

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEKLİĞİN VE ŞEREFİ SAYISININ YIĞMA
MİNARELERİN DİNAMİK DAVRANIŞLARINA ETKİSİ**

CEMİLE DUMAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2020

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEKLİĞİN VE ŞEREFİ SAYISININ YIĞMA MİNARELERİN
DİNAMİK DAVRANIŞLARINA ETKİSİ**

Cemile DUMAN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekanik Bilim Dalı

Bu tez 02/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk CANSIZ
Üye

Prof. Dr. Tayfun SERVİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEKLİĞİN VE ŞEREFİ SAYISININ YIĞMA MİNARELERİN DİNAMİK DAVRANIŞLARINA ETKİSİ

Cemile DUMAN

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Yıl : 2020, Sayfa sayısı: 68

Jüri : Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk CANSIZ

Bu çalışmada yüksekliğin ve şerefe sayısının yığma minarelerin dinamik davranışları üzerindeki etkilerinin teorik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda farklı yüksekliklere ve farklı şerefe sayılarına sahip minareler sonlu elemanlar metodu esasına dayanan ANSYS Workbench bilgisayar yazılımı yardımıyla modellenmiştir. Model için literatürde yer alan deneysel analizlere tabi tutulmuş bir yığma minare esas alınmıştır. ANSYS Workbench yazılımı ile modellenen yığma minarelerin yapı malzemesinin homojen izotropik olduğu kabul edilmiştir. ANSYS Workbench yazılımı ile minarelerin serbest titreşim ve spektrum analizleri yapılmıştır. Minarenin yüksekliği esas alınarak minare bölümlerine aynı yükseklik değeri eklenerek/çıkarılarak minarenin farklı yükseklik değerlerine sahip yeni versiyonları elde edilmiştir. Elde edilen farklı yüksekliklerdeki minarelere şerefeler eklenerek farklı şerefe sayısına sahip yeni minare versiyonları elde edilmiştir. Yığma minarelerde kaide kısmı altındaki tüm serbestlik dereceleri, kaide ve küpün ise bir kısmı sabit olacak şekilde mesnetlenmişlerdir. Yığma minareler için yapılan serbest titreşim analizleri ile minarenin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak, doğal frekanslar ve minarenin mod şekilleri gibi dinamik karakterler elde edilmiştir. Yükseklikleri ve şerefe sayıları birbirinden farklı olan bu yığma minarelerin serbest titreşim ve spektrum analizleri yapılarak dinamik davranışları incelenmiştir. Ayrıca minarelerin doğal frekansları, mod şekilleri ve spektrum analizi sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile yeni yapılacak ya da restore edilecek yüksekliği ve şerefe sayısı farklı yığma minarelerin bulundukları bölgedeki depremsellikte göz önünde bulundurularak dinamik davranışlarının tahmin edilebilmesi sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yığma minare, Serbest titreşim, Şerefe sayısı, Spektrum analizi

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF HEIGHT AND NUMBER OF BALCONY ON DYNAMIC BEHAVIOR OF MASONRY MINARETS

Cemile DUMAN

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Associate Professor Mehmet Fatih ŞAHAN
Year : 2020, Number of pages: 68

Jury : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Asst. Prof. Dr. İsmail ÜNSAL
Asst. Prof. Dr. Ömer Faruk CANSIZ

In this study, it is aimed to theoretically examine the effects of height and number of balconies on the dynamic behavior of masonry minarets. For this purpose, minarets with different heights and different balcony numbers are modeled with the help of ANSYS Workbench computer software based on finite element method. The model is based on a masonry minaret that has been subjected to experimental analysis in the literature. Free vibration and spectrum analysis of minarets were performed with ANSYS Workbench software. It is assumed that the building material of the stacked minarets modeled with ANSYS Workbench software is homogeneous isotropic. Based on the height of the minaret, new versions of the minaret with different height values were obtained by adding / subtracting the same height value to the minaret sections. By adding balconies to the minarets of different heights, new minaret versions with different balconies were obtained. In the masonry minarets, all degrees of freedom under the pedestal part are supported so that the pedestal and part of the cube are fixed. With the free vibration analysis for masonry minarets, dynamic characters such as natural frequencies and the mode shapes of the minaret were obtained depending on the physical and mechanical properties of the minaret. The dynamic behaviors of these masonry minarets, whose heights and balcony numbers are different, were analyzed by performing free vibration and spectrum analysis. In addition, the natural frequencies, mode shapes and spectrum analysis results of the minarets were compared with each other. With this study, it will be ensured that dynamic behaviors can be predicted by considering the seismicity in the region where the different masonry minarets are located and the height and number of balconies to be made or restored.

Key Words: Masonry minaret, Free vibration, Number of balconies, Spectrum analysis

BEYAN

“Yüksekliğin ve Şerefe Sayısının Yığma Minarelerin Dinamik Davranışlarına Etkisi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Cemile Duman

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarında bana danışmanlık ederek beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet Fatih Şahan'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimde modellerimi oluşturmak için kullandığım ANSYS Workbench programında teknik destek sağlayan Numesys teknik desteğe teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana destek olan anneme ve babama minnet ve şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
BEYAN.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
RESİMLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	7
3.1. Minarede Kullanılan Malzemeler.....	8
3.1.1. Tuğla.....	8
3.1.2. Doğal Taş	9
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi	10
3.3. Mod Birleştirme Yöntemi (Spektrum Analizi)	11
3.4. Çevresel Titreşimlerle Modal Analiz (Operasyonel Modal Analiz)	13
3.5. Spektral İvmenin Belirlenmesi.....	13
4. YIĞMA YAPILAR VE MİNARELER	16
4.1. Yığma Yapılar	16
4.1.1. Yığma Yapıların Tanımı	16
4.1.2. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler	16
4.1.2.1. Doğal Taş	17
4.1.2.2. Kerpiç	17
4.1.2.3. Tuğla	18
4.1.2.4. Harç	18
4.1.2.4.1. Horasan Harcı	18
4.1.2.4.2. Kireç Harcı	19
4.1.2.5. Ahşap	20
4.2. Minareler	20
4.2.1. Minarelerin Bölümleri.....	28

4.2.1.1. Temel.....	29
4.2.1.2. Kaide (Kürsü).....	29
4.2.1.3. K�p (Geçiş Bölgesi, Pabuç, Yedi Sekiz)	29
4.2.1.4. Gövde	30
4.2.1.5. şerefe (Balkon)	30
4.2.1.6. Petek.....	31
4.2.1.7. Külah.....	31
4.2.1.8. Alem.....	31
4.2.1.9. Merdivenler	32
5. BULGULAR VE TARTIşMA	33
5.1. Minarelerin Yapısal Modellemesi	33
5.1.1. Tarihi Trabzon İřkenderpařa Camii Minaresi.....	33
5.1.2. Minarenin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi.....	35
5.1.3. Farklı Yüksekliklerde ve Farklı şerefe Sayılarında Minarelerin Oluşturulması	38
5.1.4. Minarelerin Depremsellik Bakımından İncelenmesi.....	46
6. SONUÇLAR ve �NER�LER.....	61
KAYNAKLAR	63
KİşİSEL B�LG�LER	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Kargir Birimlerin Delik Oranlarına Göre Gruplandırılması	8
Çizelge 3.2 Tuğla Taşıyıcı Duvarların Karakteristik Basınç Dayanımı, f_k (MPa).....	8
Çizelge 3.3 Tuğla Duvarların Başlangıç Kesme Dayanımları, f_{vko} (MPa).....	9
Çizelge 3.4 Kesme Taş Taşıyıcı Duvarların Karakteristik Basınç Dayanımı, f_k (MPa)	9
Çizelge 3.5 Doğal ve Yapay Taş Duvarların Başlangıç Kesme Dayanımları, f_{vko} (MPa)	9
Çizelge 4.1 Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Mekanik Özellikleri.....	17
Çizelge 4.2 Tuğlaların Ortalama Mekanik Özellikleri.....	18
Çizelge 4.3 Ahşapların Ortalama Mekanik Özellikleri.....	20
Çizelge 4.4 Farklı Coğrafya ve Dönemlere Ait Minare Örnekleri.....	27
Çizelge 5.1 Malzeme Güncellemesi Öncesi – Sonrası Frekans Değerleri.....	37
Çizelge 5.2 Kapasite Bakımında Camii ve Minare Yükseklikleri	38
Çizelge 5.3 Farklı Yüksekliklere ve Şerefe Sayılarına Sahip Minarelerin Frekans Değerleri.....	39
Çizelge 5.4 Farklı Yüksekliklere Sahip Minarelerin Frekans Değerleri.....	40
Çizelge 5.5 Yerel Zemin Sınıfları	48
Çizelge 5.6 Yerel Zemin Etki Katsayıları	48
Çizelge 5.7 Yerel Zemin Etki Katsayıları	49
Çizelge 5.8 Minare Tasarımında Kullanılan Parametreler.....	52
Çizelge 5.9 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre 20.5 m Yüksekliğindeki Tek ve Çift Şerefeli Minarelerin Spektrum Analizi Sonuçları.....	53
Çizelge 5.10 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre 22.55 m Yüksekliğindeki Tek, Çift ve Üç Şerefeli Minarelerin Spektrum Analizi Sonuçları.....	53
Çizelge 5.11 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre 24.60 m Yüksekliğindeki Tek, Çift ve Üç Şerefeli Minarelerin Spektrum Analizi Sonuçları.....	54
Çizelge 5.12 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre 26.65 m Yüksekliğindeki Tek, Çift ve Üç Şerefeli Minarelerin Spektrum Analizi Sonuçları.....	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 8 Farklı Kayıt İçin Çizilen Spektrumlar.....	15
Şekil 3.2 Spektrum Katsayısı Teriminin Formülde Gösterilişi.....	15
Şekil 4.1 Minarelerin Tarihi Süreçte Gelişimi [9]	22
Şekil 4.2 Minarenin Bölümleri [51].....	28
Şekil 5.1 İskenderpaşa Camii Minaresi Bölümleri	34
Şekil 5.2 Minarenin A-A, B-B, C-C Kesitleri İç ve Dış Çapları [54].....	34
Şekil 5.3 Minarenin ANSYS Workbench ile Modellenmiş; (a) Katı Model Tasarımı, (b) Merdiven Tasarımı, (c) Modelin Mesh Tasarımı	35
Şekil 5.4 Minarenin Sabitlenen Kısımları.....	36
Şekil 5.5 Mod Değerleri ve Şekilleri.....	37
Şekil 5.6 Yüksekliği %30 Arttırılmış Minareler (a)Tek Şerefeli (b) Çift Şerefeli (c) Üç Şerefeli.....	41
Şekil 5.7 Yüksekliği %20 Arttırılmış Minareler (a)Tek Şerefeli (b) Çift Şerefeli.....	41
Şekil 5.8 Yüksekliği %10 Arttırılmış Minareler (a)Tek Şerefeli (b) Çift Şerefeli.....	41
Şekil 5.9 Yükseklikleri Farklı Tek Şerefeli Minareler (a) Yüksekliği %10 Azaltılmış Minare (b) Yüksekliği %20 Azaltılmış Minare (c) Yüksekliği %30 Azaltılmış Minare	42
Şekil 5.10 Yükseklik Artışları Gövde Bölümüne Uygulandığında Tek, Çift ve Üç Şerefeli Minarelerde 1. Mod Frekansları Değişimi	42
Şekil 5.11 Yükseklik Artışları Petek Bölümüne Uygulandığında Tek Şerefeli Minarede 1. Mod Frekansları Değişimi	43
Şekil 5.12 Yükseklik Artışları Gövde Bölümüne Uygulandığında Tek Şerefeli Minarede 1. Mod Frekansları Değişimi	43
Şekil 5.13 Farklı Yüksekliklerdeki Tek Şerefeli Minarelerin Bölümlerine Göre İlk Frekans Değerlerindeki Değişim	44
Şekil 5.14 Yükseklik Artışları Petek Bölümüne Uygulandığında Çift Şerefeli Minarede 1. Mod Frekansları Değişimi	44
Şekil 5.15 Yükseklik Artışları Gövde Bölümüne Uygulandığında Çift Şerefeli Minarede 1. Mod Frekansları Değişimi	45

Şekil 5.16 Farklı Yüksekliklerdeki Çift Şerefeli Minarelerin Bölümlerine Göre İlk Frekans Değerlerindeki Değişim	45
Şekil 5.17 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	50
Şekil 5.18 Düşey Elastik Tasarım Spektrumu	50
Şekil 5.19 Modelin ANSYS Workbench'teki Kurgusu	51
Şekil 5.20 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre Spektrum Analiz Sonuçları (Minare Yüksekliği:20.5 m).....	56
Şekil 5.21 Düşey Elastik Spektrum Değerlerine Göre Spektrum Analiz Sonuçları (Minare Yüksekliği:20.5 m).....	57
Şekil 5.22 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre Spektrum Analiz Sonuçları (Minare Yüksekliği:26.65 m).....	58
Şekil 5.23 Düşey Elastik Spektrum Değerlerine Göre Spektrum Analiz Sonuçları (Minare Yüksekliği:26.65 m).....	59

RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1 Uydu Fotoğrafi	7
Resim 3.2 İskenderpaşa Camii ve Minaresi	8
Resim 5.1 Afad Web Uygulaması Harita Görünümü	47



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	: Boşluk oranı
fk	: Karakteristik Basınç Dayanımı
fb	: Kargir Birim Basınç Dayanımı
$fvko$	: Başlangıç Kesme Dayanımları
fm	: Harç Basınç Dayanımı
E	: Elastisite Modülü
E_{duv}	: Duvarların elastisite modülü
F	: Kuvvet
G_{duv}	: Duvar Kayma Modülü
N	: Newton
$[M]$	: Kütle Matrisi
$[C]$	: Sönümleme Matrisi
$[K]$	: Rijitlik Matrisi
$\{\ddot{u}\}$	: İvme Vektörü
$\{\dot{u}\}$	: Hız Vektörü
$\{u\}$	: Yer Değiştirme Vektörü
$\{F\}$	: Kuvvet Vektörü
w	: Sinüs Dalgasının Radyal Frekansı
e^{iwt}	: Sinüs Dalgasının Zaman Cevabı
$S(T)$	: Spektrum Katsayısı
σ	: Emniyet gerilme

Kısaltmalar

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
3D	: 3 Dimension (Boyut)
FEM	: Finite Element Model
OMA	: Operasyonel Modal Analiz
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standardı
TS EN 1052-1	: Bu standard, kagir basınç dayanımı tayin metodunu kapsar.
m	: Metre
cm	: Santimetre
Pa	:Pascal
MPa	:Megapascal

1. GİRİŞ

Camilerin ana unsurlarından biri olan fonksiyonelliğinin yanı sıra simgesel olarak da özel bir öneme sahip minareler yapıları itibarı ile uzun ve ince olduklarından, yatay yüklere karşı oldukça hassastırlar. Bu hassaslık minareleri tasarlayanları ve inşa edenleri daha dikkatli davranmaya, bunlar için farklı yapım tekniklerinin geliştirilmesine, farklı geometrik özellikteki bölümlerin kullanılmasına yol açmıştır. Geçmişten günümüze kadar her dönemde inşa edilen bu yapılar geçmiş dönemde yapılanları korumak ve gelecekte inşa edilecekler için sonraki nesillere yol gösterecek kılavuz bırakmak gayesiyle sürekli geliştirilmelidir. Ancak günümüzde bu bölümlerin restorasyonu sırasında genel olarak mimari özelliklerin korunması ve restorasyonu ön planda tutulduğundan, yapısal analiz ve değerlendirmeler genellikle arka planda kalmaktadır.

Osmanlı minareleri, diğer İslam ülkelerinde görülmeyen bir inceliğe sahiptir. Gökyüzüne sanki bir mızrak gibi yükselirler. Merdiven basamakları minarenin ekseninde silindirik bir çekirdek oluşturacak şekilde genellikle tek taştan yontulmuştur. Silindirik çekirdek birbirine zıvana ile bağlanmıştır. Basamaklar diğer yönde minarenin dış çevre duvarına oturur ve rüzgârın yatay etkilerini yumuşatır. Minarelerdeki şerefe sayısı 1-3 arasındadır. Minarelerdeki şerefelere aynı merdivenden ulaşılır. Minare külahı, orta eksene dikilen ahşap bir direğe dayanan merteklerin önce ahşap, sonra kurşun kaplanmasıyla oluşur [1].

Yapıların kullanım ömürleri boyunca maruz kaldıkları etkiler arasında en kritiklerinin yatay kuvvetler olduğu dikkate alınırsa minareler için deprem etkilerinin de dikkate alındığı dinamik analizlerin ne denli önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Minarelerin yükseklikleri, şerefe sayıları ve inşa edildikleri zeminin özellikleri dinamik davranışlarını etkileyen temel faktörler arasındadır. Özellikle yapının doğal titreşim periyodu ile zeminin titreşim periyodunun birbirine yaklaşması sonucu rezonans durumu ortaya çıkar. Yapı salınımının deprem süresi boyunca artarak yapının göçmesi ile sonuçlanabileceği dikkate alındığında özellikle minareler için yapılacak dinamik analizlerde zemin etkileşiminin dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkar.

Bu çalışma ile farklı yüksekliklere ve farklı şerefe sayılarına sahip minareler sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellenecek ve serbest titreşim analizi yapılarak minarelerin serbest titreşim frekansları ve mod şekilleri bulunacaktır. Ayrıca Adıyaman il merkezi baz alınarak yaygın olarak görülen ortalama zemin sınıfı ve depremsellik ile tasarım spektrumları oluşturulacak ve oluşturulan bu spektrumlara göre dinamik analiz yapılacaktır. Yapılan spektrum analizi sonucunda elde edilen bulgular sayesinde minarenin dinamik davranışları tespit edilecektir. Minarelerin davranışlarının minarenin yüksekliğine ve şerefe sayısındaki farklılığa ayrıca zemin sınıflarına göre nasıl değişim yaptığı araştırılarak ortaya konacaktır.

