çalışmasında yığma ve betonarme binalarda duvar boşluklarının rijitlik üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla deneysel analiz yöntemi olan Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır. Erkek [43] yaptığı çalışmada yığma yapıların deprem davranışlarının incelenirken yapı dinamik karakteristiklerinin elde edilmesinde, örnek olarak ele aldığı Adana ilinde bulunan Adana Büyük Saat Kulesi üzerinde Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmıştır.

## II. OPERASYONEL MODAL ANALİZ YÖNTEMİ

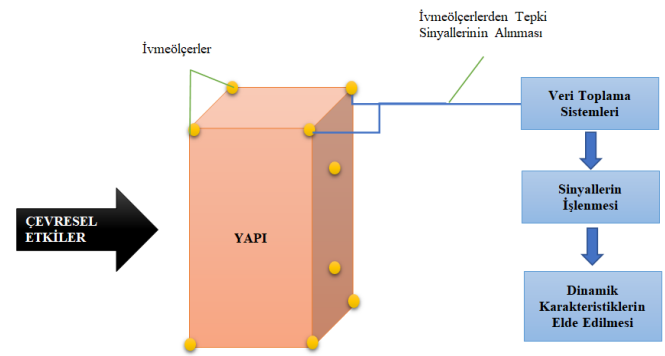
Yapıların dinamik karakteristikleri veya modal parametrelerinin (doğal frekans, mod şekilleri, sönüm oranı) belirlenmesinde nümerik yöntemlerin kullanılması her zaman yeterli olmamaktadır. Nümerik analiz yöntemlerinde yapının sınır şartları ve başlangıç koşulları ile ilgili genel kabuller yapılmaktadır. Yapılan bu kabuller ışığında elde edilen yapı dinamik karakteristiklerinin doğrulanması veya iyileştirilmesi için yerinde yapılacak deneysel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yapıya ait doğru dinamik karakteristiklerini elde etmek amacı ile nümerik analiz ve deneysel analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır [8]. Deneysel modal analiz yöntemleri arasında bilinen en eski yöntem geleneksel yöntem olarak da bilinen Experimental Deneysel Modal Analiz yöntemidir. Geleneksel deneysel yöntemde yapılara ölçülebilir veya bilinen bir tahrik kuvveti etki ettirilmektedir. Bu etki sonucunda elde edilen tepki kuvvetleri ölçülmektedir. Ölçümler sonucunda yapıların dinamik karakteristikleri elde edilmektedir. Ancak geleneksel yöntemin bazı zorlukları bulunmaktadır. Yapılara uygulanan yapay kuvvetlere ve mevcut ortamın uyarma kaynaklarına (çevresel etkiler) güvenmek zorunda kalınması başlıca zorluklardan biri olmaktadır. Geleneksel deneysel yöntemde ortam kaynaklarını ölçmek oldukça zor bir işlemdir. Bu nedenle yapılara yapay bir tahrik kuvveti uygulanmasına ihtiyaç duyulmayan, tahrik kuvveti

olarak yalnızca çevresel etkilerin ölçümü ile çalışan Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanılmaya başlanmıştır [44].

Operasyonel Modal Analiz yönteminin inşaat mühendisliği yapılarının dinamik karakteristiklerinin elde edilmesinde oldukça başarılı bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Binalar, köprüler vb. büyük ölçekli ve kompleks inşaat mühendisliği yapılarının, herhangi bir tahrik kuvvetine gerek kalmadan ve yapılar çalışır vaziyette iken gerekli ölçümler yapılarak yapıların devre dışı bırakılması zorunluluğu olmadan dinamik karakteristiklerinin elde edilmesine imkân sağlayan bir yöntem olduğu görülmektedir [45].

Geleneksel deneysel analiz yöntemi olan Experimental Modal Analiz yöntemi etki-tepki prensibini esas alırken Operasyonel Modal Analiz yöntemi tepki prensibi üzerine şekillenmektedir. Bu tepkiler ise hava şartları, trafik, doğal afetler, patlama etkileri, gürültü vb. çevre koşulları olmaktadır. Bu sayede yapının tam anlamı ile çalışır vaziyetteki dinamik karakteristikleri elde edilmektedir [13].

