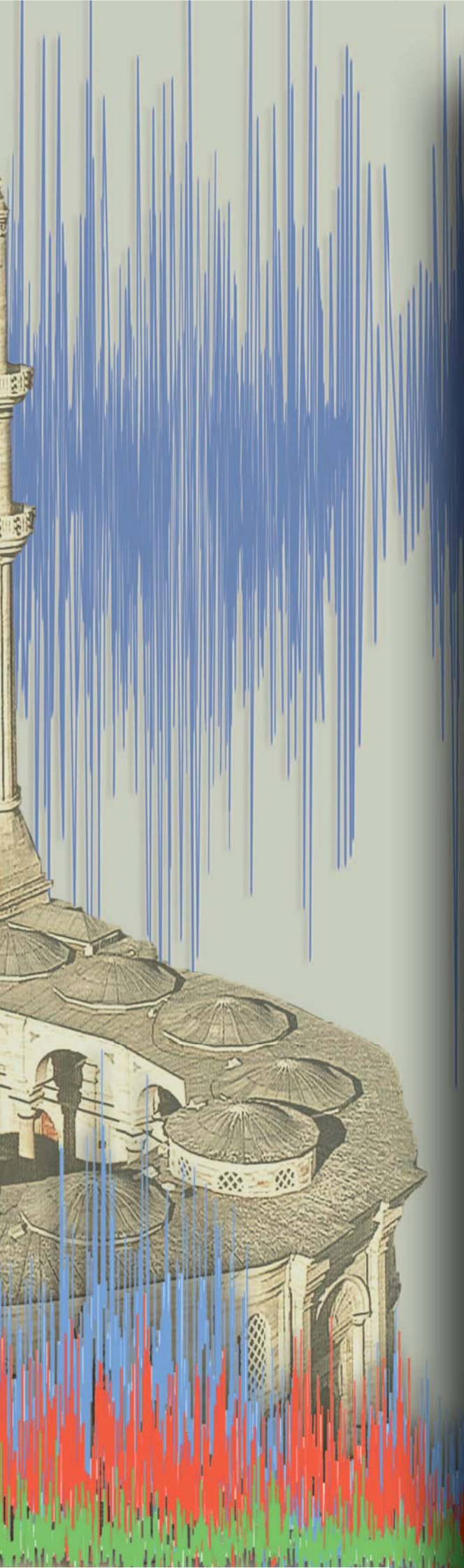


NUR-U OSMANİYE CAMİİ'NİN DİNAMİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Dynamic Identification of Nur-u Osmaniye Mosque in İstanbul

Ömer Dabanlı | *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Ün. Mimarlık ve Tasarım Fak.*
Prof.Dr. Feridun Çılı | *İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi*
Prof.Dr. Yegân Kahya | *İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi*





1748-1755 tarihleri arasında İstanbul'da inşa edilen Nur-u Osmaniye Camii, Osmanlı'ya asırlarca başkentlik yapmış İstanbul'un en önemli anıtlarından birisidir. Mimari üslubu ve oval avlusuyla dikkat çeken cami, Osmanlı mimarlığında barok stilde inşa edilen ilk dini yapıdır. Nur-u Osmaniye Camii, klasik Osmanlı mimarlığından farklılaşan mimari üslubu ve detayları yanında ayrıca onu özel kılan yapı tekniklerinden sayılan strüktürel demir kullanımı, altyapı kurgusu ve ahşap kazıklı temel uygulamalarıyla da dikkat çekicidir. Bu güne kadar pek çok araştırmacının dikkatini çeken bir yapı olmasına ve yüksek oranda sismik risk taşıyan konumu sebebiyle pek çok yıkıcı depreme maruz kaldığı halde günümüze kadar neredeyse hasarsız olarak ulaşmasına rağmen yapının bugüne kadar kapsamlı bir taşıyıcı sistem araştırması bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı bir 18.yy Osmanlı anıtı olan Nur-u Osmaniye Camii'nin deprem yükleri altında davranışına ışık tutmak amacıyla dinamik parametrelerinin belirlenmesidir. Bu amaçla yapı üzerinde serbest titreşim durumu için operasyonel modal analiz deneyi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Çalışmada titreşim kayıtlarının alınması için gerekli cihazların yerleşimi, veri kaydı ve analizi ele alınmış, son olarak analizlerden elde edilen hâkim frekanslar ve bu frekanslara karşılık gelen mod şekilleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nur-u Osmaniye Camii, Operasyonel Modal Analiz, Tarihi Yığma Yapı, Dinamik Parametreler

Nur-u Osmaniye Mosque that was built between 1748 and 1755 is one of the enormous monuments of Ottoman capital, Istanbul. The mosque is unique in terms of being the first royal religious complex with baroque style and a horse-shoe shaped courtyard. The mosque differs from the classical period of Ottoman Architecture with its architectural style and that is very interesting for construction techniques such as structural use of iron, the design of substructure and wooden pile foundations. Several characteristics of Nur-u Osmaniye Mosque have drawn attention of researchers; however, there is no a comprehensive investigation of structural system of the monument which is still intact since it was built in a highly seismic zone where many destructive earthquakes had been experienced. This study focuses on the determination of structural dynamic properties of Nur-u Osmaniye Mosque which is an 18th century historic masonry monument through the operational modal analysis. The experimental study have been performed on the structure was based on ambient vibration test. The paper also includes selection of the locations for instrumentation and process of data recording. The acquired data collected from the experimental study on the structure were used to identify the dynamic parameters of the structure such as main frequencies and corresponding modes shapes. Finally, this paper discusses characteristics and the results of the operational modal analysis of the structure.

Keywords: Nur-u Osmaniye Mosque, Operational Modal Analysis, Historic Masonry, Structural Dynamic Parameters

1. GİRİŞ

Asırlar boyu farklı medeniyetlere başkentlik yapmış olan İstanbul'un tarihi yarımadasında geçmiş medeniyetlerin sahip olduğu farklı kültürlerin birer yansıması olarak pek çok anıt eser inşa edilmiştir. Bu sebeple tarihi ve kültürel mirasımızın çok önemli bir bileşeni olan anıt eserlerin korunması ve özgünlüklerini koruyarak gelecek nesillere devredilmesi her şeyden önce bir medeniyet meselesidir. Bu açıdan bakıldığında, tarihi kültürel mirasın korunması, insanlık hafızası ve milletler tarihi açısından oldukça stratejik bir öneme sahiptir. Söz konusu stratejik önemi kavrayan toplumlar, tarih ve kültürlerini korumanın etkin yol ve yöntemlerini araştırmış ve geliştirmişler, kavramakta yetersiz veya geç kalan toplumlar ise telafisi mümkün olmayan kültürel yıkım ve hafıza kayıplarıyla karşı karşıya kalmışlardır.

1.1. Tarihi Yapılarda Strüktürel Korumaya Bakış

Mimari korumadan bahsedildiğinde, bir yapının korunması öncelikle ve özellikle taşıyıcı sisteminin korunmasına ve performansına bağlıdır. Bu sebeple tarihi yapıların taşıyıcı sistemleri ve yapım tekniklerinin anlaşılması mimari korumanın en öncelikli ve en temel bileşenidir. Ülkemizde tarihi yapıların üretiminde kullanılan geleneksel yapım tekniklerine dair bilgilerin modern döneme aktarılması ve sürdürülmesinde meydana gelen kesinti sonucu mimarlık ve mühendislik mesleği, tarihi yapıların davranışını kavramaktan uzaklaşmış, bu uzaklık da restorasyon uygulamalarının niteliğine yansımıştır.

Günümüzde tarihi yapılarda söz konusu olan koruma uygulamaları, malzeme, yapım tekniği ve yapı davranışı açısından pek çok belirsizliği içeren problemler şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu **belirsizliklerin** araştırma, deney, analiz ve derin bir kavrayış ile **belirli hale dönüştürülebilme oranı** strüktürel restorasyon uygulamalarının niteliğini belirleyen en önemli parametredir.