Bu çalışmada yükseklikleri ve şerefe sayıları farklı birden fazla cami minaresi seçilmeyip sadece bir cami minaresinin verilerinden faydalanılmasında tarihi yığma minarelerin günümüze kadar geçirdiği farklı restorasyon ve onarım durumlarının, aynı malzemeden inşa edilmiş olsalar bile farklı sonuçlara sebep olmasının önüne geçebilmek amaçlanmıştır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda yığma minarelerin serbest titreşimi üzerine çalışmalara rastlanılmış olmakla birlikte yığma minarelerin zorlanmış titreşimlerine yönelik çok az çalışma yapıldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte yükseklik ve şerefe sayılarının minarenin dinamik davranışlarına etkisini içeren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın mevcut literatürlere farklılık katacak bir çalışma olması amaçlanmıştır. Çünkü önemli olan benzer literatürlere bir yenisini daha eklemek değil mevcut literatürlere katkı sağlayan bir farklılık yaratmaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yığma minarelerin ve benzer yapıdaki tarihi yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesine, deprem davranışlarının incelenmesine yönelik yapılan çalışmalar diğer yapı türleri üzerine yapılan araştırmalara oranla sınırlı sayıdadır. Yapılan literatür taraması ile minarelerin hesap ve tasarımı için hazırlanmış Diyanet İşleri Başkanlığının “Minarelerin Yapımında Uygulanacak Esaslar” talimatı dışında herhangi bir standart ya da yönetmeliğin olmadığı görülmüştür. Deprem kuşağında yer alan ve yüzyıllardır birçok medeniyete ev sahipliği yapan bir coğrafyada yer alan ülkemiz birçok medeniyetin tarihi ve kültürel mirasına sahiptir. Bir deprem ülkesi olan Türkiye’de sahip olduğumuz bu mirasları gelecek nesillere aktarmak her dönemde önemle üzerinde durulan bir mesele olmuştur. Ülkemizde ve yurtdışında konu ile ilgili farklı çalışma grupları tarafından yapılan çalışmalar bu bölümde sunulmuştur.

Çarhoğlu ve arkadaşları [2] çalışmalarında, birçok çalışmayı göz önünde bulundurarak Ayasofya minarelerinde zaman tanım alanında dinamik analiz yapmışlardır. Analizler sonucunda minare yüksekliğinin yer değiştirme ve gerilme değerini etkilemesine ek olarak gövde çapının da bu değerler üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Serhatoğlu ve Livaoğlu [3] çalışmalarında, Bursa ilinde yer alan Molla Arap Cami minaresinin dinamik karakteristiklerini modal analiz yöntemi kullanarak belirlemiş ve minarenin muhtemel depreme karşı davranışını irdelemişlerdir.

Şentürk ve Özkaynak [4] çalışmalarında İstanbul/Kasımpaşa’da yer alan Kapıüstü Mescidi minaresinin modal analizini ve itme analizini sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılarak irdelemişlerdir. Ayrıca minarelerin yapısal davranışını büyük ölçüde etkilediği düşünülen basamak sayısı ve minare uzunluğu çalışmanın temel parametreleri kabul edilerek yapı dayanımına etkileri araştırılmıştır.

Oğuzmert [5] çalışmasında, ince ve uzun yapılarından dolayı deprem ve rüzgâr yükleri gibi yatay etkilere karşı zayıf olan yığma minarelerin dinamik davranışlarını araştırmıştır.

Temüz [6] çalışmasında minarelerin zaman içindeki gelişimi, yapım amaçları, minare elemanları, minarelere etkiyen yükler, hesap yöntemleri ve bu yapılara ilişkin yayınlanan çeşitli esaslar ve standartlara değinilmiştir.

Ertek [7] çalışmasında, Osmanlı döneminde inşa edilen minarelerde kullanılan çeşitli yapı teknolojileri ve malzemeler araştırmıştır. Farklı minare sistemlerini sonlu elemanlar tekniği ile modellemiştir. Kullanılan farklı malzemelerin ve mesnet koşullarının, minarenin dinamik davranışları üzerine etkisi incelenmiştir.

Baştürk [8] çalışmasında, minarelere deneysel modal analiz yöntemlerinden birisi olan çevresel titreşim testleri yapmış ve minarelerin frekanslarını ve mod şekillerini elde etmiştir. Daha sonra malzeme özellikleri ve mesnetlenme koşulları göz önünde bulundurularak sonlu eleman analizinden elde edilen sonuçlarla deneysel yaklaşımla elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

Akbulut Taş [9] çalışmasında kule, baca ve yüksek yapılarda Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin (AKS) kullanılması yöntemini önermiştir. Bu yöntemle göre AKS yapıda meydana gelecek rezonans durumunda mekanik enerjiyi harcayarak sönümleme sağlar.

Dehghanian [10] çalışmasında, günümüzde inşa edilen modern betonarme minarelerin Türk deprem yönetmenliğinde (DBYBHY, 2007) tasarlanıp, gerçek ivme kayıtları ile kıyaslanması için temel yöntemleri ve kriterleri özetlemiştir.

Çalık [11] çalışmasında, farklı taşıyıcı sistemli tarihi cami ve minarelerin restorasyon öncesi ve sonrası deneysel dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi için Çevresel Titreşim Testi Yöntemi ile veriler toplanmış ve eserlerin dinamik karakteristikleri elde edilmiştir.

Nuhoğlu ve Şahin [12] bu çalışmalarında sanayi bacası ve minare gibi içi boş dairesel kesitli narin yapıların tasarımını içeren standartları genel olarak değerlendirmiş; deprem ve şiddetli rüzgâr etkisindeki dinamik davranışlarını bulundukları bölgenin deprem sınıfı ve zemin sınıfını göz önünde bulundurarak incelemiştir.

Calp [13] çalışmasında, tarihi yapılarda deprem kuvvetleri nedeni ile meydana gelebilecek muhtemel risklerin tespit edilmesi, sonuçlarının değerlendirilmesi, bilimsel ve teknik açıdan tanımlanması ve önerilerde bulunmak amaçlamıştır.

Tarihi yığma yapıların modelleme ve analizinin yapılması zor ve karmaşık bir iştir. Şen [14] yaptığı çalışma ile tarihi yığma yapıların modelleme ve analiz metotlarını sunmuştur. Söz konusu çalışma için 105 yaşında yığma bir bina (Hemdat Israil Sinagogu) seçmiş, 3D Finite Element modeli modellemesi ve Lineer Elastik analizi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Çalık [15] çalışmasında, Çevresel Titreşim Testleri yardımıyla yığma taş minarelerin deneysel ölçümlerinden elde edilen deneysel doğal frekanslarından elde edilen verilerle çeşitli parametrelere bağlı basitleştirilmiş doğal frekanslarının belirlenmesini amaçlamıştır.

Hacıfendioğlu ve Maraş [16] çalışmalarında, yığma tipi bir tarihi minarenin mod parametrelerini sayısal ve deneysel analizler yaparak araştırmışlardır. Çalışmada deneysel analiz için Samsun'da bulunan Büyük Camiyi seçilmiştir. Minarenin mod parametrelerini elde etmek için Operasyonel Modal Analiz tekniği kullanılmıştır. Minare fotoğraflarını gerekli bilgilere dönüştürerek veri analizi yapmak ve sonlu eleman (FE) modeli oluşturmak için fotogrametri yöntemi kullanılmıştır.

Gündoğan ve arkadaşları [17] çalışmalarında, Kırklareli ili Merkez ilçesinde yer alan Hızırbey Camii minaresinin lineer dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Minarenin dinamik analizi, mod birleştirme yöntemi ile 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine (DBYBHY 2007 ve TBDY 2018) göre SAP2000 yazılımı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda TBDY 2018 yönetmeliğine göre elde edilen kuvvet ve yer değiştirme değerlerinin DBYBHY 2007 yönetmeliğine oranla daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Döven ve arkadaşları [18] çalışmalarında, ülkemizde çok nadir olarak bulunan kapalı şerefeli minarelerin olası depremlere karşı dinamik davranışlarını incelemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla Kütahya İlinde bulunan kapalı şerefeli Yeşil Camii minaresi incelenmiştir. Çalışmalarında sismik analizden ziyade yapım teknikleri ve dinamik karakteristiklerin belirlenmesi üzerinde durmuşlardır.

Eren ve Beyen [19] çalışmalarında, tarihi yapıların bulunduğu zemin davranışı ve mesnet koşullarının hesaplara dahil edilmesi durumunu incelemişlerdir. Yapılan incelemelere göre, mevcut tarihi yapıların zemine bağlantısının ankastre veya basit mesnet olarak düşünülmesinin kayda değer farklar oluşturmadığı ancak zemin

tabakalarının modele dahil edilmesinin sonuçları önemli ölçüde değiştirdiğini gözlemlemiştir. Sonuç olarak zeminin yapıya yaklaşan seviyelerinde sağlam zemin oluşturulmasıyla deprem etkilerinin azaltılabileceği ve tarihi yapılara böyle bir işlevin kazandırılmasının su kuyularıyla sağlanabileceği öngörülmüştür.

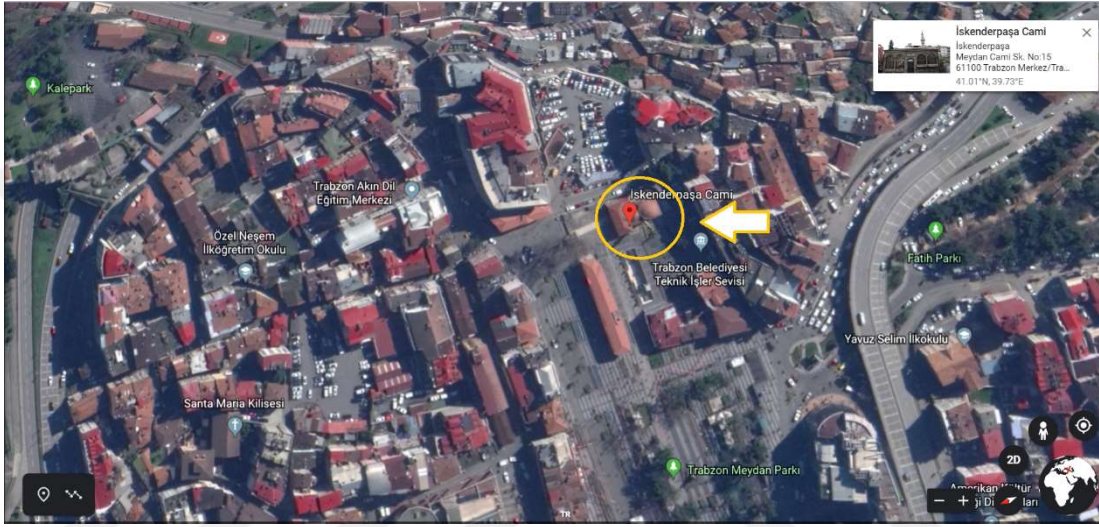
Erdoğan [20] çalışmasında, yapılarda deneysel yöntemler ile elde edilen yer değiştirme gibi fiziksel büyüklükler ile modal parametreler yapının mevcut durumu hakkında önemli bilgiler içermektedir. Bu bilgilerin elde edilmesi alışlagelmiş yöntemlerle elde edilmesi pratik olmamasından dolayı bu sayısal görüntü işleme teknikleri ile yapı titreşimlerinin ölçülmesi ve deneysel modal parametrelerin (doğal frekans, mod şekilleri vb.) tayini üzerinde durmuştur.

Koçer ve arkadaşları [21] çalışmalarında, Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY 2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)'de tanımlanan spektral ivme değerleri ile zemin hâkim periyotlarını, risk durumuna göre dört farklı il ve farklı zemin sınıfları için değerlendirmiştir. Sonuçlar, genelde zayıf zemin grupları için TBDY 2018'in TDY 2007'ye göre daha güvenli tarafta kaldığını göstermiştir.

Geometrisi bakımından düzensiz olan ve geniş alana yayılan tarihi yığma yapılar depremde iyi bir performans sergilemezler. Simetrik olmayan kütle dağılımına sebep olan yükseklik farkı ya da plandaki düzensizlikler, özellikle burulma momentlerinden kaynaklanan gerilmeleri ortaya çıkarır. Sonlu elemanlar yöntemiyle hesabı yapılan tarihi yapıların analitik modellemesinin doğru bir şekilde yapılması analiz sonuçlarının sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi bakımından çok önemlidir. Can ve arkadaşları [22] bu konuyu ele aldıkları çalışmalarında, plan şekli dağınık olan Küçük Mustafa Paşa Hamamını kullanmışlardır. Dağınık plan geometrisinin ve farklı yüksekliklerin neden olduğu düzensiz kütle dağılımından dolayı tarihi yapılarda hazırlanan analitik modelin hazırlanış tekniğinin önemine değinmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yüksekliğin ve şerefe sayısının yığma minarelerin dinamik davranışlarına etkisini incelemek için deneysel çalışmaları yapılmış mevcut bir minare ele alınmıştır. Bu çalışmada incelenecek minare Trabzon ilimizde bulunan tarihi İskenderpaşa Camii minaresidir. Camii minaresinin uydu görüntüsü Resim 3.1 de verilmiştir.



Resim 3.1 Uydu Fotoğrafı [23]

Yapı Trabzon ili Ortahisar ilçesi İskenderpaşa mahallesinde bulunmaktadır. (Pafta:54 Ada:309 Parsel:4; Koordinatları:41.0052, 39.7324)

Caminin ilk ismi Cami-i Merhum İskender Paşa'dır. Yazılı kaynaklara göre, Feruhan Bey'in "Meydan Camii" kitabesinden anlaşıldığı üzere, Hicri 936 (Miladi 1529/1530) yılında, dönemin Trabzon valisi İskender Paşa tarafından yaptırılmıştır. Orijinal inşa kitabesinin dışında Hicri 1291 (Miladi 1874/1875), Hicri 1300 (Miladi 1882/1883) ve Hicri 1315 (Miladi 1897/1898) tarihli onarım kitabeleri de bulunmaktadır. Cami, çeşme, günümüze ulaşmayan medrese ve Darül Kurra ile birlikte külliye'nin bir parçasını oluşturmaktadır (Resim 3.2). Yapı, yığma yapım sistemiyle kesme taş malzemeden inşa edilmiştir [24]. Minare yapımında taş ve tuğla birlikte kullanılmıştır.



Resim 3.2 İskenderpaşa Camii ve Minaresi [25]

3.1. Minarede Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Tuğla

Tuğla; pişirilmiş kerpiç olarak tanımlanır. Malzemenin pişirilme süresi ve boşluk oranı, dayanımını etkilemektedir.

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde tuğla malzemesinin boşluk oranı, karakteristik basınç dayanımı ve tuğla duvarın başlangıç kesme dayanımları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 de aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kargir Birimlerin Delik Oranlarına Göre Gruplandırılması

Kargir Birim Cinsi	Grup I	Grup II
Tuğla	$\alpha \leq \%35$	$\%35 < \alpha \leq \%50$

Çizelge 3.2 Tuğla Taşıyıcı Duvarların Karakteristik Basınç Dayanımı, f_k (MPa)

Birim Sınıfı	Harç Sınıfı	Kargir Birim Basınç Dayanımı f_b					
		5	10	15	20	25	30
Grup I	İnce tabakalı harç*	2.9	5.3	7.5	9.6	11.6	13.5
Grup II		2.2	3.5	4.7	5.7	6.7	7.6

*İnce tabakalı harç, birimler arası harç tabakası 0.5 mm ile 3.0 mm olan harç

Çizelge 3.3 Tuğla Duvarların Başlangıç Kesme Dayanımları, f_{vko} (MPa)

Kargir Birim	Genel Amaçlı Harçlar *		İnce Tabakalı Harç
Tuğla	M10-M20	0.30	0.30
	M2.5-M9	0.20	
	M1-M2	0.10	

*Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.

3.1.2. Doğal Taş

Taş; basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Taşın basınç, çekme, aşınma, eğilme dayanımları ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri, malzemenin; cins, kesilme biçimi, birleşim dokusu, işçilik, kullanım alanı gibi birçok etkene bağlıdır.

TBDY 2018’de taş duvarların karakteristik basınç dayanımı ve başlangıç kesme dayanımları Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Kesme Taş Taşıyıcı Duvarların Karakteristik Basınç Dayanımı, f_k (MPa)

Birim sınıfı	Harç sınıfı	Harç basınç dayanımı, f_m (MPa)	Kargir Birim Basınç Dayanımı f_b					
			5	10	15	20	25	30
Grup II ve Kesme Taş	Genel Amaçlı Harçlar	M10-M20	2.8-3.4	4.5-5.5	6.0-7.4	7.3-9.0	8.5- 10.5	9.7- 12.0
		M2.5-M9	1.8-2.7	3.0-4.4	3.9-5.8	4.8-7.1	5.6-8.3	6.4-9.4
		M1-M2	1.4-1.7	2.3-2.8	3.0-3.7	3.7-4.5	4.3-5.3	4.9-6.0

Çizelge 3.5 Doğal ve Yapay Taş Duvarların Başlangıç Kesme Dayanımları, f_{vko} (MPa)

Kargir birim	Genel amaçlı harç *		İnce tabaka harç
Doğal veya Yapay Taş	M1-M2	0.10	Kullanılamaz

*Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.

TBDY 2018’e göre taşıyıcı duvarların elastisite modülü, E_{duv} , TS EN 1052-1’e göre yapılacak deneyler yolu ile belirlenebilir. Bu deneylerin yapılmadığı durumlarda E_{duv} değeri yapısal çözümleme için $750f_k$ değerine eşit alınacaktır. Donatılı paneller ile

oluşturulmuş duvarların elastisite modülü $450f_k$ olarak alınacaktır. Duvar kayma modülü, G_{duv} , elastisite modülünün %40'ı olarak alınacaktır.