Operasyonel Modal Analiz yönteminde yapıların en çok zorlamaya maruz kalan veya hassas olarak nitelendirilebilecek bölümlerine yerleştirilen ivmeölçerler aracılığı ile tepki sinyalleri ölçülmektedir. Ölçülen bu sinyaller veri toplama ünitelerine aktarılmaktadır. Veri toplama ünitelerinde bilgisayar yardımı ile elde edilen sinyaller işlenmekte ve yapının dinamik karakteristikleri elde edilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi İşlem Adımları

İvmeölçerlerden elde edilen tepki sinyallerinin işlenmesi yapılırken zaman veya frekans tanım alanları kullanılmaktadır. Sinyal işleme işlemleri sırasında kullanılan değişken zaman olduğunda Zaman Tanım Alanında Ayırıştırma Metodu olarak adlandırılan yöntem kullanılmaktadır. Literatüre göre zaman tanım alanında ayırıştırma yöntemleri

arasında en çok bilinen ve kullanılan yöntem Skotastik Alan Belirleme Yöntemi (SAB) olarak karşımıza çıkmaktadır. Zaman tanım alanında ayrıştırma yöntemlerinde sinyaller arası zamanlar ve bu zamanlar arasında bir bağlantı oluşturulması esas alınmaktadır [18]. Sinyal işleme işlemi sırasında kullanılan yöntemde değişkenin frekans olduğu durumda Frekans Alanında Ayrıştırma yöntemi olarak adlandırılan yöntem kullanılmaktadır. Literatüre göre frekans alanında ayrıştırma yöntemleri arasında en çok kullanılan iki yöntem Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (FTAA) ve Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemleridir. Frekans tanım alanında ayrıştırma yöntemlerinde sinyal frekansları detaylı analiz edilerek sinyallerin sayısal bağıntıları oluşturulmaktadır [29].

Sinyal işleme ve yapı dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi işlemlerinin ardından elde edilen sonuçlar ile yapıların nümerik analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Sonuçlarda farklılıklar bulunması durumunda ise Operasyonel Modal Analiz yöntemi kabulleri çerçevesinde sonlu eleman iyileştirmesi vb. işlemler yapılarak yapının çalışır vaziyetteki dinamik karakteristikleri ile nümerik analiz sırasında kullanılan yapının dinamik karakteristikleri eşitlenmektedir. Eşitlenme işlemi ardından yapısal analiz programları aracılığı ile yapıların farklı yükler altındaki davranışları gözlemlenebilmektedir. Bu gözlemler sonucunda elde edilen sonuçlara göre yapıların ihtiyaçları belirlenmektedir [16].

### 2.1 İnşaat Mühendisliğinde Operasyonel Modal Analiz Yönteminin Kullanılması

Operasyonel Modal Analiz yönteminin minimal boyuttaki makine parçalarından, devasa büyüklüklerdeki mühendislik yapılarına kadar birçok alanda kullanıldığı bilinmektedir. İnşaat mühendisliğinde Operasyonel Modal Analiz yöntemi;

- ✓ Yapıların inşasının tamamlanmasının ardından, projelendirme kısmında planlanan dinamik karakteristikleri sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesi,
- ✓ Yapıların onarım-güçlendirme ihtiyacının olup olmadığının belirlenmesi,
- ✓ Hasarlı yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesi,

- ✓ Yapıların performans analizlerinin yapılması,
- ✓ Yapı sağlığının izlenmesi,
- ✓ Tarihi yapıların veya korunması gereken yapıların hasar tespitlerinin yapılmasında ve deprem etkisi altında davranışlarının tespit edilmesi,
- ✓ Davranış tespiti yapabilmek için, projelerine göre oluşturulan yapı sonlu eleman modellerinin deneysel sonuçlara göre güncellenmesi,
- ✓ Yapıların gerçek davranışlarının analiz edilmesi,
- ✓ Onarım-güçlendirme yapılan yapılarda onarım-güçlendirme etkisinin gözlemlenmesi,

vb. amaçlar ile kullanılan güncel bir deneysel modal analiz yöntemidir [3],[8],[37].