1.2. Hasarsız Test Tekniği Olarak Operasyonel Modal Analiz

Tarihi yapılarda malzeme ve yapı davranışının içerdiği belirsizlikler deneysel çalışmaların önemini artırmakta, deney sonuçları ise sayısal model ve analizlerin başarısını doğrudan etkilemektedir. Tarihi yığma yapılardan alınan numunelerin laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonu-

cunda elde edilen mekanik özelliklerinin yapı malzemesini ve yapıyı ne kadar tanımladığı çoğu zaman tam olarak bilinmemektedir. Zira yığma yapılarda geleneksel yapım teknikleri sebebiyle doğal taş, harç, tuğla gibi bileşenleri içeren yapı malzemesi kompozit özellik gösteren ve ayrıca kenet, zivana, hatul, gergi ve kuşaklama gibi bağlantı ve berkitme elemanlarını barındıran karmaşık bir vaziyettedir.

Tarihi yığma yapılar konusunda laboratuvar deneylerine ait sonuçların gerçek yapı malzemesini ve yapı davranışını temsil etmekte henüz yeterli güvenilirliği sağlayamadığı düşünüldüğünde ve bununla birlikte tarihi yapılardan deney numunesi almakta yaşanan kısıtlamalar da hesaba katıldığında hasarsız test tekniklerinin önemi anlaşılır.

Tarihi yığma yapılarda kullanılan hasarsız test tekniklerinden önemli biri olan Operasyonel Modal Analiz tekniği, incelenen yapının dinamik davranışının tanımlanabilmesine bağlı olarak deprem yükleri gibi aşırı yüklemeler altında yapı davranışını belirleme imkânı tanıyan oldukça faydalı bir tekniktir. Operasyonel Modal Analiz tekniği yapılan çalışmanın tam ölçekli olması, hasarsız olması, yapıyı zorlayacak herhangi bir dış yüke ihtiyaç duyulmaması ve yapı kullanımını sekteye uğratmaması gibi sebeplerle önemli üstünlüklere sahiptir [Diaferio ve diğ., 2011].

Yapıdan alınan serbest titreşim kayıtlarından faydalanılarak frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranı gibi yapıya özgü dinamik parametreler elde edilebilmekte ve ayrıca bu parametreler sayısal modellerin kalibre edilmesi ile analiz sonuçlarının güvenilirliğinin artırılmasında kullanılabilir. Ayrıca bu teknik sürekli izleme (health monitoring) durumunda hasar tespiti ve meydana gelebilecek deprem vb. etkiler altında yapının gösterdiği davranışın kaydedilerek çözümlenmesi gibi oldukça faydalı bilgiler de sağlamaktadır.

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan bir 18.yy Osmanlı Mimarlığı anıtı olan Nur-u Osmaniye Camii'nin operasyonel modal analiz tekniği ile dinamik parametrelerinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Yapıda serbest titreşim (ambient vibration) durumu için gerçekleştirilen deneyle elde edilen ivme kayıtları kullanılarak yapının bazı dinamik parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 2. Nur-u Osmaniye Camii [Kuban, 2007; Murat Sav, 2012].

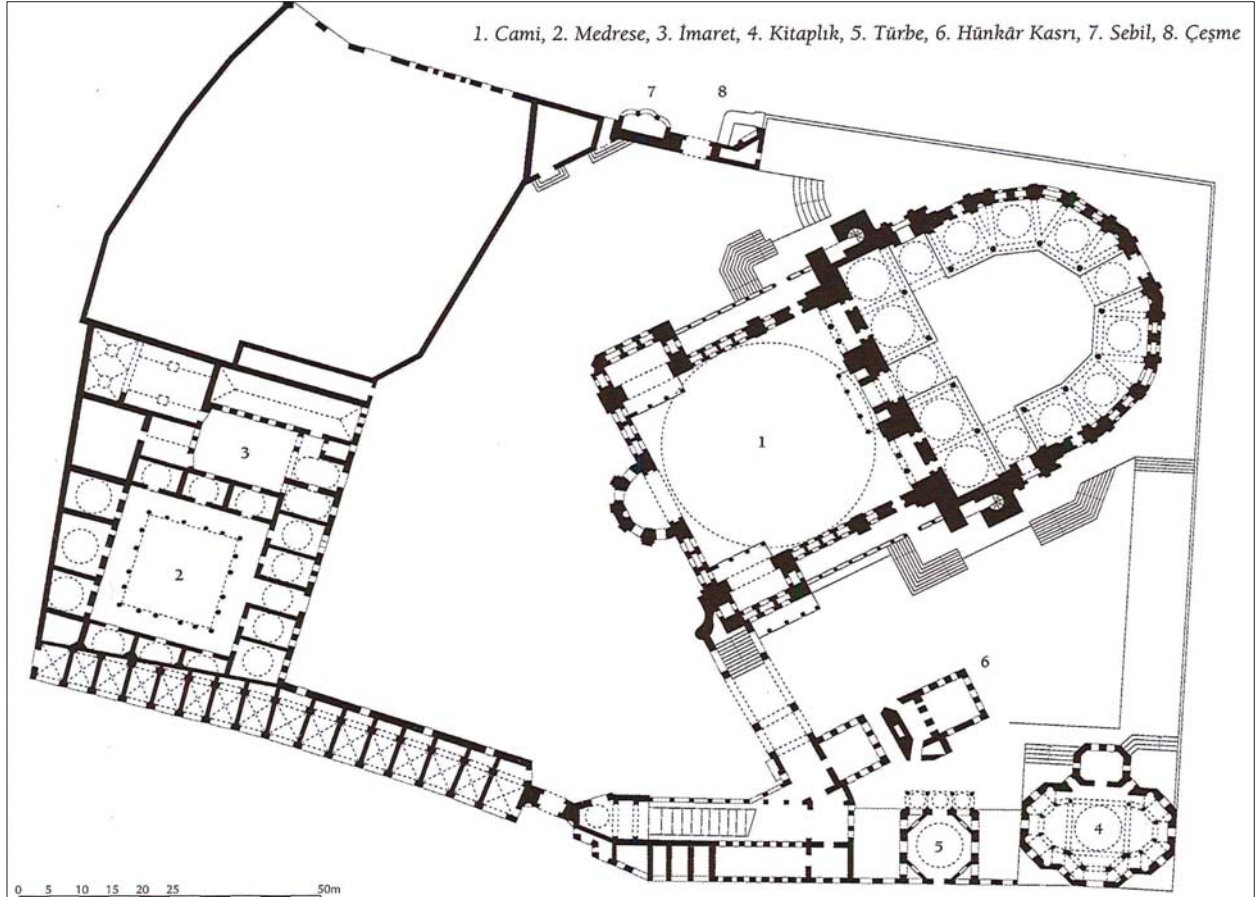
2. NUR-U OSMANİYE CAMİİ

1748-1755 tarihleri arasında İstanbul'da inşa edilen Nur-u Osmaniye Camii, Osmanlı başkentinin en önemli anıtlarından birisidir. Barok üslubu ve oval geometri ile avlusuyla dikkat çeken cami, İstanbul'da barok stilde inşa edilen ilk dini yapıdır.