İskenderpaşa Cami minaresinde iki farklı malzeme kullanılmıştır. Ancak minare sonlu elemanlar metoduyla modellenirken malzemeler homojen tek bir malzeme olarak değerlendirilmiştir. Minarede ilk olarak kullanılan malzemenin özellikleri elastisite modülü, poisson oranı ve birim hacim kütlesi olmak üzere sırasıyla $2.0 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, 0.20 ve 2169 kg/m^3 olarak alınmıştır. Ancak deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar metoduyla modellenen 3 boyutlu modelin frekans değerleri birbiriyle eşleşmemiştir. Tarihi yapıların günümüze ulaşana kadar geçirdiği restorasyonlar; maruz kaldığı depremler ve dış etkenler; yapım teknikleri ve kullanılan malzemeler düşünüldüğünde sonlu elemanlar metodundaki 3 boyutlu eleman kadar mükemmel bir tasarımı olmadığı göz önünde bulundurularak malzemede güncelleme yapılmıştır. Bu güncelleme ile modelin elastisite modülü ile birim hacim kütlesi sırasıyla %7.5 ve %12.5 oranında azaltılmıştır. Böylece elastisite modülü $1.85 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ve birim hacim kütlesi 1897.875 kg/m^3 olarak güncellenmiştir.

Bu çalışmada ele alınacak minarenin modellemesi ve dinamik analizlere tabi tutulması ANSYS (2015) yazılımı ile yapılacaktır. ANSYS (2015) yazılımı sonlu elemanlar metoduna dayanan bir programdır.

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Dinamik hesaplamalarda kullanılan Sonlu Eleman Yöntemine dayalı N serbestlik dereceli bir sistemin genel hareket denklemi aşağıdaki gibidir:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

burada $[M]$ kütle matrisi, $[C]$ sönümlenme matrisi ve $[K]$ rijitlik matrisi, $\{\ddot{u}\}$ ivme vektörü, $\{\dot{u}\}$ hız vektörü, $\{u\}$ yer değiştirme vektörü ve $\{F\}$ ise kuvvet vektörüdür. Formüldeki her vektör zamanın birer fonksiyonudur.

Yukarıdaki eşitlikte sönümlemeyi ihmal edersek aşağıdaki formül ortaya çıkar:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (2)$$

Bazı durumlarda sönüm ihmal edilir. Sönüm ihmal edilerek formüldeki $\{\ddot{u}\}_1$ ve $\{u\}_1$ dinamik denklemin çözüm vektörleri kabul edilirse:

$$[M]\{\ddot{u}\}_1 + [K]\{u\}_1 = \{F\} \quad (3)$$

Kuvvet vektörünü sıfır kabul ettiğimizde çözüm vektörlerinin $\{\ddot{u}\}_2$ ve $\{u\}_2$ olduğunu kabul edersek:

$$[M]\{\ddot{u}\}_2 + [K]\{u\}_2 = \{0\} \quad (4)$$

Bulduğumuz bu iki denklemi topladığımızda:

$$[M]\{\ddot{u}\}_1 + [K]\{u\}_1 + [M]\{\ddot{u}\}_2 + [K]\{u\}_2 = \{F\} + \{0\} \quad (5)$$

Eşitliği düzenlersek:

$$[M](\{\ddot{u}\}_1 + \{\ddot{u}\}_2) + [K](\{u\}_1 + \{u\}_2) = \{F\} \quad (6)$$

denklemi elde edilir.

Bu denklemdeki, $(\{\ddot{u}\}_1 + \{\ddot{u}\}_2)$ ve $(\{u\}_1 + \{u\}_2)$ sönümsüz dinamik denklemin çözümleridir. $\{\ddot{u}\}_2$ ve $\{u\}_2$ çözüm vektörleri 0 olduğu sürece eşitlik değişmez. Ancak 0 değilse dinamik denklemin birden fazla çözümü olur. Bu durumda başlangıç koşulları hangi çözümün doğru olduğunu belirlemeye yarar.

$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\}$ denklemi incelendiğinde;

$$\{u\}(t) = \{U\} e^{i\omega t} \quad (7)$$

$$\{\ddot{u}\}(t) = -\omega^2 \{U\} e^{i\omega t} \quad (8)$$

$\{U\}(t)$ sabit bir vektörse ve $e^{i\omega t}$ sinüs dalgasının zaman cevabını gösterirse ω sinüs dalgasının radyal frekansıdır. $\{\ddot{u}\}(t)$ vektörünü elde etmek için $\{u\}(t)$ vektörünün iki defa türevi alınarak $e^{i\omega t}$ ile bölünerek öz değer denklemi elde edilir.

$$([K] - \omega^2[M])\{U\} = \{0\} \quad (9)$$

Bu denklemde ω^2 özdeğer, $\{U\}$ ise özvektördür.

3.3. Mod Birleştirme Yöntemi (Spektrum Analizi)

Yapının olası titreşim durumlarında hangi şekillerde titreşeceğini fikrini verecek olan mod durumlarının tespit edilmesi ve yapının doğal frekans değerinin belirlenmesini sağlayan dinamik analizin ilk aşaması Modal Analizdir. Yani modal analiz bir sistemin cevaplarının limitlerine genel bir bakış sağlar. Örneğin, belirli bir girdi için (belirli bir genlik ve frekansta uygulanan bir yük gibi) sistem yanıtının sınırları ne olur (maksimum yer değiştirme ne zaman ve ne kadar gibi) sorusuna genel

bir cevap verir. Ancak malzeme özelliklerine bağlı olarak elde edilen modal parametreler değişmektedir.

Deprem gibi bir doğal afete karşı mod birleştirme yöntemiyle korunmak oldukça mümkündür. Temel olarak bu yöntem, mod yapılarının süper pozisyon tekniği ile binanın her titreşim modunda maksimum olan davranış büyüklüklerini veren davranış spektrumunun birlikte kullanılmasına dayanır. Daha açık bir ifadeyle binanızın temelini elinizle bir miktar kadar çekip geri bıraktığınızı düşünürsek temel çektiğimiz konumdan eski konumuna dönecektir. Bu işlem sonucunda bina bir salınım yapmış olur. Salınımlar ise zaman içerisinde sönüm oranına göre azalır ve en sonunda durur. Bu salınım çeşitlerinden her birine ise mod şekli denir. Bahsedilen bu mod şekillerinin birleştirilmesi halinde oluşturulacak olan dinamik analiz yöntemine ise mod birleştirme yöntemi denir.

Binalar titreşim halinde bulunur. Binalardaki bu titreşimler binanın kütlesi ve rijitliği ile alakalı bir durumdur. Bu durumda depremin yapının periyod haliyle alakası bulunmamaktadır. Binaların yapmış olduğu titreşimi binanın yapı kütlesi ve rijitliği belirlerken, yapı periyodu sabit bir halde kalır. Ancak yapı yalnızca düşey ya da yatay ekseninde titreşim yapmamaktadır. Bina kütlelerinin bir kısmı yatay eksene izdüşümü verecek şekilde diğer kısmı ise düşey eksene izdüşümü verecek şekilde titreşim haline girer.

Deprem kuvveti binaya dışarıdan etki etmez, bu kuvvet direkt olarak binanın oluşturduğu kuvvettir. Binanın titreşimi sonucu, mod birleştirme yönteminde katılan kütleyle bağlı olarak oluşan kuvvete deprem kuvveti denilir. Bu kuvvet kütle ve ivme çarpımıyla bulunur. Ancak burada bahsedilen yer ivmesi değildir. Bu ivme çeşidi yer hareketlerinden dolayı binada yapısında olduğu varsayılan ivmedir. Bir nevi yalancı ivme olarak gözüken bu ivme yer çekimi ivmesinden oldukça farklı bir ivmedir.

Mod birleştirme yöntemlerinde hesaplamalar genellikle bilgisayar üzerinden yapılır. El ile hesaplama yapmak küçük ve basit yapıları binalar haricinde uygulanabilir değildir. Bu nedenle mod birleştirme yönteminin hesaplamaları büyük ve karmaşık yapılar için bilgisayar üzerinden yapılan bir yöntemdir. Bu yöntem de bulunan değerlerin hepsi maksimum değerlerdir. Hesaplama işlemleri yapılırken bulunan

maksimum değerlerin her biri, her modun etkisi dikkate alınarak ve istatistiksel yöntem kullanımı ile birleştirilerek bulunur.

Mod birleştirme hesaplama işlemleri sonucunda belirlenen bir değer bulunmaktadır. Bu değer deprem yönetmeliği içerisinde belirtilen bir madde de değerin %95 (TBDY-2018'e göre) altına düşmesinin kişilerin can sağlığı ve yaşam kalitesi adına oldukça tehlikeli bir durum içereceği yönündedir.

3.4. Çevresel Titreşimlerle Modal Analiz (Operasyonel Modal Analiz)

Çevresel Titreşim Yöntemi (operasyonel modal analiz), yapının çevresel veya doğal etkilerle (değeri ölçülmemiş) titreştirilmesi ve yapının titreşimlere göstermiş olduğu tepki davranışının ölçülmesidir. Çevresel veya doğal etki olarak, deprem, rüzgâr, patlatma, trafik, su dalgası veya değeri ölçülmemiş rastgele titreşimler faydalanılan örneklerdendir [27].

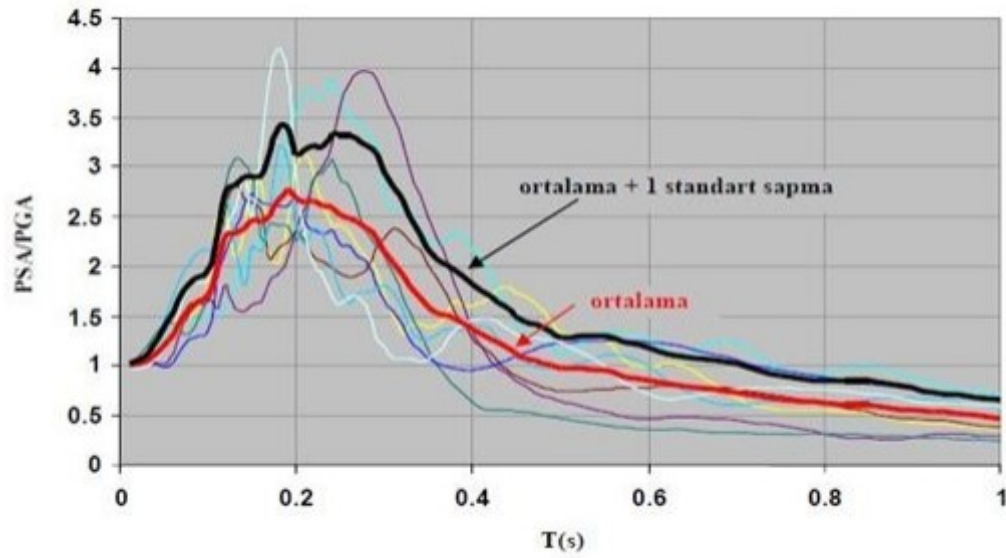
Deneysel modal analizde laboratuvar ortamında geleneksel ortamında geleneksel yöntemlerle çalışmalar yapılır. Böyle çalışmalarda farklı noktalarda dışarıdan uygulanan kuvvet-etki ile dinamik tepkiler birlikte ölçülerek sonuçlar birlikte değerlendirilir.

Deneysel yöntemlerle belirlenen dinamik karakteristikler ile analitik yöntemlerle elde edilen dinamik karakteristikler karşılaştırıldığında farklılık oranı $< \% 5-10$ olacak şekilde değişiyorsa, analitik yöntemlerle elde edilen dinamik karakteristiklerin yapının mevcut durumunu yansıttığı kabul edilir. Böylece deprem, rüzgâr vb. gibi yükleme durumları ile ileri performans analizlerinin yapılabileceği modeller elde edilmiş olur. Ancak yukarıda bahsedilen oran farkı $> \%5-10$ olması durumunda yapının sonlu eleman modelinde yapılan kabuller, malzeme özellikleri ve sınır şartları gözden geçirilerek yapının mevcut davranışını yansıtacak en uygun koşullar belirlenerek analitik ve deneysel dinamik karakteristikleri istenen sınırlar içerisinde birbirine yaklaştırılır [26].

3.5. Spektral İvmenin Belirlenmesi

Yeni yapıların tasarımında kullanılacak deprem yükünü belirlemek için tasarım spektrumu kullanılır. Yani bu spektrum, kaydedilmiş bir deprem için değil, gelecekte olabilecek depremler için belirlenir. Gelecekte olabilecek depremlere ilişkin tasarım

spektrumlarını belirlemek için ise ele alınan bölgedeki geçmişte olan depremler incelenir. Spektrumlar genel özellikleri bakımından birbirinden farklı ve oldukça kırıklıdır. Bu farklılıklar aynı bölgede kaydedilmiş olmalarına rağmen, bu depremlerin hiçbirinin tek başına, gelecekte gerçekleşmesi olası depremleri temsil edemeyeceğini gösterir. Gelecekte gerçekleşmesi olası depremler için de böylesine kırıklı bir spektrum tahmin etmek mümkün değildir. Genel olarak incelenen bölgede kaydedilmiş birçok deprem için çizilmiş spektrumların istatistik yöntemlerle analiz edilmesi sonucu elde edilirler. Bazen, her periyot değeri için, farklı spektrumlarda elde edilen değerlerin ortalaması kullanılır. Bazen de ortalamaya standart sapmanın eklenmesiyle elde edilen spektrum değeri tasarım spektrumu olarak kabul edilir. Gerekli görülen durumlarda ise elde edilen tüm spektrumları kapsayan zarf spektrumu tasarım spektrumu olarak kullanılır. Tüm bu yöntemlere örnek olarak Amerika Birleşik Devletlerindeki bir istasyonda, 1987 Whittier, 1991 Sierra ve 1994 Northridge depremlerinde alınmış 8 farklı kayıt için çizilen spektrumlar, ortalama spektrum ve ortalama +1 standart sapmaya karşılık gelen spektrum Şekil 3.1’de görüldüğü tek bir grafikte toplanmıştır. İncelenen yer hareketi sayısı arttıkça, istatistik değerlendirmeyeyle elde edilen eğrilerin kırıklığı azalır. Elastik deprem yükünü hesaplamakta kullanılacak, idealize edilmiş elastik tasarım spektrumu, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak verilir. Aşağıdaki şekilde grafiğin yatay ekseninde yapı periyodu, düşey ekseninde spektrum katsayısı verilmiştir.



Şekil 3.1 8 Farklı Kayıt İçin Çizilen Spektrumlar

Spektrum katsayısı terimi, idealize edilmiş spektrumda gösterilen (PSA/PGA) parametresine karşılık gelir. Elastik deprem yükünün hesabı için spektrum katsayısının verilmiş olması yeterli değildir. Spektral ivmenin belirlenebilmesi için maksimum yer ivmesi (PGA) değeri gereklidir. Maksimum yer ivmesi ile etkin yer ivmesi katsayısı arasında $PGA = A_0 g$ ilişkisi vardır (Şekil 3.2). Bu eşitlikte A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı ve g : yer çekimi ivmesidir.

$$PSA = \left(\frac{PSA}{PGA} \right) PGA \rightarrow A_0 g \text{ [Yönetmelikte deprem bölgesine bağlı olarak verilir]}$$

$$\downarrow$$

$$S(T) \text{ [Yönetmelikte yerel zemin sınıfına bağlı olarak verilir]}$$

$$PSA = S(T) A_0 g$$

Şekil 3.2 Spektrum Katsayısı Teriminin Formülde Gösterilişi

4. YIĞMA YAPILAR VE MİNARELER

4.1. Yığma Yapılar

4.1.1. Yığma Yapıların Tanımı

Yüzyıllar boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapan yurdumuz zengin bir tarihi yapı mirasına sahiptir. Bu tarihi yapılar, yığma yapı olarak nitelendirilen taşıyıcı sistemle inşa edilmişlerdir. Tarihi yığma yapıların korunup gelecek nesillere aktarılabilmesi için aldıkları düşey ve yatay yüklere karşı gösterdikleri yapısal davranışların incelenmesi gerekir.

Yığma yapılar; Farsça'da taş, tuğla, kerpiç malzemeleriyle yapılmış olan yapı anlamına gelen kârgir yapılar olarak da adlandırılır. Bu tür yapıların malzemeleri onlara etki eden gerilmeler karşısındaki davranışları göze alındığında basınç mukavemetleri yüksek, buna karşılık çekme mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle yapısal tasarımda ve yapının davranışı incelenirken, yapının çekme kuvveti taşımadığı varsayılır.

Yığma yapılarda taşıyıcı sistem geometrisi çizgisel (kemer), düzlemsel (yük taşıyan yığma duvar), hacimsel (tonoz, kubbe) olabilir. Yapım şekillerine göre ise donatısız, donatılı, kuşatılmış olarak üç gruba ayrılabilir. Fakat tarihi yığma yapılar, çoğunlukla bağlayıcı harç ile yığma birimlerin (taş, tuğla, harç) örülmesiyle donatısız olarak inşa edilmiş yapılardır. Yüksek rijitliğe sahip olan donatısız yığma yapılar, kullanılan malzemeler sebebiyle düşey ve yatay yükler altında gevrek davranış gösterirler.

4.1.2. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler

Yığma yapı elemanları, çamurdan yapılmış kerpiçten doğal taş kadar geniş bir yelpazede, metalik özellik taşımayan inorganik malzemelerin çoğunu kapsar. Ancak, yığma yapılarda en çok kullanılan malzemeler doğal taş ve tuğladır. Bu malzemeler, yapının taşıma gücünü doğrudan etkilemektedir. Günümüzde, malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmaktadır. Yığma yapı

elemanlarının dayanım ve şekil değiştirme özelliklerinin analitik yöntemlerle belirlenmesi oldukça zordur. Öte yandan, yığma yapıların taşıyıcı elemanlarının taşıma gücünün laboratuvar deneyleriyle belirlenmesi çok zor bir işlemdir. Ancak, sanat ve kültürel değerlerini yaralamadan, bu yapılardan alınabilecek çok küçük örnekler veya aynı özellikleri taşıyan ilk örnek modeller laboratuvarlarda denenebilmektedir. Fakat bu deneyler sonucunda elde edilen veriler yaklaşık değerlerdir. Küçük bir örnekten elde edilen sonuçlar çok daha büyük boyutlara sahip mevcut yapı elemanlarının gerçek davranış özelliğini yansıtmaz [28].