### 2.2 Operasyonel Modal Analiz Yönteminde Kullanılan Genel Kabuller

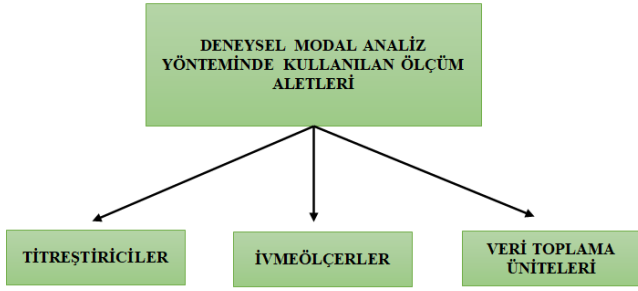
Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile yapıların dinamik karakteristiklerinin elde edilmesinde bazı kabuller yapılmaktadır. Bu kabuller;

- ✓ Malzeme özellikleri ve sınır şartlarının değişmediği,
- ✓ Yapı bütünlüğünün ve sürekliliğinin korunduğu,
- ✓ Ölçümlerde çevresel etkilerden meydana gelecek titreşimlerin küçük olduğu,
- ✓ Yapının lineer davrandığı,
- ✓ Yapı rijitliğini bozacak etki gücüne sahip titreşimlerin kullanılmasının doğru sonuçlara ulaştırmayacağı,
- ✓ Yapının herhangi bir bölümündeki davranış şeklinin tüm yapıyı temsil edeceği,

kabulleri olarak sıralanmaktadır [2], [8], [29].

### 2.3 Operasyonel Modal Analiz Yönteminde Kullanılan Ölçüm Aletleri

Deneysel modal analiz yöntemlerinin uygulanmasında 3 temel ölçüm aleti kullanılmaktadır. Bunlar titreştiriciler/sarsıcılar, ivmeölçerler ve veri toplama üniteleridir (Şekil 2.2). Titreştiriciler/sarsıcılar geleneksel deneysel yöntem olarak bilinen Experimental Modal Analiz (EMA) yönteminde kullanılmaktadır. Operasyonel Modal Analiz (OMA) yönteminde titreştiriciler kullanılmamakta, bunun yerine çevresel etkilerden yararlanılmaktadır [9].



Şekil 2.2. Deneysel Modal Analiz Yöntemlerinde Kullanılan Ölçüm Aletleri

### 2.3.1 Titreştiriciler

Deneysel modal analiz sırasında yapılara tahrik kuvveti uygulayarak titreşmelerini sağlamak için bazı mekanizmalar kullanılmaktadır. Bu mekanizmalar titreştiriciler veya sarsıcılardır. Titreştirici veya sarsıcılar ölçüm sırasında yapıya temas edip etmeme durumlarına göre iki kısma ayrılmaktadırlar. Geleneksel deneysel modal analiz yöntemi olarak bilinen Experimental Modal Analiz yönteminde ölçüm boyunca yapı ile sürekli temas halinde olan sarsıcılar ve darbe çekiçleri, yapı ile kısa süreli teması olan tokmak sistemleri ve yapı ile hiç teması olmayan titreştiriciler kullanılmaktadır. Özellikle köprüler, hastaneler vb. toplu kullanım alanlarında titreştirici veya sarsıcıların kullanımı nedeniyle yapılar kullanıma kapatılmakta ve bu da günlük hayatta aksamalara neden olmaktadır. Operasyonel Modal Analiz yönteminde genellikle bu ekipman kullanılmamakta bunun yerine çevresel etkilerden yararlanılmaktadır [9].

### 2.3.2 İvmeölçerler

Operasyonel Modal Analiz yöntemi uygulanması sırasında yapıların en çok zorlanmaya maruz kalan veya çevresel etkiler altında hassas olarak görülen kısımlarına yerleştirilerek, uygulanan titreşimler veya çevresel etkilere karşı tepki sinyallerini ölçen yapılara ivmeölçer denmektedir. İvmeölçerler hafif ve taşınması kolay ölçüm elemanlarıdır. Farklı tipte ivmeölçerler bulunmaktadır. Operasyonel Modal Analiz yönteminde yaygın olarak pizoelektrik ivmeölçerler kullanılmaktadır. Ölçüm yapılacak bölgeye mıknatıs, balmumu veya vidalama sistemleri ile sabitlenmektedirler. Operasyonel Modal Analiz yönteminin uygulanacağı yapılara uygun olarak ağırlıkları seçilmektedir [29].