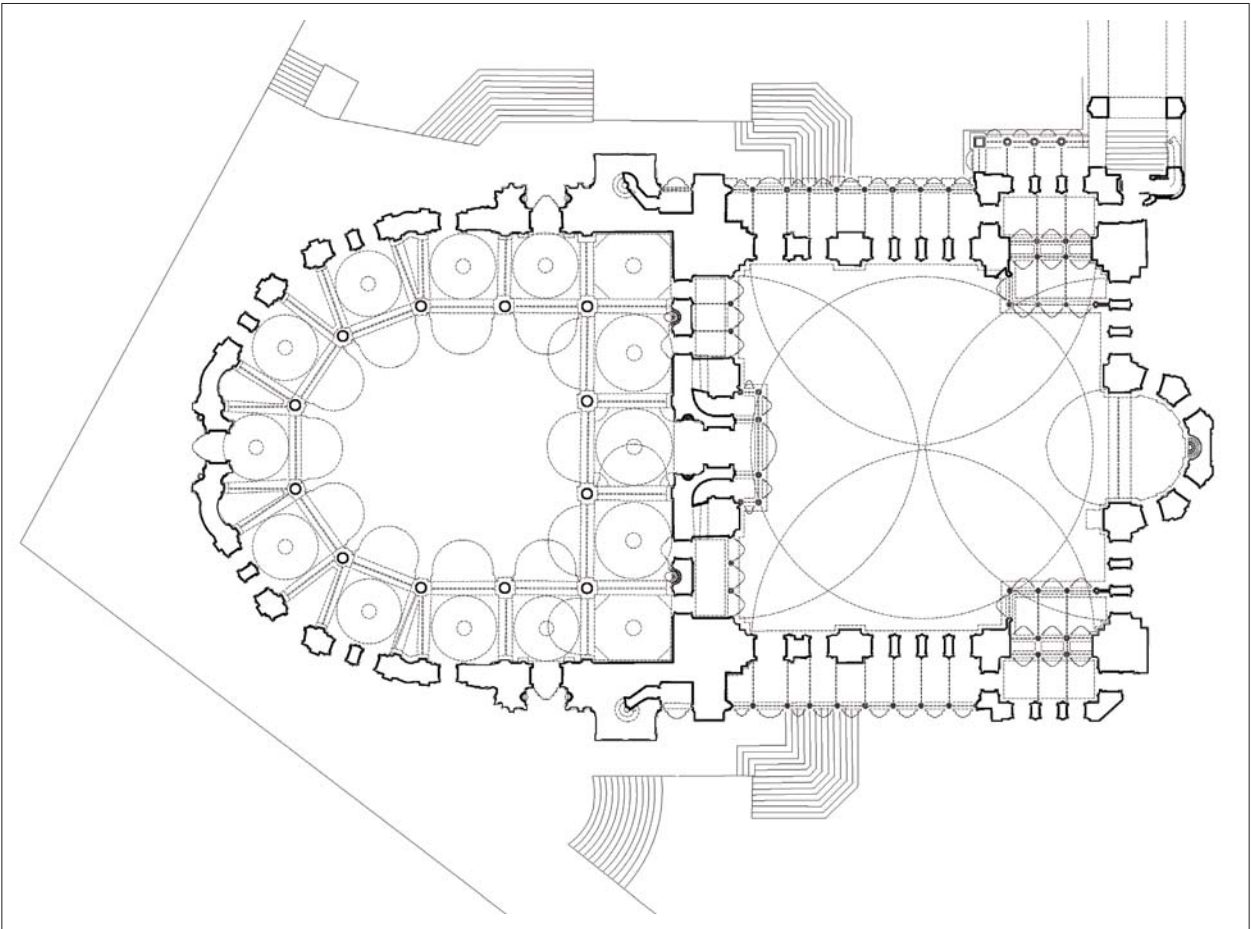
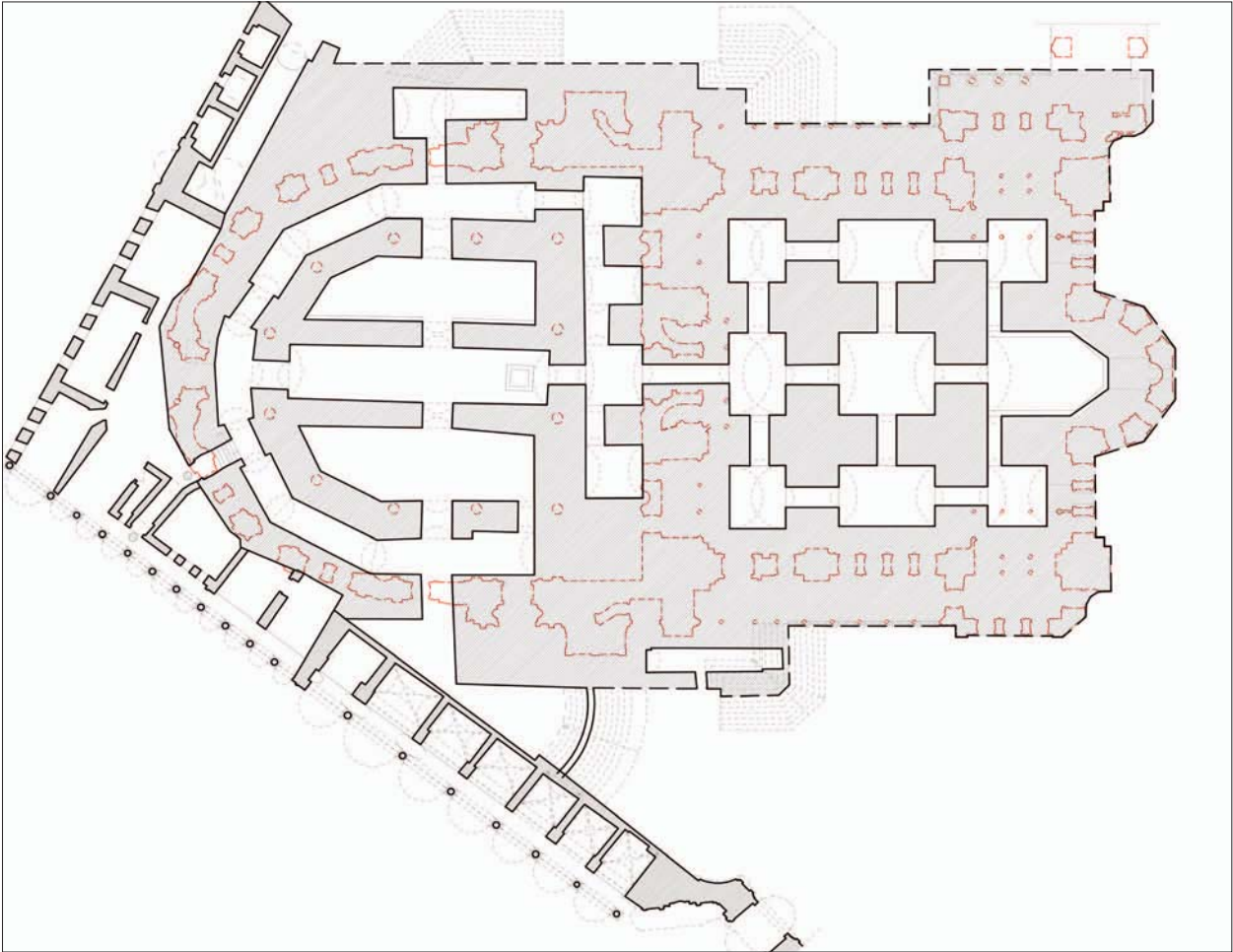
Osmanlı mimarlığında klasik dönemden farklılaşarak 'Osmanlı Baroğu' adı verilen özgün üslubuyla 18.yüzyıldaki yeni dönemin en önemli temsilcisi sayılan Nur-u Osmaniye Camii, aynı adı taşıyan külliyesinin bir parçası olarak Fatih ilçe sınırları içinde, Çemberlitaş'ın kuzeybatısında, Doğu Roma döneminde ünlü Constantinus Forumu'nun bulunduğu alana yakın bir konumda bulunmaktadır (Şekil 1).