4.1.2.1. Doğal Taş

Taş; basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük bir malzemedir [27]. Taşın basınç, çekme, aşınma, eğilme dayanımları ve elastik modülü gibi mekanik özellikleri, malzemenin; cins, kesilme biçimi, birleşim dokusu, işçilik, kullanım alanı gibi birçok etkene bağlıdır. Ortalama mekanik özellikleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Mekanik Özellikleri

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	15-70
Mermer	25-65	9-45	1-15	25-70
Kireç Taşı	18-65	6-20	2-6	10-55
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13-50
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15-55
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23-45

4.1.2.2. Kerpiç

Toprak; yapı inşasında, ilk zamanlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Daha sonra killi toprağın, atmosfer ortamındaki dayanıklılığı keşfedilerek kerpiç elde edilmiştir. Killi toprağın dayanıklı bitki sapsarı, kırıntıları ile birleşiminden oluşan kerpiç; uzun ömürlü eski bir yapı malzemesidir.

4.1.2.3. Tuğla

Tuğla; pişirilmiş kerpiç olarak tanımlanır. Malzemenin pişirilme süresi ve boşluk oranı, dayanımını etkilemektedir. Bu malzemenin, Çizelge 4.2 de görüldüğü gibi ortalama olarak basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür.

Çizelge 4.2 Tuğlaların Ortalama Mekanik Özellikleri

Malzeme Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Tuğla	3-10	1-3	0.2-0.5	1-5

4.1.2.4. Harç

Harç, yığma birimlerin ara yüzeylerini dolduran bağlayıcı malzemedir. Harcın çekme dayanımı ve yığma birim ile arasındaki aderans dayanımı oldukça önemlidir. Yığma yapıda kullanılan malzemenin dayanımı, içindeki harcın dayanımına eşdeğerdir. Çünkü yapıyı oluşturan tuğla veya taş birimlere kıyasla ilk olarak harç güç tükenmesine erişir. Kireç harcı kullanılmış bir malzemede emniyet gerilmesi $\sigma=0.2-0.6$ MPa, horasan için ise $\sigma=1.5-3.0$ MPa mertebesinde [29]. Bu emniyet gerilme değerleri, basınç gerilmeleridir.

Harçtaki bileşenlerin çözünüp dışarı sızması ve yüzeyde kristalleşip birikmesi sonucu oluşan çiçeklenme lekelerine karşı harcın dirençli olması ve nemin dengede tutulması için malzemenin su buharı geçirgenliğinin iyi olması gerekmektedir.

4.1.2.4.1. Horasan Harcı

Horasan; pişirildikten sonra öğütülmüş kildir. Tarihi yapılarımızda kullanıldığı görülen horasan harcı, horasan ve kireçle yapılan bağlayıcı harca denir ve bu harç aynı amaçlı kullanılan farklı karışımlarla oluşturulmuştur.

Bunlar,

1. Geleneksel horasan harcı:

- Dinlendirilmiş kireç + yumurta akı + horasan pirinci + su
- 1 kireç kaymağı + 1 yıkanmış kavrulmuş kum + ½ alçı + su

c) 2 kireç + 1 horasan + bir miktar dişli kum + bir miktar meşe külü + su

2. *Kum horasan harcı:*

a) Dövlümüş kireç + yumurta akı + kum + horasan pirinci + su olup, karma süresi uzundur.

3. *Lökün:*

a) Dövmek kireç + üç ayda suda çürütölmüş pamuk + su

b) Dövmek kireç + zeytinyağı + keten elyafı + su

c) Dövmek kireç + kızgın zeytinyağı + Koyunyünü elyafı + su

4. *Horasan sıvası:*

a) Yumurta akı + alçı + tuz + kireç

b) 2 horasan + ½ perdah kumu + ½ beyaz çimento + ½ kireç şerbeti (öneri) olarak sınıflandırılmıştır [30].

4.1.2.4.2. Kireç Harcı

Kireç harcı; su ile karıştırıldığında tipine göre hava veya suda katılma özelliğı gösteren kireç ve dolgu malzemesi olarak agregaların karışımı ile elde edilen en eski bağlayıcılardan birisidir.

Kirecin hammaddesi, kalsiyum karbonat (CaCO_3) minerallerinden oluşan kireç taşlarıdır. Bu taşlar ısı ile kalsine olup karbondioksit gazının (CO_2) yapıdan ayrılması sonucunda kalsiyum okside (CaO) dönüşerek sönmemiş kireç adını alır. Kalsinasyon sonucunda elde edilen sönmemiş kireç (CaO), su veya havada bulunan nem ile reaksiyona girerek kalsiyum hidroksite (Ca(OH)_2) dönüşmektedir. Bu ürün, sönmüş kireç olarak adlandırılmaktadır. Kirecin sönmesi için havada %15 oranında nem bulunması yeterlidir [31].

Kireç harçlar plastik özelliklidirler. Şekil değişimi yapabildiklerinden yapıda çatlama oranı düşüktür. Ancak çatlak oluşumu, yapıda kullanılan kirecin yeterince söndürölüp söndürölmemesine bağlıdır. Eğer kireç söndürölmemişse bu işlem yapıda tamamlanır ve kirecin kullanıldığı kısımlarda çatlaklar oluşur.

4.1.2.5. Ahşap

Ahşap; tarihten günümüze, yapı malzemesi olarak her yapı türünde kullanılmıştır. Malzemenin seçiminde ağaç gövdesinin (tomruk), budaksız olması aranmaktadır. Tomrukta budak, boyuna liflerin dışına dönmesi veya ahşabın lifli yapısında oluşan bozulmalar ile ifade edilebilir. Dolayısıyla budaklı gövdenin ömrü kısa olur. Ahşap, hem çekme gerilmelerine hem de basınç gerilmelerine karşı çalışabildiği için eğilme elemanı olarak kullanılır ve özellikle döşemelerde büyük açıklıkların geçilmesine olanak sağlar. Çizelge 4.3'te mekanik özellikleri verilen bu malzemenin basınç ve çekme dayanımları, malzeme yapısındaki liflerin yönüne göre değişir.

Çizelge 4.3 Ahşapların Ortalama Mekanik Özellikleri

Dayanım Türü	Liflere olan Yönü	III. Sınıf (MPa)		II. Sınıf (MPa)		I. Sınıf (MPa)		Elastisite Modülü (GPa)	
		Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)
Çekme	Paralel	-	-	8.5	10	10.5	11	1.0	12.5
Basınç	Paralel	6	7	8.5	10	11	12	1.0	12.5
Basınç	Dik	2	3	2	3	2	3	0.3	0.6

4.2. Minareler

İslam Ülkeleri Mimarisinin temelini oluşturan minare, cami ve mescitlerin en karakteristik öğelerinden biridir. Aynı kompozisyonda inşa edildiği yapılara bitişik ya da ayrı yapılan, ezan okumak ve sesi çevreye yayabilmek amacıyla bir ya da birkaç balkonu (şerefe) bulunan kule biçimli yüksek yapılardır [32]. Ayrıca mescit veya camiler için simgesel bir değer taşımaktadır. Öyle ki dönem ve üslup özellikleri bakımından söz konusu yapılara belirli bir kimlik vererek, yapıları kent dokusunda daha anlamlı bir hale getirmiştir. Bu özelliği ile minare, kubbe, eyvan, taç kapı ve dekoratif ayrıntıları aşan görsel bir üstünlüğe sahiptir [33].

Minare formunun kaynağına ilişkin yapılan araştırmalarda, Akdeniz Bölgesindeki deniz fenerleri, Suriye'deki gözetleme ve mesken kuleleri, İran'daki çan kuleleri ve Doğu'daki Hint zafer sütunları ile minareler arasında ilişki kuran pek çok farklı görüş ortaya atılmıştır [34]. Müslümanlığın bir zafer anıtı görünümünde olan

minare, Arap ülkelerinde kare kesitli olmasına karşılık, Asya-Türk minareleri silindirik gövdelidir. Minarelerin süslemeleri ülkelere göre değişik olduğu gibi sayıları ve cami binasına göre yerleşimleri de farklılık gösterir [35].

Minare yapımına başlanmadan önce, camilerin damları; yüksek olması, sesi yayması açısından uygun bulunarak ezan okunan yer olarak kullanılmıştır.

Zamanla minare yapıda kendini hissettirecek özel şekillere bürünmüştür.

Minarelerdeki gelişim ilk olarak aşağıdaki yapılarda başlamıştır. Genel olarak ise Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te numaralandırılarak verilmiştir.

Mescit'ün Nebi Camiinin Damı

Medine'de, Hz. Muhammed'in ilk müezzini olan Bilal, ezan okumak için kibleye dönmek suretiyle Mescidin damını kullanmıştır [36].

I. Muaviye Amr Camii Minareleri

İslamiyetin ilk minaresi olarak kabul edilir. Günümüze şekli ile ilgili kesin bir bilgi ulaşmamıştır. Yapım tarihi H53-M673 olarak geçmektedir. Mısırın Kahire topraklarına yakın Fussat mahalinde inşa edilmiştir [37].

Emevi halifesi Muaviye, Mısır Valisi Meslemeye mektup yazarak mescidin genişletilmesi ve üzerine ezan okunabilmesi için "savmalar" yapılmasını emretmiştir. Savma; ibadet yeri, hücre anlamları taşımaktadır.

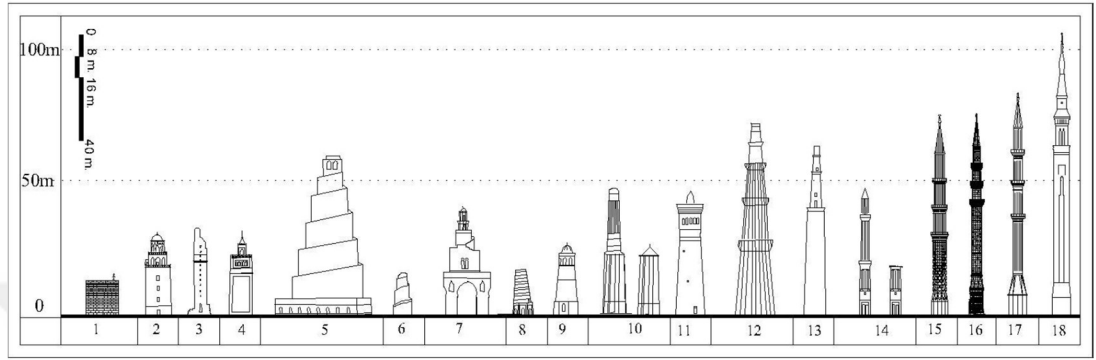
Basra Cuma Mescidi Minaresi

Basra Cuma Mescidi, H.45/M655 yılında vali Ziyad b. Ebihi tarafından tuğla malzeme kullanılarak genişletilmiştir. Mescidin genişletilmesi sırasında bir de taştan minare yaptırılmıştır [38].

Emeviye Camii Minaresi

Suriye Şam kentinde, Emevi Halifesi Velid bin Abdülmelik tarafından 705 yılında yaptırılmaya başlanan caminin kuzey tarafındaki minaresi İslam devrine ait ilk müstakil minaredir [39].

Minarelerin; yükseklik, büyüklük oranlarının, dönemsel tarzlarının ve gelişiminin daha iyi algılanabilmesi ve kıyaslanabilmesi için farklı coğrafya ve dönemlere ait minare örnekleri bir tablo ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1 Minarelerin Tarihi Süreçte Gelişimi [9]

1.Kâbe'nin Damı

Mekke'de ilk ezan Müslümanların 629 yılında şehri fethetmesinden sonra okunmuştur. Bilal, Kâbe'nin damına tırmanmış Mekke'deki ilk ezanı Kâbe'nin damından okumuştur. (Çizelge 4.5:1)

2.Seydi Ukba Camii Minaresi (Sidi Okba Camii)

Afrika'da en eski minare Kayravandadır. [35] Creswell, el-Bakriden naklen minarenin Haşim b. Abdülmelik döneminde 724-727 yılları arasında inşa edildiğini ve yüksekliğinin yaklaşık 31.5 m'dir. Minarenin taş işçiliğinden dolayı Ağlebi dönemine, 836 yılına tarihlendirilmektedir [40]. (Çizelge 4.5:2).

3.Harran Ulu Camii Minaresi

Harran Höyüğü'nün kuzeydoğu eteğinde yer alan Ulu Camii, Emevi Hükümdarı II. Mervan tarafından 744-750 yılları arasında yaptırılmıştır. (Çizelge 4.5:3) Caminin avlusunun kuzey duvarının doğusunda minare bulunmaktadır. Minare 5.20x5.20 m ölçüsünde kare gövdeli olup, yüksekliği 33 m'dir. Bunun 22 metrelik kısmı düzgün kesme taştan, arta kalanı da tuğladan yapılmıştır.

4.Ez-Zeytune Camii Minaresi (Al-Zaytuna Camii)

8. yy. a ait olan bir başka minare Tunus'taki al-Zaytuna Camiinin minaresidir. Magrib minareleri, geometrik kabartma şekilleri veya at nalı şeklinde kemerli mukarnaslardaki zarif pencereleri ile diğer minarelere göre farklı bir görsellik sunmaktadır [35] (Çizelge 4.5:4).

5.Samarra Ulu Camii Minaresi (El-Mütevekkil) Cami-i Kebir

Irakta ayakta kalan en eski minareler, Samarra'daki iki "malviya"dır. IX. yüzyıla ait olan bu minareler, helezon seklinde dışarıdan dönerek yükselen merdivenleri ve kule şekilleriyle caminin dışında ayrı olarak yapılmıştır [35]. (Çizelge 4.5:5).

Cami 848-852 yılları arasında Abbasi halifesi Mütevekkil tarafından yaptırılmıştır [41]. Minarenin kaidesi kare olup bir kenarının uzunluğu 33 m ve yüksekliği 3 m'dir. Kaideden şerefeye kadar uzaklık 50 m'dir. Toplam 53 m yüksekliktedir.

6.Ebu Dülef Camii

Samarra Ulu Camii'nin 15 km güneyinde 862 yılında inşa edilen Ebu Dülef Camii de form olarak Ulu Camiye benzemektedir. Minarenin oturduğu kare kaidenin bir kenarının uzunluğu 11.20 m yüksekliği 2.5 m'dir. Minarenin yüksekliği tabandan tavana 16 m'dir [40]. Toplam 18.5 m'dir. (Çizelge 4.5:6)

7. İbn Tulun (Fussat Tulunoğlu) Camii Minaresi

Mısır'daki en eski minare İbn Tulun Camiinin minaresidir. Samarradaki Malviya (Dıştan merdivenli koni biçiminde olan) gibi bu minare de Caminin dışında olup, şekil bakımından benzerlik, malzeme bakımından farklılık göstermektedir [35]. Tulunoğlu Ahmet tarafından 876-879 yılları arasında inşa edilmiştir [41]. Minarenin yüksekliği 41.44 m'dir [42] (Çizelge 4.5:7).

8. Burana Kale Minaresi

Türkmenistan'daki Müslüman Türk devletlerinden Karahanlılar döneminde inşa edilen ve Orta Asya'daki ilk minare örneklerinden olan Burana kale Minaresi 8 köşeli bir kaide üzerine inşa edilmiştir. İlk inşa edildiği dönemde yüksekliğinin 40 m olduğu tahmin edilmektedir. Günümüze ulaşabilen kısım ise 17.82 m yüksekliğindedir.[43] Bu minare Doğu Türkistan'da Balasagunda inşa edilmiştir (Çizelge 4.5:8).

9. Uzgend (Özkent) Minaresi

XI. Yüzyıldan kaldığı tahmin edilen minare, Türkmenistan'da Müslüman Türk devletlerinden Karahanlılar döneminde Uzgend şehrinde yaptırılmıştır. Yüksekliği 27.40 m'dir [43] (Çizelge 4.5:9).

10. III. Mesut Minaresi

Afganistan'da, Sultan 3. Mesut tarafından yaptırılan (1099-1114) tarihli minare 48 m boyundadır [44] (Çizelge 4.5:10).

11.Buhara Kalan Camii Minaresi (Uluğ Minar)

Türkmenistan'daki Müslüman Türk devletlerinden Karahanlılar döneminde (1127-1129) yılları arasında inşa edilen Buhara Kalan minaresinin kaide çapı 9.40 m yüksekliği 50 m'dir [45] (Çizelge 4.5:11).

12.Delhi Kutb Minar Camii Minaresi

Hindistan'ın en önemli minaresi, Kutb-al-Din Aybek adına Eski Delhi'de 1199'da yapımına başlanan ve İl-Tutmıs zamanında tamamlanan Kutb-Minardır. İslam mimarisinde bilinen en yüksek minarelerden birisidir. Yüksekliği 72.54 m'dir. Şerefe sayısı üçten fazladır [35] (Çizelge 4.5:12).

13.Jam Minaresi

Afganistan’da, Hindikuş Dağlarında, bir vadi içinde, Firuzgah’ta yer alır. Sultan Gıyasettin Muhammed İbn Sam’ın (1191-1198) yılları arasında inşa ettirdiği bir yapıdır [46]. Yüksekliği 65 m’dir (Çizelge 4.5:13).