### 2.3.3 Veri Toplama Sistemleri

Operasyonel Modal Analiz yöntemi uygulanması sırasında ivmeölçerler aracılığı ile elde edilen titreşim sinyallerinin depolanarak bilgisayara

aktarılmasını sağlayan ve bilgisayarda işlenmesine olanak veren sistemlerdir. Operasyonel Modal Analiz yönteminde tahrik kuvveti olarak çevresel etkilerden yararlanılmaktadır. Bu çevresel etkiler içerisinde ölçümlere dahil edilmemesi gereken sinyaller de bulunmaktadır. İvmeölçerlerden elde edilen sinyallerin ayıklanmadan veya işlenmeden kullanılması ölçüm sonuçları için yanıltıcı olabilmektedir. Operasyonel Modal Analiz yönteminde sinyal ayıklamak için kullanılan çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımlar sayesinde veri depolama sistemlerinden bilgisayar programına aktarılan verilerin ayıklanması yapılmaktadır. Bu sayede daha doğru ölçüm sonuçları elde edilmektedir [16].

## III. SONUÇLAR

Yapıların planlanan servis ömrü boyunca güven ile hizmet vermesi gerekmektedir. Ancak doğal afetler ve çevresel etkiler nedeni ile yapılar zarar görebilmektedir. Yapıların doğal afetler ve çevresel etkiler karşısında göstereceği dinamik davranışların önceden belirlenebilmesi, meydana gelebilecek tehlikelerin önlenmesi için önemli olmaktadır. Yapıların dinamik davranışlarının belirlenebilmesi için dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi gerekmektedir. Yapıların dinamik karakteristiklerinin (mod şekilleri, doğal frekans, sönüm oranları) elde edilmesinde deneysel modal analiz yöntemlerine başvurulmaktadır. Geleneksel deneysel yöntem olarak bilinen Experimental Modal Analiz (EMA) yönteminde yapıların dinamik karakteristikleri belirlenirken yapılara tahrik kuvveti uygulanmakta ve analiz süresi boyunca yapılar servise kapatılmak zorunda kalınmaktadır. Yapılara uygulanan bu tahrik kuvvetleri her ne kadar ölçülebilen ve bilinen etkiler olsa da korunması gereken yapılarda hasara neden olabilmektedir. Ayrıca yapıların analiz süresi boyunca servise kapatılmaları, özellikle ulaşım yapıları veya toplu kullanım gerektiren yapılar söz konusu olduğunda günlük hayatta ciddi aksamalara neden olabilmektedir. Operasyonel Modal Analiz yönteminde yapıların dinamik karakteristikleri belirlenirken tamamen çevresel etkiler kullanıldığından yapılarda herhangi bir hasara neden olmamaktadır. Ayrıca analiz sırasında yapının çalışır vaziyette olması gerektiğinden günlük hayatta aksamalara neden olmamaktadır. Betonarme, çelik, prefabrik, yığma vb. birçok türden yapıda kullanılabilen bir yöntem olduğundan

tarihi yapıların korunmasında da kullanılabilir. Operasyonel Modal Analiz yöntemi yapıların performans analizleri veya hasar tespitleri yapılırken de kullanılmakta ve bazı çalışmacılar tarafından yönetmeliklerde yer alması gereken bir yöntem olarak da öne sürülmektedir. Ayrıca bu yöntem ile hasarlı yapıların onarım-güçlendirme ihtiyacı olup olmadığı belirlenebilmektedir. Onarım-güçlendirme yapılmış yapılarda bu işlemin yapı davranışındaki değişimleri veya etkileri de Operasyonel Modal Analiz Yöntemi ile kontrol edilebilmektedir. Köprüler, viyadükler veya çok katlı yapılar gibi büyük yapıları titreştirmek zor olduğundan, Operasyonel Modal Analiz yöntemi bu tür büyük yapılarda da güvenle kullanılabilir.