2.1. Mimari

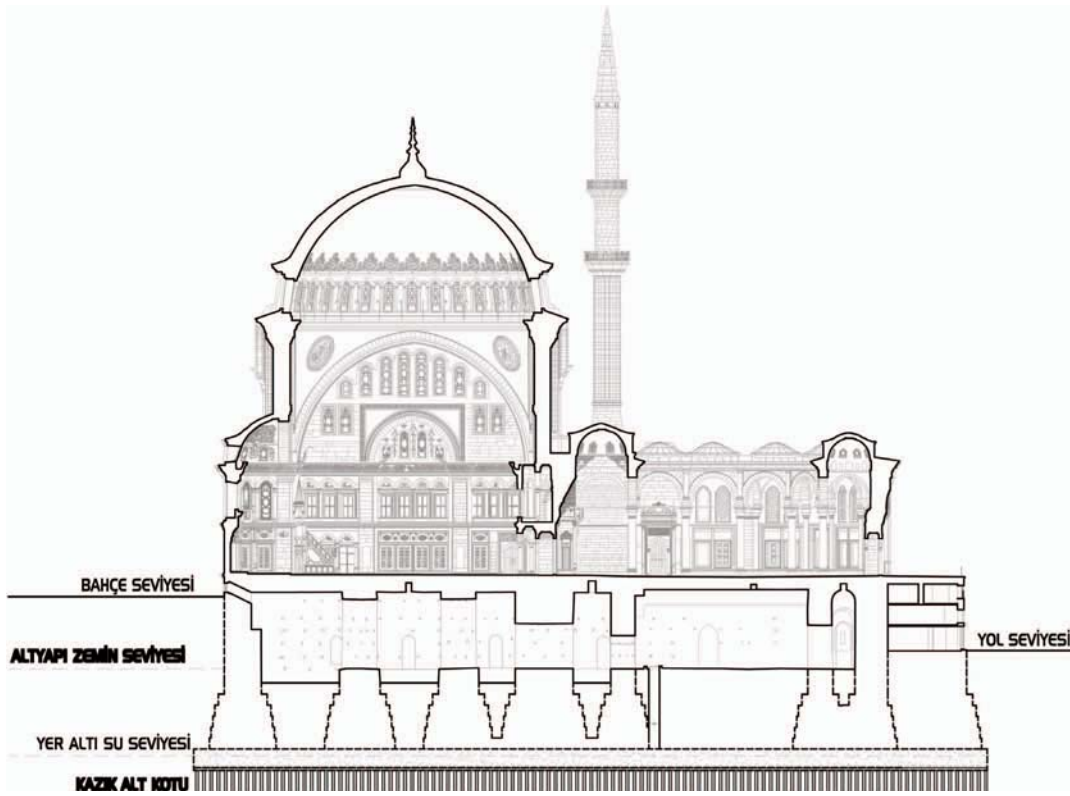
Nur-u Osmaniye Camii, klasik Osmanlı mimarlığından sadece mimari üslubu ve detaylarıyla değil ayrıca dönemi itibarıyla yapım tekniklerinde meydana gelen gelişmelere de paralel olarak Osmanlı Mimarlığının teknik kavrayışının da önemli bir göstergesi olabilecek kadar dikkat çekici bir yapıdır. Cami bu açıdan bakıldığında özgün üslubu yanında yapım teknikleri ile taşıyıcı sistem kurgusu ve tasarımı açısından da oldukça özel bir yere sahiptir. Klasik dönemin sonrasında, 18.yüzyılın getirdiği teknik imkânlarla paralel olarak yaygınlaşan demir kullanımı açısından bir zirveyi temsil eden yapı, ayrıca altyapısının teknik kurgusu ve ahşap kazıklı temel uygulamalarıyla da dikkat çekicidir.



Şekil 1. Nur-u Osmaniye Külliyesi [Kuban, 2007].



Şekil 3. Nur-u Osmaniye Camii altyapı ve zemin kat planı [VGM arşivinden uyarlanarak].



Şekil 4. Nur-u Osmaniye Camii kesiti [VGM arşivinden uyarlanarak].

İlgi çekici yönleriyle pek çok araştırmacının dikkatini çeken Nur-u Osmaniye'nin, deprem tehlikesinin oldukça yüksek olduğu bir konumda bulunduğu için pek çok yıkıcı depreme maruz kalmasına rağmen günümüze kadar neredeyse hasarsız olarak ulaştığı halde, bugüne kadar kapsamlı bir taşıyıcı sistem araştırması bulunmamaktadır. İstanbul'da yaşanan depremler sonucunda tarihi yarımada bulunan önemli anıt eserlerde büyük yapısal hasarlar oluşurken bu yapıda önemli sayılabilecek bir hasara rastlanmaması araştırmaya değer bir konu olarak gözükmektedir. Bu açıdan bakıldığında, Nur-u Osmaniye Camii'nin taşıyıcı sistem davranışının tanımlanması oldukça önemli bir konuya haline gelmektedir. Bu amaçla çalışma kapsamında yapının taşıyıcı sistem davranışının belirlenmesi için deneysel bir çalışma programı gerçekleştirilmiştir. Operasyonel modal analiz yöntemiyle yapının dinamik parametrelerinin belirlenmesi yoluyla taşıyıcı sistem davranışının tanımlanması ve anlaşılması hedeflenmiştir.

2.2. Taşıyıcı Sistem ve Malzeme

Nur-u Osmaniye Camii, aks ölçüsü 27.35 m olan klasik kare baldaken plan şeması üzerinde yükselen bir kütleli merkezi tek bir kubbe ile örtülmesi ile elde edilmiş net bir harim mekânına sahiptir. Bu yönüyle yapının taşıyıcı sistemi de oldukça basit bir prensiple şekillenmiştir. Caminin oval geometrili avlusu on dört kubbe ile örtülmüştür. Ana kubbe kendisini taşıyan dört adet ana askı kemeri üzerinde, köşelerde pandantiften faydalanılarak mesnetlenmiştir. Ana askı kemerlerinin içinde pencere boşluklarıyla kısmen şeffaflaştırılmış olan duvarlar bulunur; ancak, buna rağmen ana askı kemerleri vurgulu profilleriyle hem iç mekândan hem de dışarıdan rahatlıkla algılanabilmektedir.

Cami ve avlunun altında yaklaşık sekiz metre yüksekliğinde bir altyapı bölümü bulunmaktadır. Bu kısım ku-

zeybatı tarafında, cami avlusunu oluşturan platformun altındaki sıralı dükkân cephesi haricinde tamamen toprağa gömülmüştür. Altyapı bölümünde bulunan taşıyıcı duvarlar kaba yonu taş duvar tekniği ile yapılmıştır. Bu bölümdeki duvarlarda genellikle kireçtaşı, od taşı gibi doğal taşlar kullanılmıştır. Duvarların üzerinde ise yaprak tuğladan yapılmış tonozlar görülür. Nur-u Osmaniye Camii altyapısının daha aşağı seviyelerinde ise temel bölümü ve nihayetinde yaklaşık olarak ana kayaya oturmuş olan ahşap kazıklı ve ızgaralı temeller bulunur [Dabanlı ve diğ., 2012].

Üstyapıda hem harimde hem de avlu ve minarede ana taşıyıcı duvar, ayak ve kemerler ince yonu taş duvar tekniği ile Osmanlı anıtlarında yoğun olarak kullanılan bir tür organik kireç taşı olan küfekiden yapılmıştır. İnce yonu tekniği ile oluşturulan taşıyıcı elemanlarda taşlar birbirine kenet ve zıvana gibi metal elemanlarla bağlanmış, ayrıca yapı dokuz ayrı seviyede çift demir kuşaklama ile sağlamlaştırılmıştır. Söz konusu dokuz seviyeden bazı kuşaklamalar açıklık gergileri şeklinde, bazıları ise pencere içlerinde açığa çıktığı için gözle görülebilmektedir. Gözle görülemeyen seviyeler caminin inşaatı sırasında bina kâtibi olan Ahmed Efendi tarafından kaleme alınan "*Tarih-i Cami-i Şerif-i Nur-u Osmani*" isimli risaleden öğrenilmektedir [Ahmed Efendi, 1918].

Caminin harim kısmında bulunan ve galeriyi taşıyan çoğunluğu mermer sütunlar, ana taşıyıcı sistemin elemanları olmadığından daha küçük boyutlara sahiptir. Avluda ise revak kubbelerini taşıyan kestanbol granitinden yapılmış sütunlar bulunur.