14.İnce Minareli Medrese Minaresi (Konya)

İnce Minareli adıyla tanınan Dar’ül-Hadis minaresidir. Selçuklu Veziri Sahib Ata Fahrettin Ali tarafından, Mimar Kelük Bin Abdullah’a H.663/ M. 1264 yılında yaptırıldığı tahmin edilmektedir [47]. 1901 yılında isabet eden bir yıldırım sebebiyle alt şerefesine kadar yıkılmıştır. (Çizelge 4.5:14)

15.Üç Şerefeli Camii Minaresi (Edirne)

Osmanlı minarelerinde ilk defa bu minare üç şerefeli yapılmıştır. Her şerefeye ayrı bir yol gitmektedir. Oldukça kalın bir gövdesi vardır. Minare yarım metre kalınlığında kırmızı porfir karışık bir taşla kaplıdır. Minarenin kalınlığı 5.08 m yüksekliği külahla beraber 76 m’dir. Edirne Selimiye Camii Minarelerinin inşasına kadar dünyanın en uzun minaresi olmuştur [48]. (Çizelge 4.5:15)

16.Süleymaniye Camiinin Üç Şerefeli Minaresi (İstanbul)

Süleymaniye Camii minareleri her şeyden önce yerleri bakımından önemlidirler. İstanbul’un en hâkim yerlerinden birinde inşa edilen bu caminin 4 adet minaresi vardır. Bu minareler Edirne Üç Şerefeli Camii’ndeki gibi harimin dört köşesinde yükselmektedir [49]. Caminin üç şerefeli minarelerinin yüksekliği Koruma Kurulu onaylı projesine göre 76.09 m’dir. (Çizelge 4.5:16)

17.Selimiye Camii Minaresi (Edirne)

Sultan 2.Selim'in emriyle Mimar Sinan tarafından 1568 -1574 yıllarında tamamlanan Selimiye Camii Osmanlı-Türk mimarisinin en önemli eseridir [49]. Üçer şerefeli dört minaresi vardır. Her minarenin yüksekliği külaha kadar 70.89 m'dir [50]. Minarenin alem dahil yüksekliğinin 84 ile 85 m uzunlukta olduğu kaynaklarda geçmektedir. (Çizelge 4.5:17)

18.Emir Abdülkadir Camii Minaresi (Cezayir)

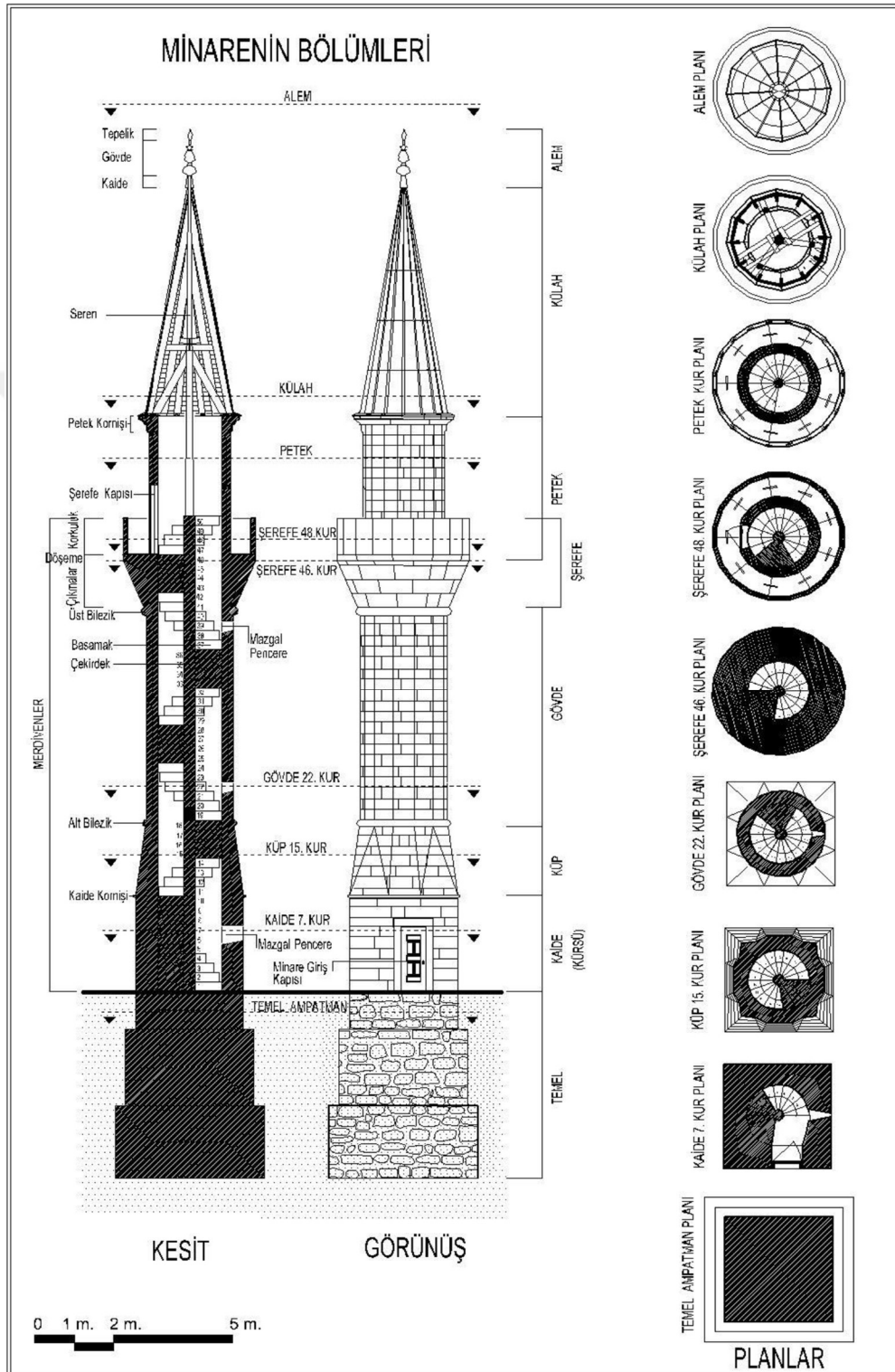
İslam dünyasının bilinen en yüksek minaresi, 107 m boyuyla 1971 yılında inşa edilen Cezayir'deki Emir Abdulkadir Camii'nde bulunmaktadır [50]. (Çizelge 4.5:18)



Çizelge 4.4 Farklı Coğrafya ve Dönemlere Ait Minare Örnekleri

18.Emir Abdulkadir Camii Minaresi		107	1971	Cezayir	Kare Form.	
17.Selimiye Camii Minaresi		84.50	1568-1574	Edirne Türkiye	Üstüvüni- İnce Uzun	
16.Süleymaniye Camii Minaresi		76.09	1550-1957	İstanbul Türkiye		
15.Üç Şerefeli Camii Minaresi		76.00	1437-1447	Edirne Türkiye		
14.İnce Minareli Medrese Minaresi		18	1264	Konya		
13.Jam Camii Minaresi		64	1191-1198	Afkanistan Firuzgah		
12.Delhi Kutb Minar Camii Minaresi		72.54	1199	Hindistan Eski Delhi	Üstüvüni- İnce Uzun	
11.Buhara Kalan Camii Minaresi		47	1127-1129	Türkmenistan		
10.III.Mesut Camii Minaresi		27	1099-1114	Afkanistan		
9.Uzgent Camii Minaresi		48	11.yy.	Türkmenistan		
8.Burana Kale Camii Minaresi		27.4	11.yy.	Türkmenistan Balsagun		
7.İbn Tulun Camii Minaresi		17.82	876-879	MISIR	Malviya Tipi	
6.Ebu Dülcf Camii Minaresi		41.44	862	Samarra IRAK		
5.Samarra Ulu Camii Minaresi		16	848-852	Samarra IRAK		
4.Ez-Zeytunc Camii Minaresi		60	8.yy.	Tunus	Kare Formlu-Kulesel	
3.Harran Ulu Camii Minaresi		33.3	744-750	Şanlıurfa Harran		
2.Seydi Ukba Camii Minaresi		31.5	724-727	Kayravan AFRİKA		
1.Kabe'nin Damı		12.95		Mekke		
0 8 m. 16 m. 40 m.		100m 90m 80m 70m 60m 50m 40m 30m 20m 10m 0	Yükseklik (m)	Yapım Tarihi	Yapım Yeri	Formu

4.2.1. Minarelerin Bölümleri



Şekil 4.2 Minarenin Bölümleri [51]

Minareler et kalınlığı yükseklikleri boyunca değişebilen 9 bölümden oluşur. Bu bölümler temel, kaide, küp, gövde, şerefe, petek, külah, alem, merdivenlerdir.

4.2.1.1. Temel

Minare temelleri toprak altında kaldığı için bu bölümün şeklini, derinliğini ve örgüsünü tahmin etmek güçtür. Ancak temeller; kaidenin boyutlarına ve zemin yapısına bağlı olarak değişerek, kaideye göre genellikle ampatmanlıdır.

Minare yapılacak alanda kazı sağlam zemin bulana kadar yapılır. Temel, iri moloz taşlar vasıtasıyla dolu örgü şeklinde yapılır.

Yukarıda da belirttiğimiz üzere temeller genişleyerek ampatmanlı olarak yapılmaktadır. Taşıyıcı niteliği olan cami beden duvarı ve minare temellerinde ampatmanlar geniş, avlu temellerinde ise dardır [52].

4.2.1.2. Kaide (Kürsü)

Temel ile küp arasında bulunan, minarenin görülebilen en alttaki bölümüdür. Kare ve çokgen formda olabilir. Kaide caminin beden duvarından ayrı, bitişik veya üstünde olacak şekilde yapılabilir.

Minareye giriş genellikle dışarıdan veya içeriden olmakla birlikte kadınlar mahfelinden ve dam (çatı) kısmından verildiği örnekler de vardır. Minare giriş kapısı dışarıda ve genellikle batı cephesindedir. Kaidenin doğu ve güney cephesinde nadiren kapıya rastlanır.

Kaide, minareyi oluşturan diğer tüm bölümlerin yükünü taşımasından dolayı temelle aynı ölçülerde veya temelden küçük, üstündeki diğer bölümlerden ise daha büyük ölçülerde inşa edilmektedir.

4.2.1.3. Küp (Geçiş Bölgesi, Pabuç, Yedi Sekiz)

Geometrik olarak bir minarenin en önemli bölümünü oluşturur. Kaidenin kare veya geniş satırlı poligonal geometrisinden, minare gövdesinin daha dar çaplı

yuvarlak olan geometrisine geçiş, küp ile sağlanmaktadır [49]. Bu farklı geometriler arasındaki geçişin başlangıç ve bitiminde korniş dönmektedir. Sade, piramidal üçgenli, türk üçgenli, armudi ve silmeli formları bulunmaktadır. Yapımında kullanılan malzeme genellikle yığma duvar tekniğiyle taş veya taş-tuğla almaşık örgülü ve gömlekli sistemle imal edilir. İşçilik gerektiren bir kısımdır. Örülecek taşlar için kalıplar çıkarılır açısına uygun şekilde gerekli formlar oluşturulur

Genellikle XIX. yüzyıl minareleri pabuç kısmının mevcut olmaması ile diğer minarelerden ayrılır [49].

4.2.1.4. Gövde

Minarede en fazla yüksekliğe sahip olan bölümdür. Basamaklarının yedekli ve yedeksiz olması, dış duvarlarının gömlekli ya da gömleksiz olması bakımından farklı şekillerde inşa edilir.

Gövdeler genellikle silindirik ve çokgendir. Bunun yanı sıra dilimli, yivli, burmalı, karma gibi değişik biçimlere sahip olanlar da vardır.

İçi boş silindir bir forma sahip olan minarenin taşıyıcı niteliği merdiven basamak örgüsü ile artmakta olup, başlangıç ve bitiş kısımlarında birer bilezik bulunur

4.2.1.5. Şerefe (Balkon)

Gövde duvarının etrafını belli bir yükseklikte çepeçevre saran, müezzinin ezanı okuması için tasarlanmış balkon (çıkma şeklinde) veya gövde içinde çözülen bölümdür. Şerefe sayısı bir ve daha çok olabilir, şerefeye açılan kapılar kible yönünde açılır.

Klasik Osmanlı camileri incelendiğinde şerefe alt kotunun, kubbe aleminin üst kotunu geçmemektedir.

4.2.1.6. Petek

Şerefe döşemesi ile külah kısmı arasında yükselen, kibleye açılan şerefe çıkış kapısını barındıran bölümdür.

Son basamağın bittiği çekirdek kısmında oluşturulan yuvaya metal zıvana ya da ahşabın kendinde oluşturulacak dişle bağlantı sağlanan seren direği yerleştirilir. Seren direğinin, petek bölümünü geçtiği üst kotta petek duvarı ve seren, ahşap gergi ile bağlanır.

Petek bölümü, gövdeye göre çap olarak küçük, iç doluluk olarak basamaklar devam etmediğinden boşluktur. Şerefe kapısı boşluğu da bu bölümde yer aldığından petek statik açıdan zayıf kalmaktadır.

Önlem olarak basamaklar genellikle 7-8 adet devam ettirilir. Devam eden basamaklar yedekli veya yedeksiz olabilmektedir.

Minarede mazgal pencere petek kısmında açılmamaktadır.

4.2.1.7. Külah

Külah, peteğin basamak çekirdeğinden çıkan seren direğine bağlanan farklı malzeme ve şekillerde yapılan minarenin çatısıdır. Genellikle ahşap iskelet kurularak kurşun kaplanır.

Deprem ve rüzgâr etkisi ile petekle birlikte ilk zarar gören yer olur. Ahşap olması yangın tesirine de açık hale getirir. Geç dönemlerde tamirler genellikle barok ve ampir dönem tarzlarının etkisinde taş malzemelerle yapılır.

4.2.1.8. Alem

Külah örtüsünün kurşun kaplamasının tepede birleştiği noktadaki açıklığı kapatan, kurşunların rüzgârda kalkmaması için kapak görevi olan tamamlayıcı estetik bir elemandır.

Geleneksel sembol olan alem, genellikle Türk mimarisinde ağzı yana veya yukarı bakan hilal motifini ihtiva eder. Taş ve madenden yapılabilir. Tunç ve bakır

olanları altın yaldızla (varak) kaplanırken, pirinç olanları doğal haliyle bırakılır. Madeni alemler kaide, gövde ve tepelik olarak üç bölümden oluşur. Alemler meydana getiren parçalar şöyle adlandırılır. Kaide, küp, alt bilezik (simit), armut boyun, üst bilezik (simit) ve ay (veya boynuz). Aynı bir yüzü daima kibleye bakar. Alemler birer süsleme elemanı olarak sanat akımlarından etkilenmişlerdir [53].

4.2.1.9. Merdivenler

Minarenin gövde bölümünde, gerekirse kaide, pabuç ve şerefe yüzünde iç aydınlatma ve minare içerisindeki hava sirkülasyonunun sağlanması için mazgal pencereler açılmıştır.

Minare kapısı petek kısmında kibleye açılmaktadır. Kaide içinde başlayan ilk basamağın yerinin hesaplanması son basamakta kible yönünü tutması ve istenen yüksekliğin sağlanması için çok önemlidir.

Minarenin dış gövde bölümünü perde duvar şeklinde tanımlarsak, merdivenler bu duvarı birbirine bağlayan yatay girişler gibi görev yapmaktadır. Basamaklar yedekli ve yedeksiz olarak imal edilmektedir. Taş merdivenlerde yedekli, yani iki basamak aynı kotta yan yana konarak doluluk artırılarak daha rijit hale getirilmiştir. Basamakların orta yuvarlak kısımları zıvana yardımıyla birleştirilerek temelden yukarı kesintisiz devam eden bir sütun oluşturur.

Tuğla minarelerin basamak sisteminde, taş malzeme kullanıldığı gibi ahşap-tuğla karma olarak da kullanılabilir. Bu imalatla ahşaplar üst üste binerek atkılarla çekirdek oluşmasını sağlayabileceği gibi ayrı bir ahşap direkt olarak çekirdek oluşturularak ahşap basamaklar çekirdekle tuğla dış gövde arasında bağlanır.

Mazgal pencerelerde dıştan içe doğru genişleme sadece sağ ve sol kısımlarda değil, alt ve üst kısımlarda da yapılarak daha fazla ışığın içeri alınması sağlanır. Minarede genellikle merdiven basamağına yakın bölümlerde ve tur sayısı kadar mazgal pencere açılır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Minarelerin Yapısal Modellemesi

Bu bölümde Trabzon ilinde bulunan tarihi İskenderpaşa Camii minaresi temel alınarak toplam yükseklikleri %10, %20, %30 oranlarında değiştirilmiş minareler incelenmiştir. Şerefe sayısı arttırılırken şerefeler Mimar Sinan'ın eserlerinde uyguladığı altın oran kuralı esas alınarak yerleştirilmişlerdir.

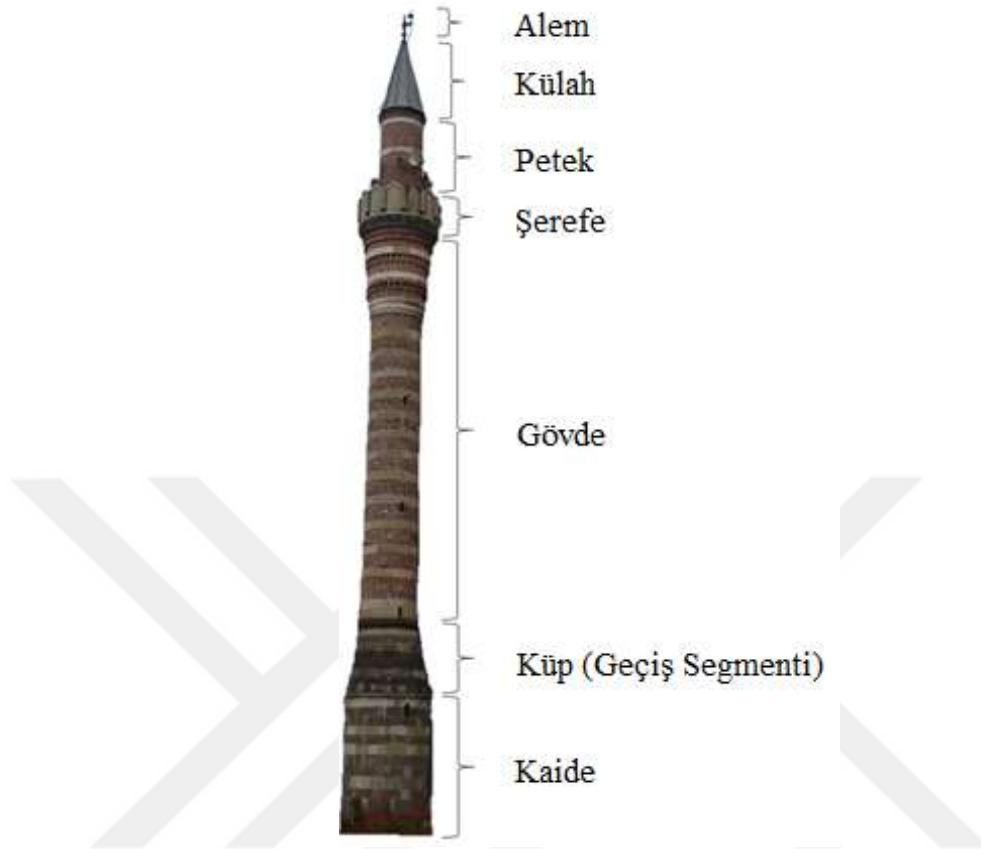
İskenderpaşa Camii minaresi bu tezin 3. bölümünde genel olarak tanıtılmıştır. Bu bölümde ise minarenin teknik özellikleri anlatılarak adım adım modelleme ve analiz aşamaları anlatılacaktır.