Yapıların dinamik karakteristiklerinin ve dinamik davranışlarının belirlenmesi, can ve mal kayıplarının önlenmesi ve devlet hazinelerinin korunması için önemlidir. Bu derleme çalışmasında yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenerek dinamik davranışlarının elde edilmesinde günümüzde yaygın olarak kullanılan Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilerek, yöntemin uygulanma şekli, uygulaması sırasında hasara sebebiyet vermemesi, çeşitli yapılarda güvenle uygulanabilmesi, gerçekçi ve güvenilir sonuçlar vermesi, tercih edilen bir yöntem olma sebepleri ve yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde Operasyonel Modal Analiz yönteminin yaklaşımı ortaya konmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] Zhang, L., Wang, T., & Tamura, Y. (2010). A frequency-spatial domain decomposition (FSDD) method for operational modal analysis. *Mechanical systems and signal processing*, 24(5), 1227-1239.
- [2] Poukhonto, L. M. (2003). *Durability of concrete structures and constructions: silos, bunkers, reservoirs, water towers, retaining walls*. CRC Press.
- [3] Fu, Z. F., & He, J. (2001). *Modal analysis*. Elsevier.
- [4] e Silva, J. M. M., & Maia, N. M. (Eds.). (2012). *Modal analysis and testing* (Vol. 363). Springer Science & Business Media.
- [5] Mohanty, P., & Rixen, D. J. (2004). Operational modal analysis in the presence of harmonic excitation. *Journal of sound and vibration*, 270(1-2), 93-109.
- [6] Brincker, R. (2014). Some elements of operational modal analysis. *Shock and Vibration*, 2014.
- [7] Maşjedian, M. H., & Keshmiri, M. (2009). A review on operational modal analysis researches: classification of methods and applications. *Proceedings of the 3rd IOMAC*, 707-718.
- [8] Kuyumcuoğlu, A., “Çalışma Şartlarında Modal Analiz,” Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [9] Birinci, F., “Taş Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
- [10] Özcan, D.M., “Yapıların Patlatma Kaynaklı Doğrusal Olmayan Davranışlarının Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi,” Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
- [11] Sevim, B., “Kemer Barajların Dinamik Davranışlarının Sonlu Eleman ve Deneysel Modal Analiz Yöntemleriyle Belirlenmesi,” Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
- [12] Turan, F.N., “Dengeli Konsol Betonarme Köprülerin Dinamik Karakteristiklerinin Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
- [13] Osmancıklı, G., “Prefabrik Yapıların Dinamik Davranışlarının Analitik Ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
- [14] Baştürk, M.H., “Bursa Tarihi Yığma Minarelerinin Dinamik Davranışlarının Modal Analiz Yöntemi İle İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, B.U.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2013.
- [15] Toydemir, B., “Sivas – Ankara Arasındaki Dayanım Esasına Göre Tasarımı Yapılmış Demiryolu Köprülerinin Dinamik Karakteristiklerinin Ölçülmesi ve Performansa Dayalı Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
- [16] Demirtaş, B., “Çok Katlı Betonarme Binaların Deneysel Dinamik Karakteristiklerinin ve Yakın Fay Yer Hareketi Etkisindeki İzolatörlü Davranışlarının Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
- [17] Kömür M.A., Deneme İ.Ö., Yerli H.R., 2015. Düzlem Çelik Çerçeve Sistemlerin Operasyonel Modal Analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), 73-79 ss., Aralık 2015.
- [18] Koçak, A., Toydemir, B., Zengin, B. (08-09-10 Mayıs 2015). Tek Açıklıklı Bir Demiryolu Köprüsünde Modal Parametrelerin Operasyonel Modal Analiz ve Sayısal Analiz Yöntemleri ile Belirlenmesi, 3.Köprüler Viyadükler Sempozyumu, İnşaat Mühendisleri Odası-Bursa Şubesi.
- [19] Boru, E., “Yapı Tanı Teknikleri ile Sonlu Eleman Modelleri Güncellenmiş Binaların Deprem Performans Analizi,” Doktora Tezi, S.A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2015.
- [20] Hökelekli, E., “Manisa Hafsa Sultan Camii Deprem Davranışının Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İncelenmesi,” Doktora Tezi, C.B.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2015.
- [21] Yetkin, M., “Betonarme Yapıların Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Dinamik Davranışının İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, F.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2016
- [22] Kurt, M., “Tarihi Taş Kemer Köprülerin Dinamik Davranışlarının Deneysel ve Sonlu Elemanlar