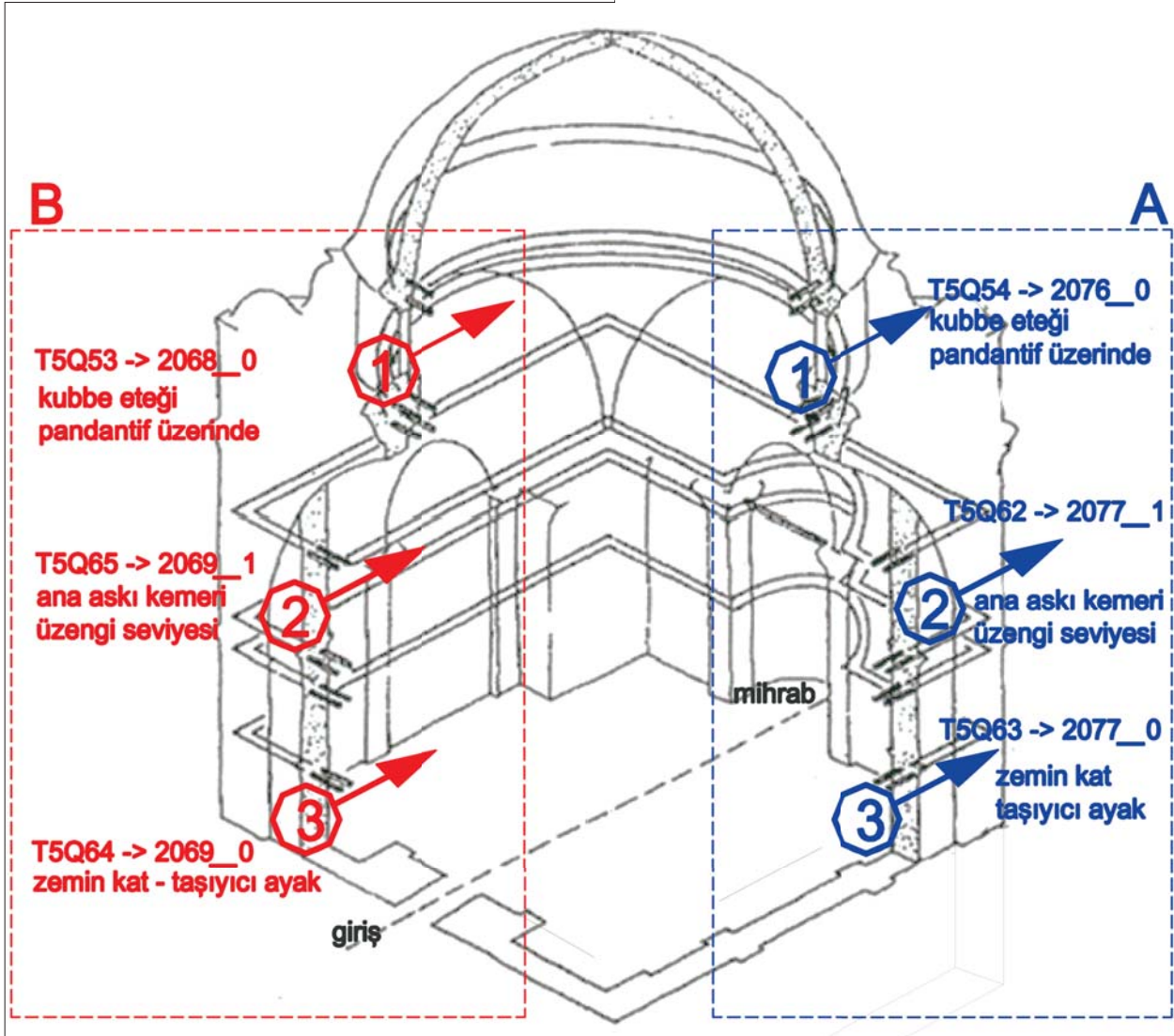
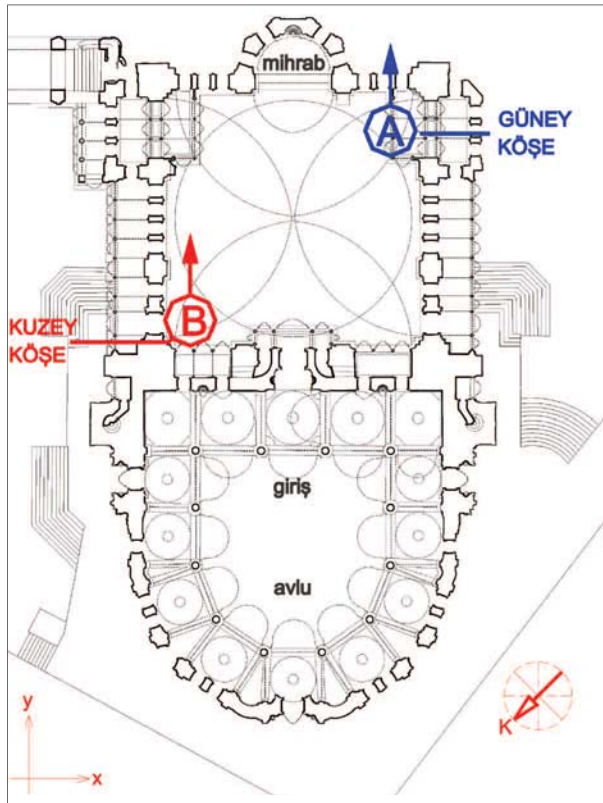
Caminin ana kubbesi ve revak kubbeleri tuğladan yapılmıştır. Ana kubbede pencerelerin üst seviyesine kadar küfeki kullanımı devam etmektedir, ana kubbe pencere üst seviyesinden itibaren tuğla ile inşa edilmiştir.

3. OPERASYONEL MODAL ANALİZ

Son yıllarda operasyonel modal analiz tekniğinin yığma yapılarda başarılı uygulamalarıyla [Ramos ve diğ., 2007] tarihi yığma yapılarda serbest titreşim bazlı dinamik tanılama tekniklerine olan ilgi artmıştır [Diaferio ve diğ., 2011]. Serbest titreşim durumu için yapıda herhangi bir özel düzenlemeye gerek kalmadan test donanımlarının kurulumu sonrasında kısa süreli kayıtlar alınarak bütün işlemler çoğunlukla bir gün içinde kolaylıkla bitirilerek yapının dinamik tanımlaması için yeterli veriler elde edilebilmektedir.

Serbest titreşim analizlerinden yapının sönümüne dair sonuçlar da elde edilebilmektedir, ancak serbest titreşim genlikleri küçük olduğundan frekanslara karşılık gelen sönümler de küçük değerler almaktadır. Sönüm konusu bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Yapıların serbest titreşim frekansları sıcaklık ve nem gibi çevre şartlarından belirli oranlarda etkilenebilmektedir (Ramos ve diğ., 2007). Ayrıca deprem sırasında meydana gelen titreşimlerin etkisiyle ortaya çıkan frekanslar, serbest titreşim frekanslarından belirli oranlarda farklılıklar da gösterebilmektedir (Durukal ve diğ., 2001).



Şekil 5. Nur-u Osmaniye Camii'nde Operasyonel Modal Analiz için Cihaz Yerleşimi.



Şekil 6. Cihaz Yerleşimi ve kayıt.

3.1. Deney donanımı

Nur-u Osmaniye Camii'nde gerçekleştirilen testte iki adet Güralp marka 24 kanallı sayısallaştırıcı, 7 adet 5T 3-Eksenli ivmeölçer (force-balance) kullanılmıştır. Cihazların Gps ile birbirleri arasında bağlantı kurularak senkronize veri alımı gerçekleştirilmiş ve veri kaydı 200 örnekleme ile yapılmıştır.

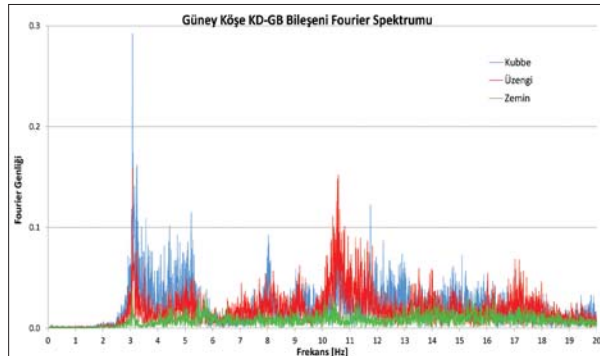
3.2. Cihaz yerleşimi ve Ölçüm Planı

Yapıda cihaz yerleşimi için harimin kuzey ve güney köşeleri seçilmiş, karşılıklı köşe noktalarından veri alınarak yapının her iki yöndeki dinamik davranışın belirlenmesi amaçlanmıştır. Kablo boylarının optimizasyonu verilerin sağlıklı bir şekilde alınabilmesi için önemle üzerinde durulması gereken bir konudur. Bu sebeple gerçekleştirilen deneyde kablo boylarının kısa tutulması için optimum yerleşim noktaları ve kablo yolları planlanmış, böylece uzun kablo boylarından kaynaklanabilecek gürültüler önlenmeye çalışılmıştır.