5.1.1. Tarihi Trabzon İskenderpaşa Camii Minaresi

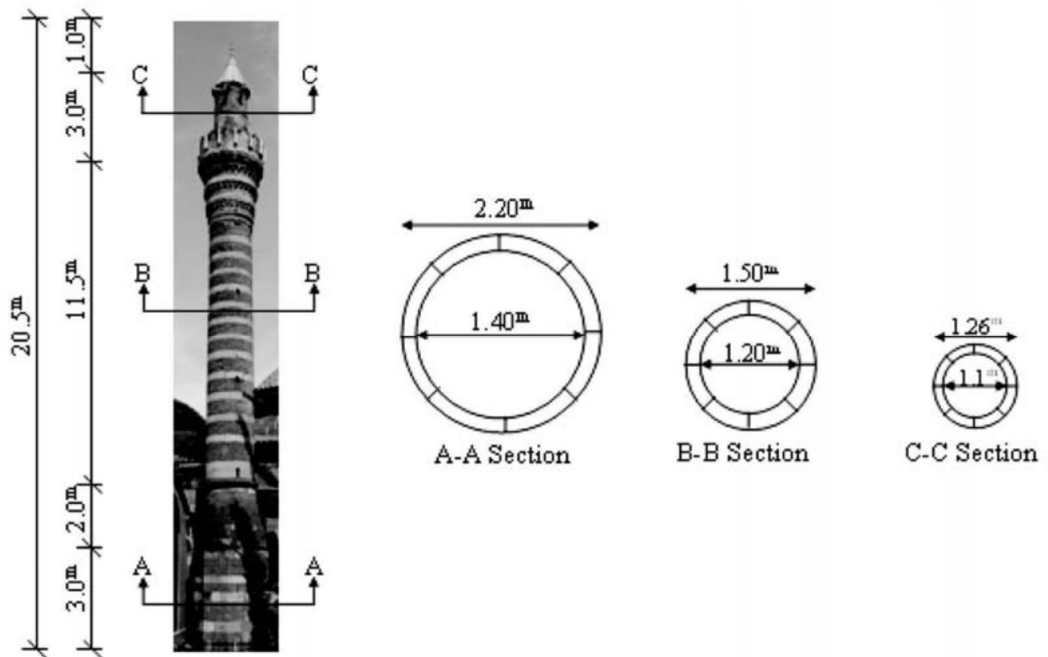
İskenderpaşa tarihi yığma minaresi, Trabzon şehir merkezinde yoğun trafik ve nüfuslu bir bölgede yer almaktadır ve toplam yüksekliği 20.5 m'dir. Minare 16. yüzyılda Trabzon valisi (İskender Paşa) tarafından Osmanlı tarzında inşa edilmiştir.

Minare; en alttan en üste doğru temel, kaide, küp, gövde, şerefe, petek, külah, alem ve merdiven bölümlerinden oluşmaktadır (Şekil 5.1). İç kısmında ise çekirdek ve basamak bulunmaktadır. Minarenin yapımında taşlar ve tuğla birlikte kullanılır. Minare, kaide üzerinde oturan bir sıra taş ve beş sıra tuğladan oluşmaktadır. Ayrıca, gövdesinde bir şerefe bulunmaktadır. Şerefenin altında tuğladan yapılmış bazı motifler vardır.

Korkuluklar amblem ve dairesel motiflerle dekore edilmiştir. Şekil 5.1 de de görülebileceği gibi, minare ince ve uzundur.



Şekil 5.1 İskenderpaşa Camii Minaresi Bölümleri



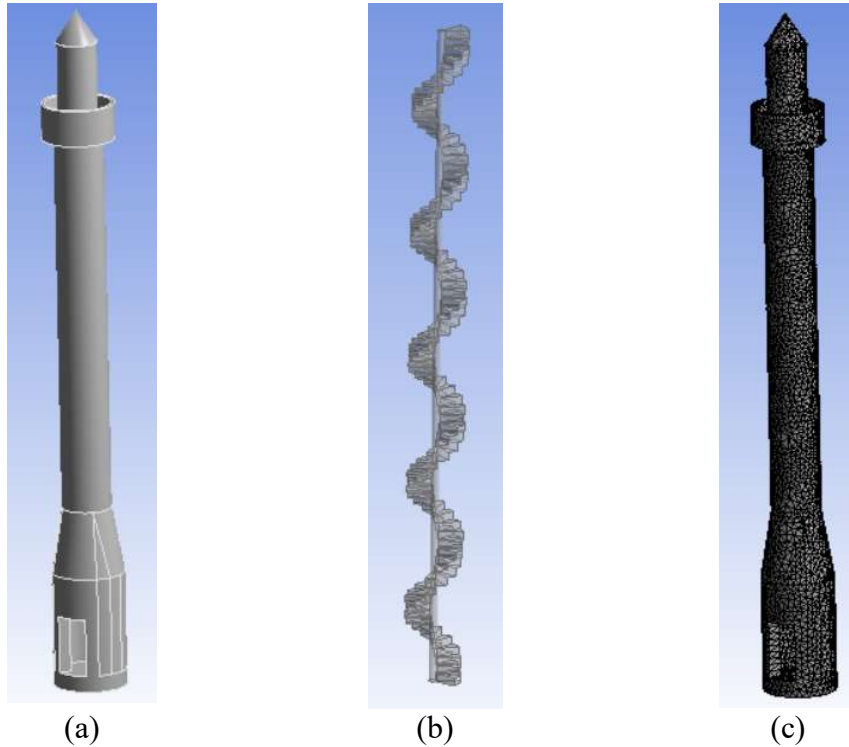
Şekil 5.2 Minarenin A-A, B-B, C-C Kesitleri İ  ve Dış  apları [54]

Minarenin geometrik özellikleri Şekil 5.2 de gösterilmiştir. Bu boyutlara ek olarak, minarenin ortasında 0.20 m çapında bir taş blok bulunmaktadır. Taş bloğun etrafında, yerden balkona uzanan ve 0.20 m basamak yüksekliğine sahip 83 merdiven basamağı vardır. Her merdiven basamağı, sırasıyla 0.10 m ve 0.60 m iç ve dış yarıçapa sahiptir [54].

5.1.2. Minarenin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi

İskenderpaşa Camii minaresi ANSYS Workbench (2015) yazılımı ile üç boyutlu olarak modellenmiştir (Şekil 5.3).

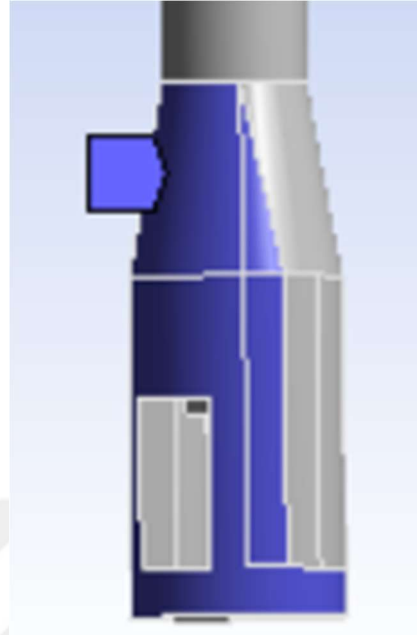
Modal analizde dikkate alınması gereken malzeme özelliklerinin ve sınır şartlarının belirlenmesi, minare gibi ince ve yüksek yapılar için çok önemlidir. Bu çalışmada, malzeme özellikleri, elastisite modülü, poisson oranı ve birim hacim kütlesi sırasıyla 1.85×10^9 N/m², 0.2 ve 1897.875 kg/m³ olarak alınmıştır. Minarenin temel kısmı sabit olarak seçilmiştir [54]. Minarenin kaide ve küp bölümlerinin düşey olarak yaklaşık %44 ü cami duvarına bitişiktir (Şekil 5.4).



Şekil 5.3 Minarenin ANSYS Workbench ile Modellenmiş; (a) Katı Model Tasarımı, (b) Merdiven Tasarımı, (c) Modelin Mesh Tasarımı



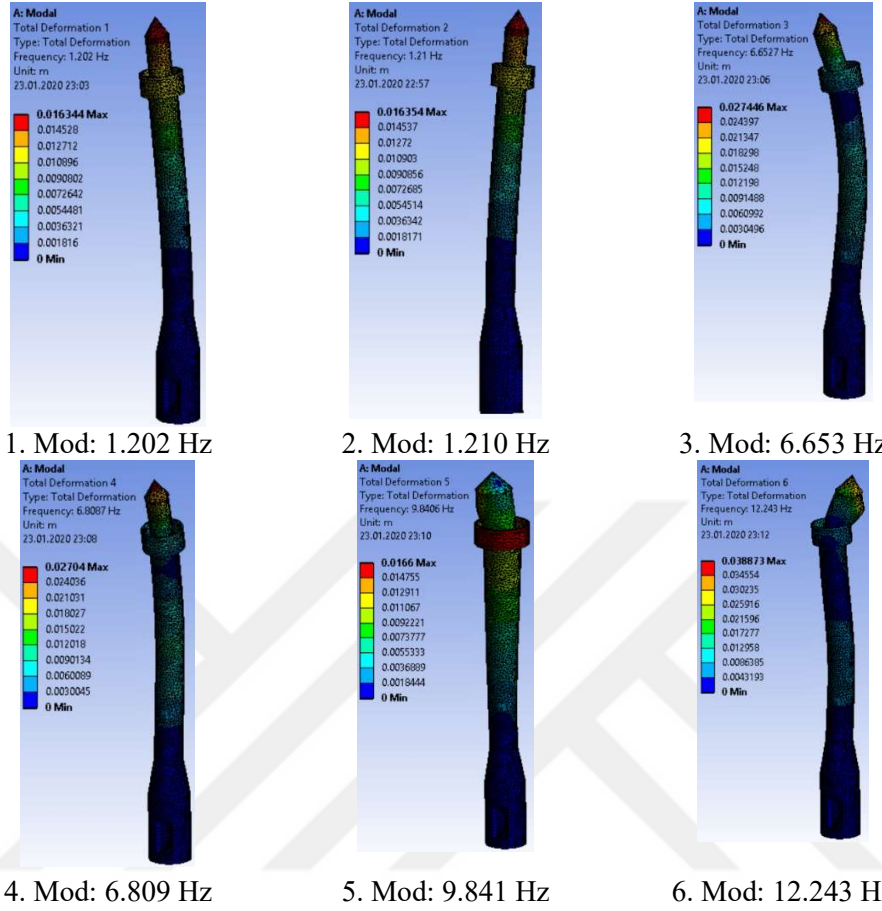
Temel mesnet detayı



Minare-Camii birleşim mesnet detayı

Şekil 5.4 Minarenin Sabitlenen Kısımları

Minarenin ANSYS de modal analizi ile elde edilen 6 modu incelendiğinde, ilk 5 modda ağırlıklı olarak yatay yönde deplasmanlar oluşmuş, 6. modda ise burulma olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Mod Değerleri ve Şekilleri

Çizelge 5.1 Malzeme Güncellemesi Öncesi – Sonrası Frekans Değerleri

Frekans No	Önceki Çalışmalardaki Frekans Değerleri		Bu Çalışmadaki Frekans Değerleri	
	Analitik Frekans Değeri (Hz)		Analitik Frekans Değeri (Hz)	
	Güncelleme Öncesi (Hz)	Güncelleme Sonrası (Hz)	Güncelleme Öncesi (Hz)	Güncelleme Sonrası (Hz)
1	1.09	1.19	1.17	1.20
2	1.09	1.21	1.18	1.21
3	5.59	6.58	6.47	6.65
4	5.59	6.66	6.62	6.81
5	9.78	10.32	9.57	9.84
6	12.16	15.10	11.91	12.24

Çizelge 5.1’de sonlu elemanlar modellemesi yapılan modelin malzeme güncellemesi öncesi (elastisite modülü, poisson oranı ve birim hacim kütlesi; 2.0×10^9 N/m², 0.20 ve 2169 kg/m³) analiz sonucunda elde edilen ilk 7 modun frekans değerleri

ve malzeme güncellemesi sonrası (elastisite modülü $1.85 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ve birim hacim kütlesi 1897.875 kg/m^3) analiz sonucunda elde edilen ilk 7 modun frekans değerleri verilmiştir. Önceki çalışmada güncelleme yapılmasının sebebi deneysel çalışmalarla elde edilen frekans değerlerini yakalamaktır. Bu çalışmada ise ANSYS Workbench te modellenmiş minarenin malzeme güncellemesi olmadan yapılan analiz sonucundaki frekans değerleri ve güncellenmiş malzeme özellikleri kullanılarak yapılan analiz sonucundaki frekans değerleri ilk 6 mod olacak şekilde görülmektedir.

5.1.3. Farklı Yüksekliklerde ve Farklı Şerefe Sayılarında Minarelerin Oluşturulması

Ülkemizde minarelerin boyutlandırılmasındaki kesin tek kural Diyanet İşleri Başkanlığının “Minarelerin Yapımında Uygulanacak Esaslar” talimatında yer alan esaslardır. Bu esaslar camii kapasitesine göre cami gövde yüksekliği ve minare yüksekliğinin en fazla ne kadar olabileceğini içermektedir (Çizelge 5.2) [55].

Çizelge 5.2 Kapasite Bakımında Camii ve Minare Yükseklikleri

Camii Kapasitesi (Kişi)	Camii Gövde Yüksekliği (cm)	Minare Yüksekliği (cm)
150	1389	2409
400	1497	2521
600	1753	2984
750	1775	2930
800	1823	2902

İskenderpaşa camisi minaresinin 20.5 m yüksekliğindeki temel modelinden faydalanılarak minare yükseklikleri $\pm \%10$, 20, 30 oranlarında değiştirilerek farklı yüksekliklerde minareler elde edilmiştir. Ardışık yüksekliklerdeki minarelerin yükseklikleri arasındaki fark 2.05 m’dir.

Farklı yüksekliklerde elde edilen minarelerde mevcut bir adet şerefeye ikinci ve üçüncü şerefelerin eklenmesiyle dinamik davranışlarının nasıl değiştiği Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te özetlenmiştir. Mevcut literatürlere konu olan tarihi eserler ve bunların dışında incelenen tarihi yapı minare rölevelleri göz önünde bulundurularak minare bölümlerinin oluşturulmasında genel kabul gören bir kuralın olmadığı tespit

edilmiştir. Günümüze kadar korunmuş tarihi eserler bakımından zengin olan İstanbul şehrindeki Mimar Sinan yapıları incelendiğinde genel olarak minarelerin cami ya da külliye yapılarına yerleştirilirken ve minare bölümlerinde altın oran kuralının uygulandığı görülmüştür. Birden fazla şerefeye sahip olan minareler de ise şerefe boyutlarının sabit kaldığı, aşağıdan yukarıya arttığı veya tam tersine yukarıdan aşağıya doğru arttığı şerefeler mevcuttur. Şerefe aralıkları ise farklılık göstermektedir. Sonuç olarak her minare kendine has geometrik özelliklere sahiptir. Bu bölümde incelenecek minarelerde şerefeler yerleştirilirken altın oran esas alınmış ve şerefe boyutları sabit tutulmuştur.

Bu çalışmada yükseklik farklılıklarının ayrı ayrı bölümlere eklenmesiyle elde edilen modeller ve bu modellerden farklı şerefe sayıları elde edilen modeller olmak üzere seksenden fazla ANSYS Workbench'te tasarlanmış model üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar aşağıdaki çizelge ve şekillerde özetlenmiştir.