- Yöntemiyle Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, O.M.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2016.
- [23] Mert, C., “Üç Boyutlu Betonarme Çerçevelerin Katkılı Sıva ve Gergi Elemanları ile Güçlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, C.B.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2016.
- [24] Yavuzer, M.N., “Zal Mahmut Paşa Camii Yapısal Davranışı ve Geçmiş Hasarların İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
- [25] Özkul, M., “Tarihi Bir Yapının Deneysel Modal Analiz ile Yapısal Güvenliğinin Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir, 2016.
- [26] Güneş, S., Anıl, Ö. (11-13 Ekim 2017). Operasyonel Modal Analiz Tekniği İle Yığma Yapıların Dinamik Davranışının Belirlenmesi. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Anadolu Üniversitesi – Eskişehir.
- [27] Erol, O., “39+646 Çelik Demiryolu Köprüsünün Sonlu Eleman Modelinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir, 2017.
- [28] Gani, E., “Tarihi Davutpaşa Kışlası’nın Dinamik Ölçüm Destekli, Yatay ve Düşey Yükler Altında Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.
- [29] Aslay, S.E., “Erzincan Değirmenliköy Kilisesi’nin 1939 Erzincan Depremi Davranışının Apsis Hasarı Üzerinden İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, E.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2017.
- [30] Güneş, S., “Operasyonel Modal Analiz Tekniği ile Yığma Yapıların Dinamik Davranışının Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2017.
- [31] Özdoğan, D.B., “Schmidt Çekici Test Yönteminin Tarihi Yığma Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılmasının Araştırılması: Erzurum Kadana Camii Uygulaması,” Yüksek Lisans Tezi, E.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2018.
- [32] Bulgur, M., “Tarihi Binalarda Titreşim Ölçümü ve Tarihi Binaların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.
- [33] Youssouf, İ.B., “Türkiye’deki Mevcut Tarihi Bir Yığma Yapı Örneğini Oluşturan Duvarların Düzlem dışı Deprem Etkileri İçin Hasar Limitlerinin İrdelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2018.
- [34] Alpaslan, E., “Tarihi Yığma Köprü Hasarlarının Analitik Model ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi,” Doktora Tezi, O.M.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2019.
- [35] Sarıça, C., “Yapıların Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi İçin Operasyonel Modal Analiz Bilgisayar Programı Yazımı,” Yüksek Lisans Tezi, C.B.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2019.
- [36] Altıok, T.Y., “Tarihi Minarelerin Dinamik Özelliklerinin Deneysel ve Nümerik Yöntemler ile Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, C.B.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2019.
- [37] Yücel A, 2020. Bir Dizel Gemi Jeneratörünün Operasyonel Modal Analizi. BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 23(1), 224-233, (2021).
- [38] Akbaş, T., “İki Betonarme Binada Bağ Kirişleri Etkisinin Operasyonel Modal Analiz ve Sonlu Eleman Yöntemleriyle Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, M.Ü., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2020.
- [39] Şahin, M., “Kauçuk İzolatörlü Bir Yapının Soğuk Hava Koşulları Etkisi Altındaki Modal Davranışının Operasyonel Modal Analiz Yöntemi İle İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, E.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2020.
- [40] Savaş, G.K., “Çok Katlı Betonarme Yapıların Yapım Kalitesi Kontrolünün Operasyonel Modal Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, E.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2020.
- [41] Yetkin M, Erkek H, Calayır Y, 2021. Operasyonel Modal Analiz Yönteminde Referanslı ve Referanssız Ölçümlerin Karşılaştırılması: Bir Minare Örneği. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3): 2069-2078.
- [42] Toydemir, B., “Yığma ve Dolgu Duvar Boşluklarının Duvar ve Bina Davranışına Etkisinin Sayısal ve Operasyonel Modal Analiz ile İncelenmesi,” Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2021.
- [43] Erkek, H., “Yığma Yapıların Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Deprem Davranışının İncelenmesi: Adana Büyük Saat Kulesi Örneği,” Doktora Tezi, F.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2021.
- [44] Peeters, B., & Van der Auweraer, H. (2005, April). PolyMAX: a revolution in operational modal analysis. *In Proceedings of the 1st International Operational Modal Analysis Conference, Copenhagen, Denmark (Vol. 820)*.
- [45] Peeters, B., Van der Auweraer, H., Pauwels, S., & Debrille, J. (2005). Industrial relevance of operational modal analysis-Civil, aerospace and automotive case histories. *In Proceedings of the 1st International Operational Modal Analysis Conference, IOMAC 2005*.