Yapıda cihaz yerleşimi için üç seviye belirlenmiştir. Bu seviyeler aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla zemin kat döşemesi, ana askı kemerlerinin üzengi seviyesi ve kubbe seviyesidir. Cihazlar yapının her iki köşesine yerleştirilerek eşzamanlı kayıt alınmıştır (Şekil 5). Cihazların yapı üzerindeki konum ve dağılımları Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir.

4. VERİ ANALİZİ

Frekans analizleri yapının ana eksenleri olan kibleye dik doğrultu, kuzeydoğu – güneybatı bileşeni (x) ve kible doğrultusu, güneydoğu – kuzeybatı (y) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş, Fourier ve güç (power) spektrumlarından



Şekil 8. Fourier ve Güç Spektrumları, Güney Köşe, Kibleye Dik Doğrultu (x).

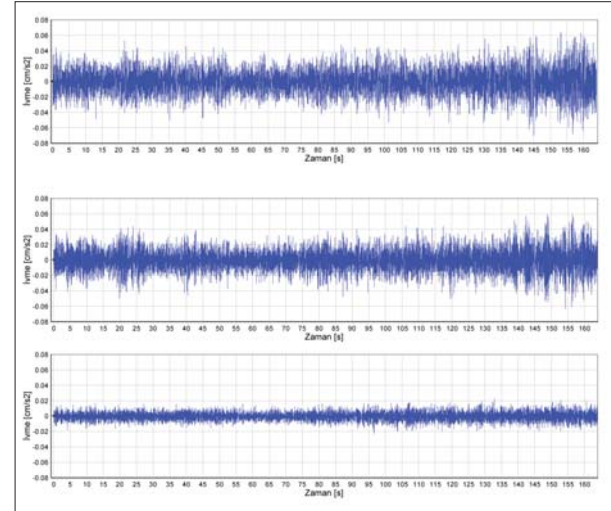
yararlanılarak her iki asal doğrultuda yapının doğal hâkim frekansları ve modları belirlenmiştir. Düşey ivme bileşeni çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

4.1. Kuzeydoğu - Güneybatı Bileşeni (Kibleye Dik Doğrultu, x)

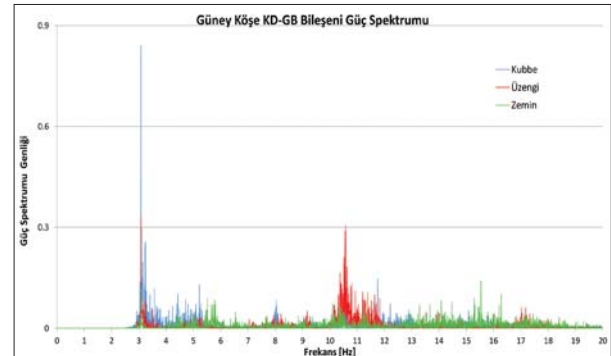
4.1.1. Güney Köşe Ölçümleri

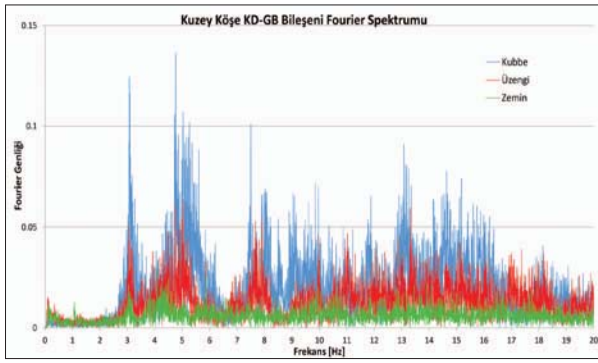
Nur-u Osmaniye Camii'nde yapılan deneysel çalışma kapsamında operasyonel modal analiz tekniği ile elde edilen ivme-zaman grafikleri çizilerek veriler incelenmiştir. Yapıdan alınan kayıtlardan elde edilen ivme zaman grafiklerinin bir bölümü Şekil 7'de görülmektedir. İvme genliklerine dikkat edildiğinde, kubbe seviyesinden aşağı seviyelere inildikçe genliklerin küçüldüğü görülebilmektedir.

Veri analizi hem zaman tanım alanında, hem de frekans tanım alanında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda verilerde gerekli filtreleme ve düzeltmeler yapılmış daha

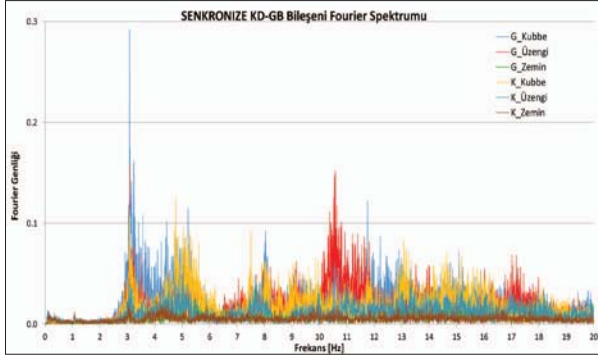


Şekil 7. İvme-Zaman Kayıtları, Güney Köşe, Kibleye Dik Doğrultu (x).





Şekil 9. Fourier ve Güç Spektrumları, Kuzey Köşe, Kibleye Dik Doğrultu (x).



Şekil 10. Fourier ve Güç Spektrumları, Kibleye Dik Doğrultu (x).

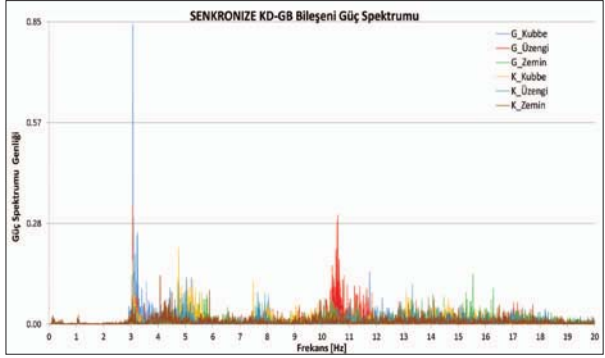
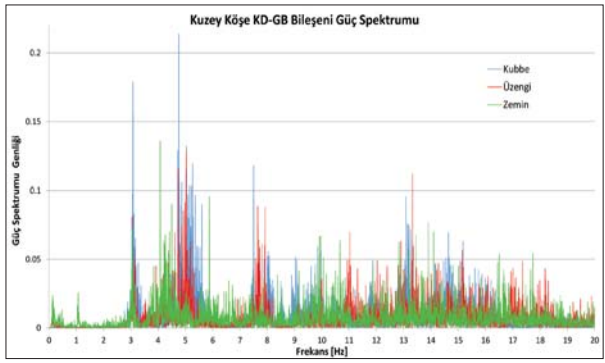
sonra Fourier dönüşümü yapılarak, Fourier spektrumları elde edilmiştir. Baskın olan frekans ve modların belirlenebilmesi için Fourier spektrumuna ek olarak güç spektrumları da hesaplanmış, her iki spektrum sonuçları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Güney köşe konumundan alınan ivme kayıtları için hesaplanan Fourier ve güç spektrumları Şekil 8'de verilmiştir.