İskenderpaşa Camii minaresinin 20.5 m temel modelinde; kaide bölümü 3 m, küp bölümü 2 m, gövde bölümü 11.5 m, petek bölümü 2.85 m yükseklikleri baz alınarak minare yükseklikleri değiştirilmiştir. Çizelge 5.3'te farklı yüksekliklere ve farklı şerefe sayılarına sahip minare modellerinin frekans değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.3 Farklı Yüksekliklere ve Şerefe Sayılarına Sahip Minarelerin Frekans Değerleri

Yüksekliğin Farkı (%)	Yükseklik (m)	Yüksekliği Arttırılan Bölüm	Frekans Değerleri (Hz)		
			Tek Şerefeli	Çift Şerefeli	Üç Şerefeli
0	20.5	-	1.202	1.169	-
10	22.55	PETEK	1.090	1.065	-
		GÖVDE	0.919	0.897	0.878
		KÜP	1.184	1.150	-
		KAİDE	1.199	1.167	-
20	24.60	PETEK	0.970	0.948	-
		GÖVDE	0.725	0.709	0.694
		KÜP	1.183	1.149	-
		KAİDE	1.204	1.171	-
30	26.65	PETEK	0.843	0.825	-
		GÖVDE	0.586	0.574	0.563
		KÜP	1.178	1.144	-
		KAİDE	1.205	1.172	-

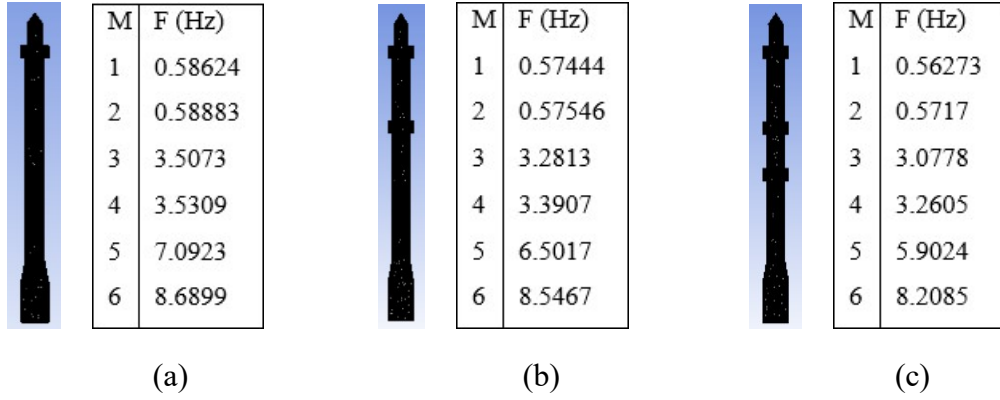
Çizelge 5.3 incelendiğinde tek ve çift şerefeli minarelerde 3 farklı yükseklik artışı incelendiğinde en fazla frekans değişiminin mesnetlenmemiş petek ve gövde bölümlerinde olduğu, mesnetlenmiş küp ve kaide bölümlerinde ise kayda değer bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Gövde bölümünde ise hem yükseklik artışının hem de şerefe sayısı artışının frekans değerini düşürdüğü görülmüştür.

Çizelge 5.4 Farklı Yüksekliklere Sahip Minarelerin Frekans Değerleri

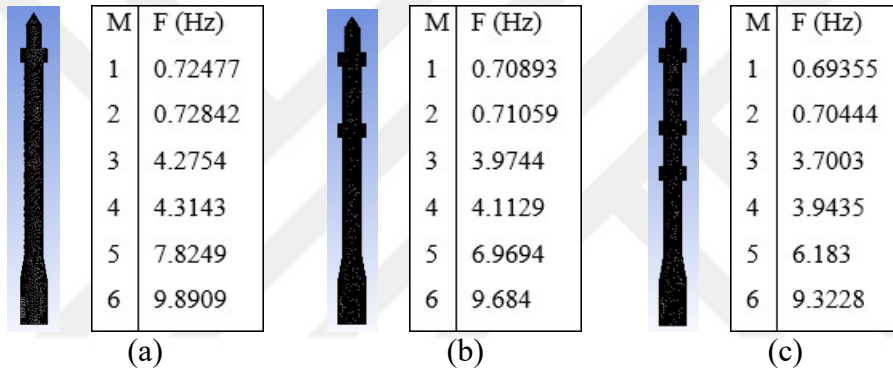
Yüksekliğin Farkı (%)	Yükseklik (m)	Yüksekliği Arttırılan Bölüm	Frekans Aralığı (Hz)
			Tek Şerefeli
0	20.5	-	1.202
-10	18.45	PETEK	1.291
		GÖVDE	1.638
		KÜP	Küp yüksekliği yetersiz.
		KAİDE	1.201
-20	16.40	PETEK	Petek yüksekliği yetersiz.
		GÖVDE	2.356
		KÜP	Küp yüksekliği yetersiz.
		KAİDE	Kaide yüksekliği yetersiz.
-30	14.35	PETEK	Petek yüksekliği yetersiz.
		GÖVDE	3.642
		KÜP	Küp yüksekliği yetersiz.
		KAİDE	Kaide yüksekliği yetersiz.

Çizelge 5.4 incelendiğinde tek şerefeli minarede yükseklik azaltılmasının birçok farklı bölümde frekansta artışa sebep olduğu görülmüştür.

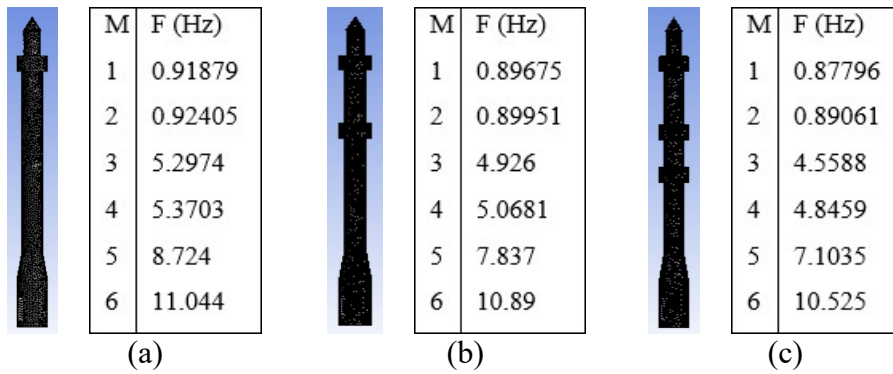
Minarelerde şerefe sayısının ilk 6 frekanstaki değişimini birçok yükseklikte gövde bölümü incelenerek görülebilir. Sırasıyla Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8; gövde yükseklikleri 17.65 m, 15.60 m, 13.55 m'dir. Ayrıca Şekil 5.9'da gövde yüksekliğinin yetersiz olmasından dolayı sadece tek şerefeli minareler incelenmiştir.



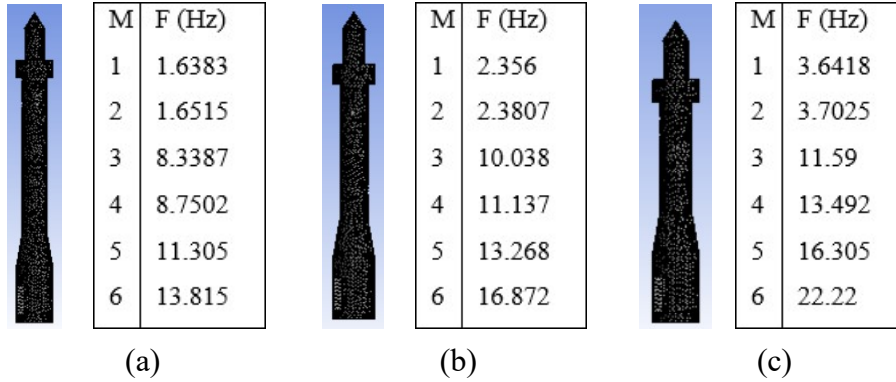
Şekil 5.6 Yüksekliği %30 Arttırılmış Minareler (a)Tek Şerefeli (b) Çift Şerefeli (c) Üç Şerefeli



Şekil 5.7 Yüksekliği %20 Arttırılmış Minareler (a)Tek Şerefeli (b) Çift Şerefeli (c) Üç Şerefeli

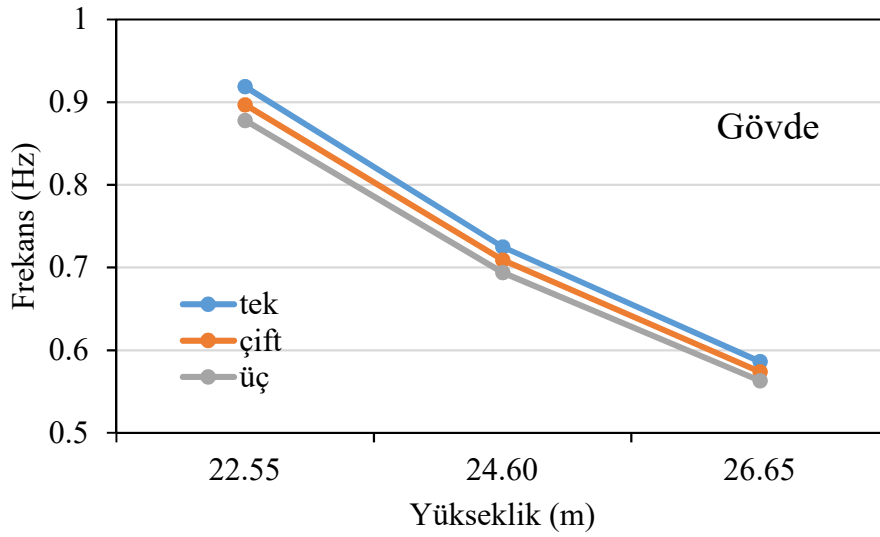


Şekil 5.8 Yüksekliği %10 Arttırılmış Minareler (a)Tek Şerefeli (b) Çift Şerefeli (c) Üç Şerefeli



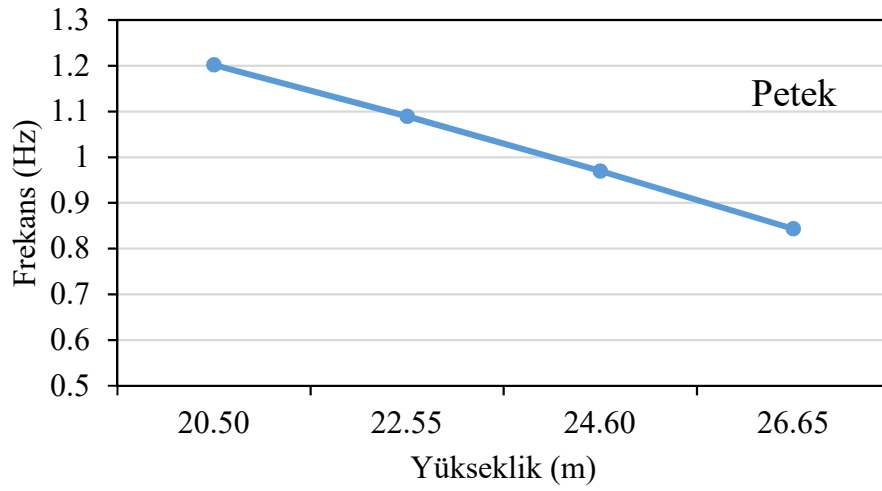
Şekil 5.9 Yükseklikleri Farklı Tek Şerefeli Minareler (a) Yüksekliği %10 Azaltılmış Minare (b) Yüksekliği %20 Azaltılmış Minare (c) Yüksekliği %30 Azaltılmış Minare

Minarelerde farklı yükseklikler ve farklı sayıda şerefeler olması durumlarında ilk frekans değerlerindeki değişiklikler aşağıdaki şekillerde grafiklerle gösterilmiştir.



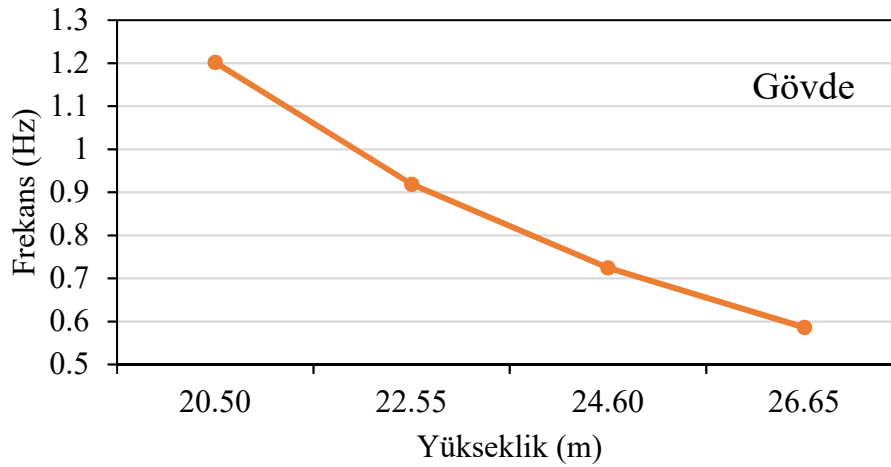
Şekil 5.10 Yükseklik Artışları Gövde Bölümüne Uygulandığında Tek, Çift ve Üç Şerefeli Minarelerde 1. Mod Frekansları Değişimi

İncelenen modellerde gövde bölümünde yükseklik artışı uygulanarak artan yüksekliklerin artan şerhede sayısı durumları ile birlikte değerlendirilmesi durumu incelenmiştir. Yükseklik ve frekans değerlerinin ters orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Grafiğe göre yükseklik arttıkça frekans değerinin azaldığı ve şerhede sayısının arttırılmasının ise bu duruma paralel olarak frekans değerlerini azalttığı tespit edilmiştir.



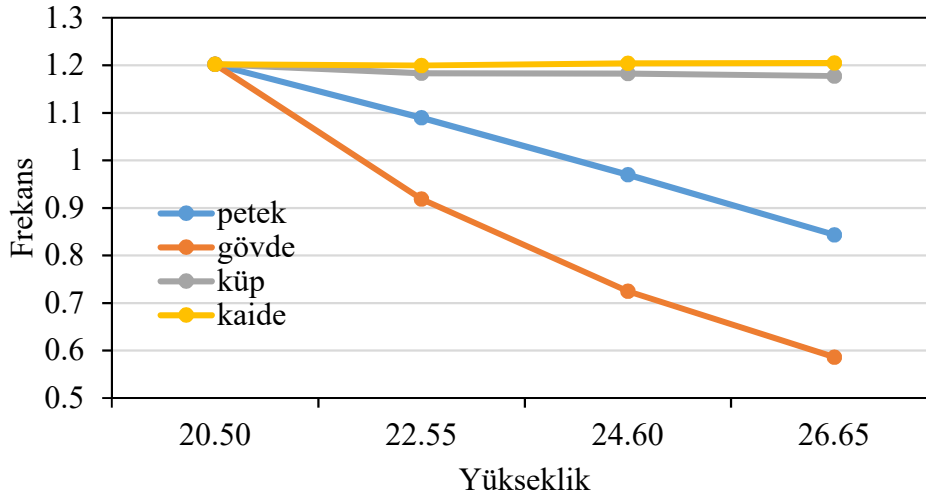
Şekil 5.11 Yükseklik Artışları Petek Bölümüne Uygulandığında Tek Şerefeli Minarede 1. Mod Frekansları Değişimi

Tek şerefeli minarede petek bölümünde yükseklik artışlarının frekans değerlerinde meydana getirdiği değişim yukarıdaki gibidir.



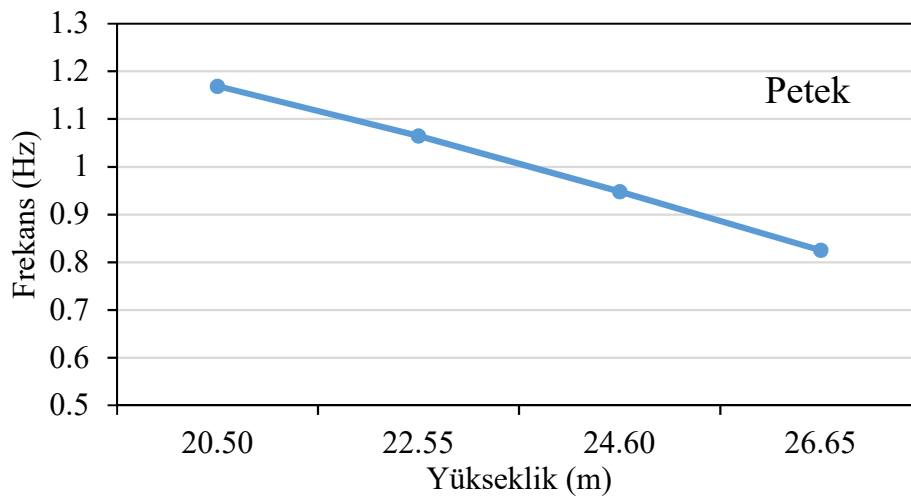
Şekil 5.12 Yükseklik Artışları Gövde Bölümüne Uygulandığında Tek Şerefeli Minarede 1. Mod Frekansları Değişimi

Tek şerefeli minarede gövde bölümünde yükseklik artışlarının frekans değerlerinde meydana getirdiği değişim yukarıdaki gibidir.



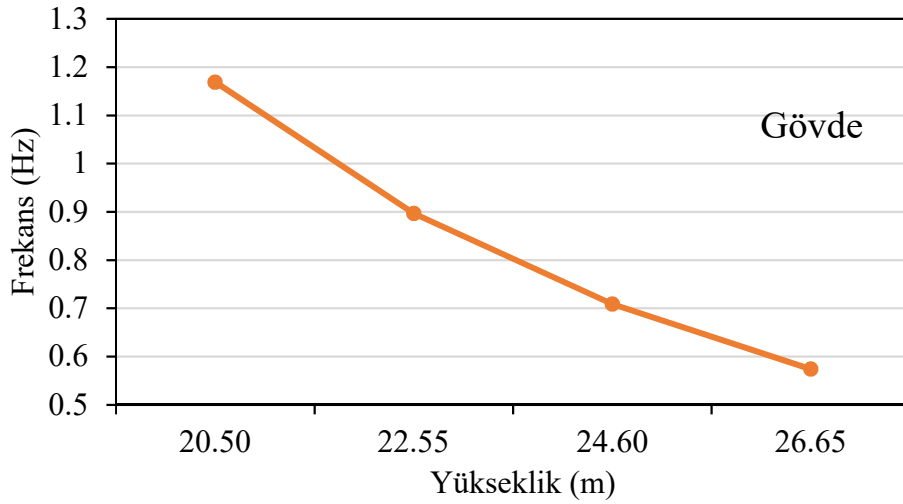
Şekil 5.13 Farklı Yüksekliklerdeki Tek Şerefeli Minarelerin Bölümlerine Göre İlk Frekans Değerlerindeki Değişim

Tek şerefeli minarelerde bölümlerinden sadece 1 tanesinin yüksekliğinin artırılmasının ilk frekanslarında meydana getirdiği değişim yukarıdaki gibidir. Minarenin bölümlerinden kaide ve küpün bir kısmının mesnetli olması yükseklikleri değiştirilse bile frekans değerlerinin 20.5 m yüksekliğindeki temel modelle ve birbirleriyle neredeyse aynı değerlere sahip olmalarına sebep olmuştur.