4.1.2. Kuzey Köşe Ölçümleri

Güney köşe konumunda olduğu gibi kuzey köşe konumundaki ivmeölçerler vasıtasıyla alınan ivme kayıtlarının her iki asal doğrultu bileşenleri incelenmiştir. Kibleye dik doğrultudaki ivme bileşeni için kuzey köşe konumundan alınan ivmelere ait hesaplanan Fourier ve güç spektrumları Şekil 9'da görülmektedir. Her iki spektrum incelendiğinde güney köşe ölçümlerine ait spektrumlarda olduğu gibi baskın frekanslar belirginleşmektedir. Aynı doğrultu için güney köşe ölçümlerine ait spektrumlar ile kuzey köşeye ait spektrumlarının karşılaştırması yapıldığında, kuzey köşede belirgin frekans genliklerinin daha büyük olduğu görülebilmektedir. Güney köşede ise ilk frekans oldukça büyük bir genliğe sahip ve diğer frekanslara göre baskın bir haldedir.

4.1.3. Kuzeydoğu - Güneybatı Bileşeni (Kibleye Dik Doğrultu, x) - Genel Değerlendirme

Yapıdan alınan bütün ivme verilerinin kibleye dik doğrultudaki (x) bileşeni için kubbe eteği seviyesi, ana askı kimeri üzengi seviyesi ve zemin kat döşemesi seviyeleri için hesaplanan Fourier ve güç spektrumları ve bu spektrumlar



Mod	Frekans (Hz)	Periyot (s)
X1	3.08	0.325
X2	5.22	0.192
X3	8.05	0.124
X4	9.11	0.110
X5	10.58	0.095
X6	11.76	0.085

Tablo 1. Kibleye Dik Doğrultudaki (x) Doğal Frekans, Periyot ve Modlar.

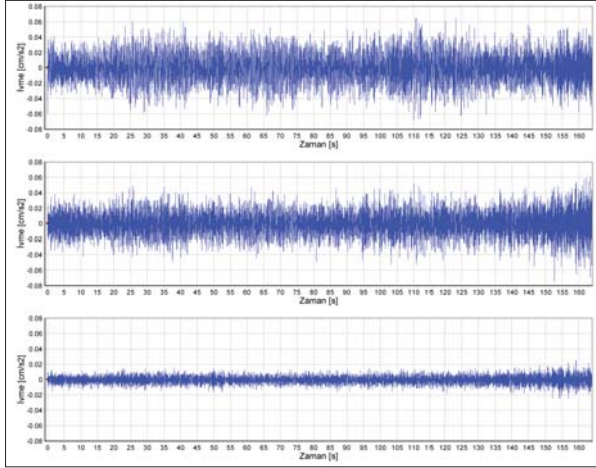
dan (Şekil 10) elde edilen doğal frekanslar ile karşılık gelen modlar Tablo 1'de verilmiştir. Elde edilen frekans değerlerine bakıldığında, kibleye dik doğrultuda ilk frekansın 3.08 Hz olduğu, daha sonra da 5.22 Hz, 8.05 Hz, 9.11 Hz, 10.58 Hz ve 11.76 Hz olmak üzere altı adet frekansın belirlenebildiği görülmektedir.

4.2. Güneydoğu - Kuzeybatı Bileşeni (Kible Doğrultusu, y)

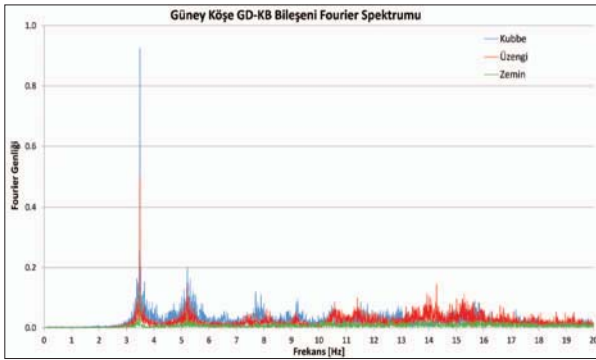
4.2.1. Güney Köşe Ölçümleri

Çalışma kapsamında yapılan operasyonel modal analiz deneyinden elde edilen kible yönündeki (y) ivme-zaman grafiklerinin bir bölümü Şekil 11'de verilmiştir. Kibleye dik doğrultuya (x) benzer şekilde, kible doğrultusunda (y) da ivme genliklerinin, kubbe seviyesinden aşağı seviyelere inildikçe küçüldüğü görülebilmektedir. Kayıtların kible doğrultusundaki bileşenleri için hesaplanan Fourier ve güç spektrumları ile bu doğrultudaki frekanslar ve karşılık gelen modlar Şekil 12'de gösterilmiştir.

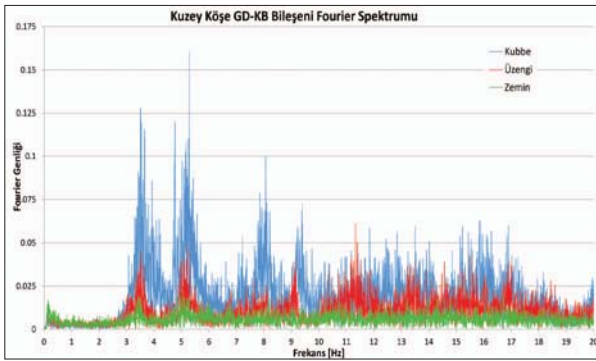
Yapının kible doğrultusunda elde edilen frekansları incelendiğinde, bu doğrultuda kibleye dik doğrultuya göre daha rijit davrandığı ilk frekans değerinden anlaşılmaktadır. Yapının kibleye dik doğrultudaki ilk frekans değeri 3.08 Hz iken, kible doğrultusundaki ilk frekans 3.49 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu durum yapının kible doğrultusunda



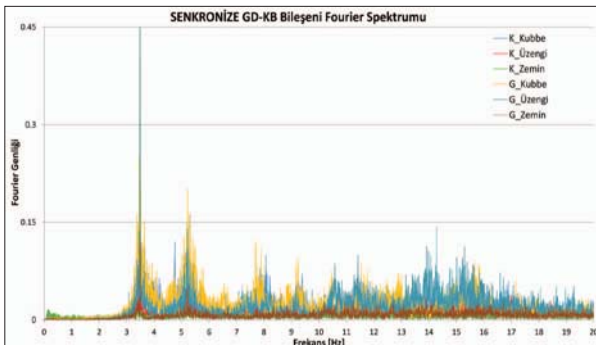
Şekil 11. İvme-Zaman Kayıtları, Güney Köşe, Kible Doğrultusu (y).



Şekil 12. Fourier ve Güç Spektrumları, Güney Köşe, Kible Doğrultusu (y).



Şekil 13. Fourier ve Güç Spektrumları, Kuzey Köşe, Kible Doğrultusu (y).



Şekil 14. Fourier ve Güç Spektrumları, Kible Doğrultusu (y).

daha rijit olduğunu göstermektedir. Fourier ve güç spektrumlarından çıkarılabilecek diğer bir sonuç da kible doğrultusundaki frekansların daha belirgin olmasıdır.

4.2.2. Kuzey Köşe Ölçümleri

Caminin kuzey köşe konumundaki ivmeölçerlerden elde edilen ivmelerin kible doğrultusundaki bileşenleri için hesaplanan Fourier ve güç spektrumları Şekil 13'te verilmiştir. Spektrumlarda zeminden kubbeye genliklerin artış gösterdiği, baskın frekanslara ait tepe noktalarının daha belirgin hale geldiği görülebilmektedir.

4.2.3. Güneydoğu - Kuzeybatı Bileşeni (Kible Doğrultusu, y) - Genel Değerlendirme

Nur-u Osmaniye Camii'nden alınan tüm ivme kayıtlarının kible doğrultusundaki (y) bileşeni için kubbe eteği seviyesi, ana askı kemeri üzengi seviyesi ve zemin kat döşemesi seviyeleri için hesaplanan Fourier ve güç spektrumları Şekil 14'te verilmiş, bu spektrumlardan elde edilen doğal frekanslar ile karşılık gelen modlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Kible doğrultusunda elde edilen frekans değerlerine bakıldığında ilk frekans değerinin 3.49 Hz olduğu, daha sonra da 5.22 Hz, 7.70 Hz, 9.17 Hz, 10.58 Hz ve 11.41 Hz olmak üzere altı adet frekansın belirlenebildiği görülmektedir.

Mod	Frekans (Hz)	Periyot (s)
Y1	3.49	0.287
Y2	5.22	0.192
Y3	7.70	0.130
Y4	9.17	0.109
Y5	10.58	0.095
Y6	11.41	0.088

Tablo 2. Kible Doğrultusundaki (y) Doğal Frekans, Periyot ve Modlar.

5. SONUÇLAR

Yapıda bütün ölçüm noktalarından alınan ivme kayıtlarının planda yapının her iki asal doğrultusu için ayrı ayrı hesaplanan Fourier ve güç spektrumları Şekil 15'te verilmiştir. Her iki doğrultuda hesaplanan spektrumlar karşılaştırıldığında, sadece tek doğrultudaki spektrumda görülen frekansların ilgili doğrultuda ötelenme hareketine karşılık geldiği, her iki doğrultudaki spektrumlarda birbirleriyle çakışan frekansların da burulma hareketine karşılık geldiği belirlenebilmektedir.

Yapıda serbest titreşim durumunda meydana gelen sınımların her iki asal doğrultudaki bileşenlerinden dördü burulma moduna karşılık geldiği için kible doğrultusunda ve kibleye dik doğrultuda ikişer ötelenme modu tespit edilmiştir. Her iki doğrultudaki spektrumlara bakıldığında toplam sekiz frekans ve bunlara karşılık gelen modların belirlenebildiği Tablo 3'te görülmektedir. Analizlerle tespit edilen ilk üç frekans ve mod dikkat çekicidir. İlk iki modun ($f_1 = 3.08$ Hz, $f_2 = 3.49$ Hz) kibleye dik doğrultu ve kible doğrultusunda ötelenme hareketleri olduğu, üçüncü modun ise ($f_3 = 5.22$ Hz) burulma modu olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar yapının dinamik davranışının oldukça düzgün ve tanımlı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında;

- Nur-u Osmaniye Camii'nde gerçekleştirilen operasyonel modal analiz deneyi ile yapıda ek bir zorlama meydana getirmeden çevre etkilerinin meydana getirdiği titreşimlerin değerlendirilmesi sonucu yapının hâkim doğal titreşim periyotları ve mod şekilleri belirlenmiştir.

- Yapıdan alınan ivme kayıtlarından hesaplanan Fourier ve güç spektrumu analizleriyle yapının planda her iki akseni doğrultusunda altışar adet mod ve bu modlara karşılık gelen serbest titreşim frekansları tespit edilmiştir.

- Analizler sonucunda ilk modun 3.08 Hz frekansla kibleye dik doğrultuda öteleme, ikinci modun 3.49 Hz frekansla kible doğrultusunda öteleme, üçüncü modun ise 5.22 Hz

Mod	Frekans (Hz)	Periyot (s)	Mod Şekli
1	3.08	0.325	Ötelenme – x doğrultusu
2	3.49	0.287	Ötelenme – y doğrultusu
3	5.22	0.192	Burulma
4	7.70	0.130	Burulma
5	9.17	0.109	Burulma
6	10.58	0.095	Burulma
7	11.41	0.088	Ötelenme – y doğrultusu
8	11.76	0.085	Ötelenme – x doğrultusu

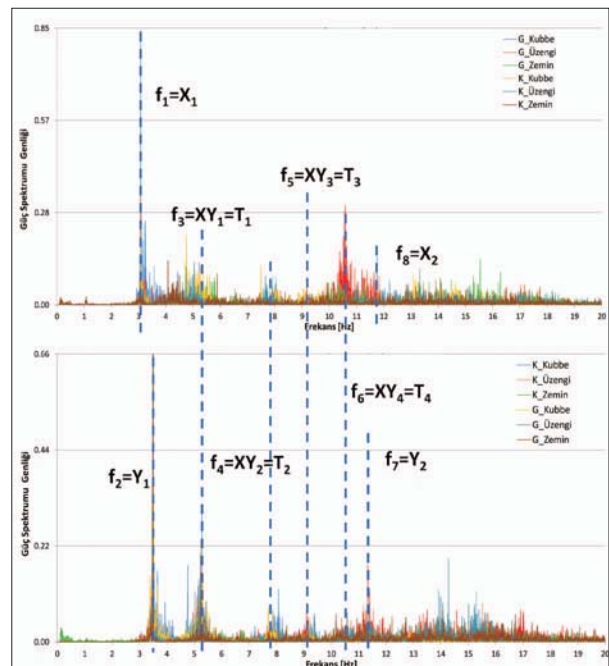
Tablo 3. Nur-u Osmaniye Camii - X ve Y Doğrultusundaki Frekans, Periyot ve Mod Şekilleri.

frekans değeri ile burulma modu olduğu tespit edilmiştir. Diğer modlar ise ilk üç moda nispetle daha karmaşık ve daha az baskın olan modlardır.

- İlk iki hâkim frekansın yapının planda asal eksenleri doğrultusunda ötelenme ve üçüncü hâkim frekansın burulma şeklinde olması yapının oldukça iyi bir taşıyıcı sisteme ve dinamik davranışa sahip olduğunu göstermektedir.

- Nur-u Osmaniye Camii, kible doğrultusunda, kibleye dik doğrultuya göre daha rijit bir davranış göstermektedir. Söz konusu rijitlik farkının sebebi kible doğrultusunda avlu ve minare kaidelerinin varlığıdır. Minare kaideleri ve avlunun yapıyı kible doğrultusunda rijitleştirdiği düşünülmektedir.

- Yapı kible doğrultusunda, kibleye dik doğrultuya göre daha net bir modal davranış göstermektedir. Bu durum yapının kible doğrultusunda sahip olduğu simetriyle açıklanabilir. Kibleye dik doğrultuda simetri olmadığı için ve aynı zamanda hünkâr mahfili etkisiyle yapı daha karmaşık bir modal davranış sergilemektedir.



Şekil 14. Fourier ve Güç Spektrumları, Kible Doğrultusu (y).

BİLGİ ve TEŞEKKÜR

Bu makale, Ömer Dabanlı'nın "Nur-u Osmaniye Camii'nin Deprem Performansının Belirlenmesi, Koruma ve Sağlama Önerileri" isimli, Prof. Dr. Feridun Çılı ve Prof. Dr. Yegân Kâhya'nın danışmanlığında yürütülen doktora tezinden faydalanılarak hazırlanmıştır. Çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Destekleme Programı (BAP) kapsamında ve ayrıca İBB Proje İstanbul kapsamında desteklenmektedir, desteği için İTÜ Rektörlüğü'ne ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür ederiz. Ayrıca yapıda ölçüm çalışmalarında görev alan Ahmet Korkmaz'a da özverisi ve katkısı için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ahmed Efendi, (1918) *Tarih-i Cami-i Şerif-i Nur-u Osmani.*
- Dabanlı Ö., Çılı F., Kahya Y., (2013) *Nur-u Osmaniye Camii'nin Temel İnşaatı, 4. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 27-29 Kasım, İTÜ, İstanbul.*
- Diaferio M., Foti D., Mongelli M., Giannoccaro N. I., Andersen P., (2011) *Operational Modal Analysis of a Historic Tower in Bari, Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series, Civil Engineering Topics, V:4, pp. 335-342.*
- E. Durukal, M.Erdik, S.Cimilli, (2001) *Strong Motion Networks: A Tool for the Assessment of Earthquake Response of Historical Monuments M. Erdik et al. (eds.), Strong Motion Instrumentation/or Civil Engineering Structures, pp. 209-228, Kluwer Academic Publishers.*
- Foti D., Diaferio M., Giannoccaro N.I., Mongelli M., (2012) *Ambient Vibration Testing Dynamic Identification And Model Updating Of A Historic Tower, NDT&E International, V:47, pp.88-95.*
- Kuban D., (2007). *Osmanlı Mimarisi, Yem Yayın, İstanbul.*
- Lourenço P.B. and Ramos L.F., (2011) *Dynamic identification and monitoring of cultural heritage buildings. WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage. 55-78.*
- Ramos L. F., (2007) *Damage Identification on Masonry Structures Based on Vibration Signatures. Guimaraés: Universidade do Minho, pp. 44.*