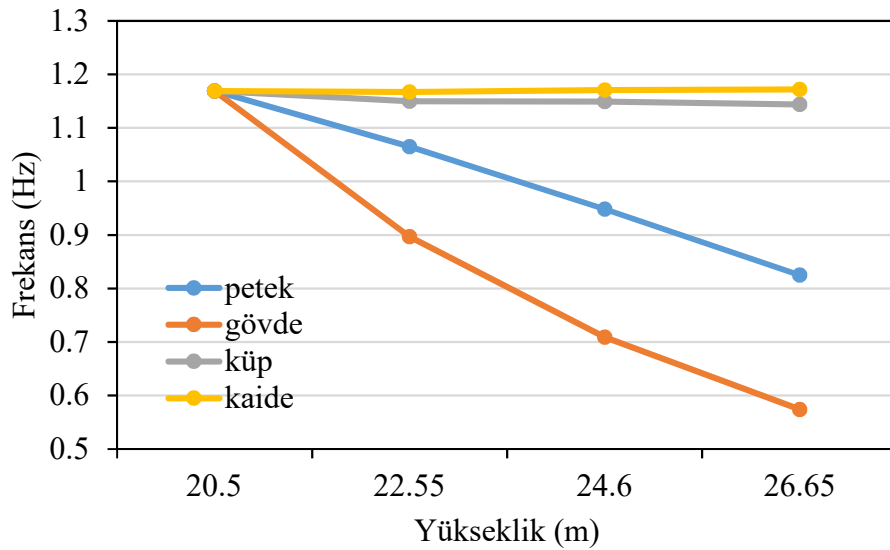
Şekil 5.14 Yükseklik Artışları Petek Bölümüne Uygulandığında Çift Şerefeli Minarede 1. Mod Frekansları Değişimi

Çift şerefeli minarede petek bölümünde yükseklik artışlarının frekans değerlerinde meydana getirdiği değişim Şekil 5.14'teki gibidir.



Şekil 5.15 Yükseklik Artışları Gövde Bölümüne Uygulandığında Çift Şerefeli Minarede 1. Mod Frekansları Değişimi

Çift şerefeli minarede gövde bölümünde yükseklik artışlarının frekans değerlerinde meydana getirdiği değişim yukarıdaki gibidir.



Şekil 5.16 Farklı Yüksekliklerdeki Çift Şerefeli Minarelerin Bölümlerine Göre İlk Frekans Değerlerindeki Değişim

Çift şerefeli minarelerde bölümlerinden sadece 1 tanesinin yüksekliğinin arttırılmasının ilk frekanslarında meydana getirdiği değişim yukarıdaki gibidir. Minarenin bölümlerinden kaide ve küpün bir kısmının mesnetli olması yükseklikleri değiştirilse bile frekans değerlerinin 20.5 m yüksekliğindeki temel modelle ve birbirleriyle neredeyse aynı değerlere sahip olmalarına sebep olmuştur. Minarelerin şerefe sayılarının bir tane arttırılması kaide ve küp bölümleri için ihmal edilecek derecede bir değişiklik oluşturmamıştır.

Şekil 5.13 ve Şekil 5.16 birlikte incelendiğinde yükseklik artışının ve şerefe sayısının artışının mesnetlenmiş bölümlerde ihmal edilecek kadar bir değişikliğe sebep olduğu görülmüştür. Minare bölümleri için mesnetlenme durumunun yapının dinamik davranışlarında etkili bir faktör olduğu ve beklenenin aksine davranışların görülmesine sebep olduğu tespit edilmiştir.

5.1.4. Minarelerin Depremsellik Bakımından İncelenmesi

AFAD'ın Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması ile minarelerin ANSYS Workbench te spektrum analizinde kullanılacak verileri Adıyaman İl merkezi zemin sınıfı ve depremselliği esas alınarak elde edilmiştir [56]. Uygulamaya e-Devlet uygulaması ile giriş yapılarak rapor oluşturma kısmından gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Rapor girdileri:

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD-2
- Yerel Zemin Sınıfı: ZC
- Enlem: 37.763647°
- Boylam: 38.277289°



Resim 5.1 Afad Web Uygulaması Harita Görünümü

Uygulamadaki harita üzerinden de (Resim 5.1) enlem ve boylam değerleri girilmeden depremselliği incelenecek nokta seçilebilir.

Rapor çıktıları:

$$S_s = 0.584 \quad S_1 = 0.185 \quad PGA=0.245 \quad PGV=16.350$$

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Yerel zemin sınıfı Çizelge 5.5 teki gibi tüm zemin sınıflarının özelliklerinin verildiği bir tablo üzerinde kullanılacak ZC zemin grubu işaretli olarak verilmektedir. Ayrıca Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 de ZC yerel zemin sınıfının etki katsayıları da verilmiştir.

Çizelge 5.5 Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler : 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer , 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Çizelge 5.6 Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_s=0.584$ için $F_s=1.266$

Çizelge 5.7 Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_1=0.185$ için $F_1=1.500$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

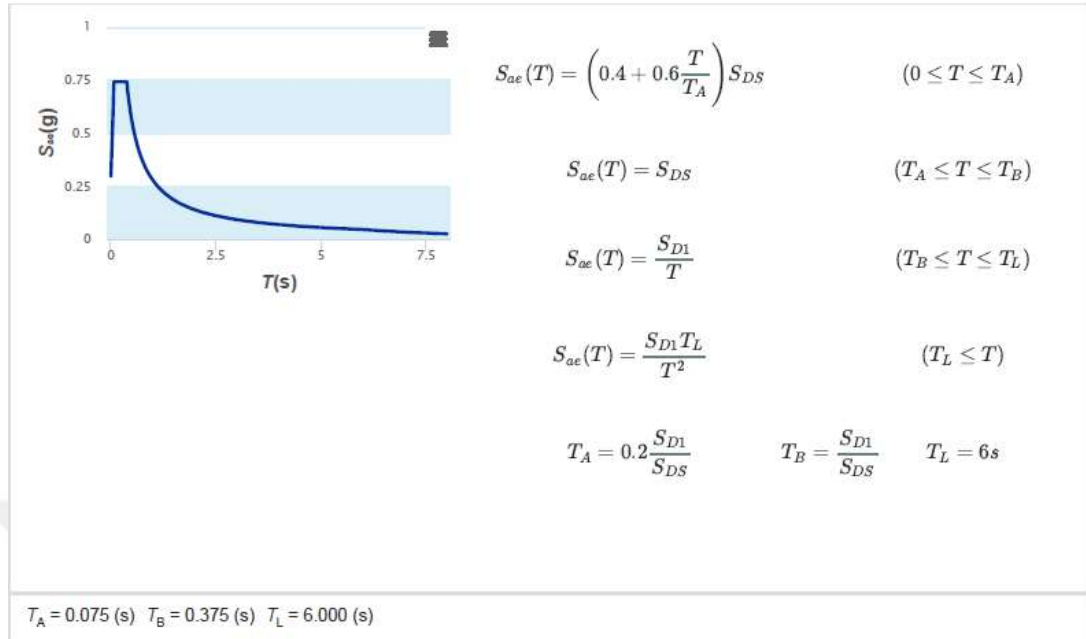
$$S_{DS}=S_S \quad F_S=0.584 \times 1.266=0.740$$

$$S_{D1}=S_1 \quad F_1=0.185 \times 1.500=0.278$$

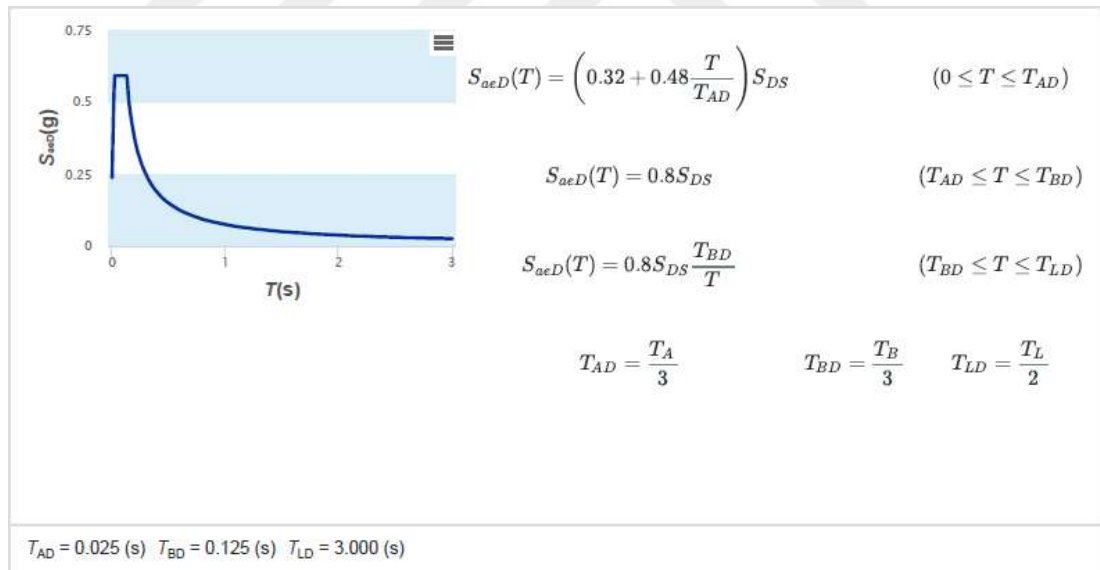
S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Raporda verilen yatay elastik tasarım spektrumu ve düşey elastik tasarım spektrumu grafikleri Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'deki gibidir. Bu grafikler Excel dosyası olarak indirilebildiğinden verilerin ANSYS Workbench e aktarılmasında kolaylık sağlamaktadır.

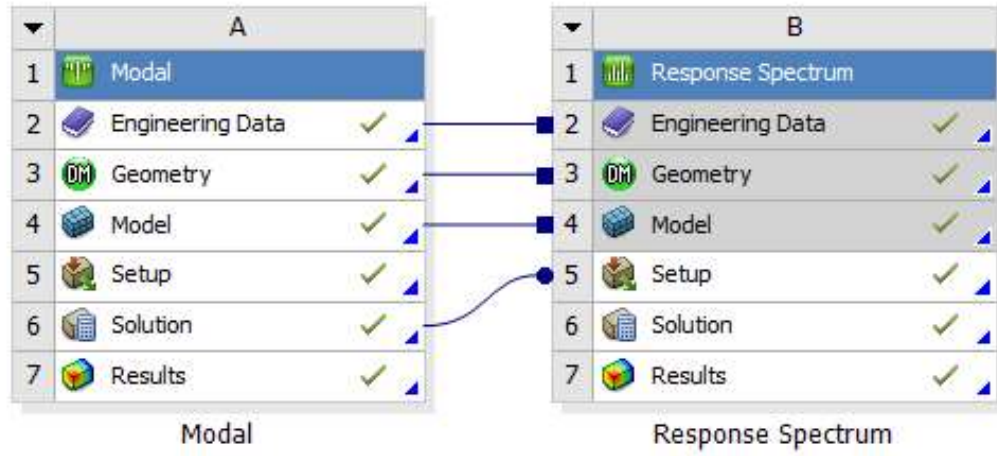


Şekil 5.17 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Şekil 5.18 Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

ANSYS Workbench'te yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu periyot değerleri frekansa dönüştürülerek spektrum analizi yapılmıştır. Modelin ANSYS Workbench teki kurgusu Şekil 5.19'daki gibidir.



Şekil 5.19 Modelin ANSYS Workbench'teki Kurgusu

Şekil 5.16'daki grafikten elde edilen 163 periyot-spektrum ivmesi değeri ANSYS Workbench yazılımında spektrum analizi yaparken girilebilecek en fazla veri değeri 100 olduğu için uygun kısımlarda sadece kritik değerler tutularak 163 değer 100'e düşürülmüştür.

Şekil 5.17'deki grafikten elde edilen 63 periyot-spektrum ivmesi değerleri frekans-spektrum ivmesi olarak düzenlenerek analizi yapılmıştır.

TBDY-2018 ve AFAD Web uygulamasından faydalanılarak minarelerin ANSYS Workbench'teki tasarımında kullanılan parametreler Çizelge 5.8'deki gibidir.

Çizelge 5.8 Minare Tasarımında Kullanılan Parametreler

Minare Analiz ve Tasarımında Kullanılan Parametreler	Simgeler	Sayısal Değerler
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	(R)	2.5
Bina Önem Katsayısı	(I)	1.2
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R_a(T)=R/I \quad (T \geq T_B)$	$R_a(T)$	2.08
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	S_s	0.584
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	S_1	0.185
Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	1.266
1.0 saniye periyot için Yerel Etki Katsayısı	F_1	1.500
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	S_{Ds}	0.584
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	S_{D1}	0.185
Tasarım Spektral İvme Katsayıları	$F_s=0.584 \times 1.266$	0.740
	$F_1=0.185 \times 1.500$	0.278
En büyük yer ivmesi [g]	PGA	0.245
En büyük yer hızı [cm/sn]	PGV	16.350
Bina Kullanım Sınıfı	BKS	2
Deprem Tasarım Sınıfı (DD-2) $0.50 \leq S_{Ds} < 0.75$ ve BKS=2	DTS	2

Spektrum analizi en düşük minare yüksekliği olan 20.5 m ile en yüksek minare yüksekliği 26.65 m aralığındaki tek, çift ve üç şerefeli uygun tüm modellere uygulanmıştır. Analiz sonuçları y yönündeki max deformasyon, eşdeğer gerilme ve mesnet reaksiyonları irdelenerek çizelgeler ve şekiller yardımıyla özetlenmiştir. Üçüncü şerefenin eklenmesine gövde yüksekliği uygun olan modeller sadece gövde yüksekliği arttırılmış modellerdir. Bu üç şerefeli modeller Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de görülmektedir.

Çizelge 5.9 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre 20.5 m Yüksekliğindeki Tek ve Çift Şerefeli Minarelerin Spektrum Analizi Sonuçları

Yükseklik Farkı (%)	Yükseklik (m)	Şerefe Sayısı	Y yönündeki max deformasyon (m)	Max Eşdeğer Gerilme (Von-Mises) (MPa)	Mesnet Reaksiyonu 1 (max) (N)	Mesnet Reaksiyonu 2 (max)(N)
Orijinal Model	20.5	TEK	0.10681	4.38	21946	58972
		ÇİFT	0.11293	4.19	23207	62057

Çizelge 5.9 incelendiğinde orijinal modelin tek veya çift şerefeli olması y yönündeki yer değiştirmeyi yaklaşık olarak 1 cm değiştirmektedir. Minarenin kaide ve küp kısımlarındaki mesnet reaksiyonu temel kısmındaki mesnet reaksiyonunun yaklaşık olarak 3 katı büyüklüğündedir. Minare üzerinde eşdeğer gerilmenin meydana geldiği yer değişmemekte ve büyüklüğünde şerefe sayısının artışıyla ters orantı gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 5.10 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre 22.55 m Yüksekliğindeki Tek, Çift ve Üç Şerefeli Minarelerin Spektrum Analizi Sonuçları

Yüksek -lik Farkı (%)	Yüksek -lik (m)	Şerefe Sayısı	Minare Bölümü	Y yönünde -ki max deformasyon (m)	Max Eşdeğer Gerilme (Von-Mises) (MPa)	Mesnet Reaksiyonu 1 (max) (N)	Mesnet Reaksiyonu 2 (max)(N)
+10	22.55	TEK	Petek	0.13086	4.90	21354	54290
			Gövde	0.13711	3.99	22303	58026
			Küp	0.10882	5.56	6934.4	52990
			Kaide	0.10694	5.20	4869	52414
		ÇİFT	Petek	0.13782	4.31	22472	57628
			Gövde	0.14376	4.66	23550	60229
			Küp	0.11429	5.00	7316.7	55467
			Kaide	0.11289	5.36	5103.7	54897
		ÜÇ	Gövde	0.14773	4.10	23991	64857

Çizelge 5.10 incelendiğinde yükseklik artışının tek şerefeli minarelerde mesnetlenmiş bölümde olması durumunda y yönündeki yer değiştirmeyi ihmal

edilecek oranda değiştirdiği, mesnetlenmemiş bölümlerde ise yaklaşık olarak 3 cm daha fazla olduğu görülmüştür. İki mesnet reaksiyonu arasındaki farkın en fazla kaide bölümünde olduğu görülmüştür. Çizelgeye göre çift şerefeli minarelerde de mesnetlenmiş bölümler ve mesnetlenmemiş bölümler gruplandırması yapılarak değerlendirme yapılabilir. Bu iki grup arasında y yönündeki deformasyon farkı yaklaşık olarak 3 cm'dir. Bu durum mevcut minarelerde veya yeni yapılacak minarelerde mesnetlenme durumları da göz önünde bulundurularak yapılacak yükseklik artışlarında göz önünde bulundurulmalıdır. Çizelgeye göre tek, çift ve üç şerefeli minarelerin gövde bölümlerindeki değişiklikler karşılaştırıldığında y yönündeki deformasyonda kayda değer bir değişikliğin olmadığı, mesnet reaksiyonlarının şerefe sayısı artışıyla arttığı ancak eşdeğer gerilmenin şerefe artışıyla ilişkilendirilemediği görülmüştür. Bir minarede şerefe sayısının artırılması planlanıyorsa minarede meydana gelecek dinamik tepkiler eklenecek şerefenin 2. şerefe veya 3. şerefe olmasına göre değişecektir. Tüm şerefelerde kaide ve küp bölümlerindeki mesnet reaksiyonları arasında önemli farklılıklar görülmüştür.

Çizelge 5.11 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre 24.60 m Yüksekliğindeki Tek, Çift ve Üç Şerefeli Minarelerin Spektrum Analizi Sonuçları

Yüksek-lik Farkı (%)	Yüksek-lik (m)	Şerefe Sayısı	Minare Bölümü	Y yönünde-ki max deformasyon (m)	Max Eşdeğer Gerilme (Von-Mises) (MPa)	Mesnet Reaksiyonu 1 (max) (N)	Mesnet Reaksiyonu 2 (max)(N)
+20	24.60	TEK	Petek	0.13086	3.59	21354	54290
			Gövde	0.17155	4.43	22882	58674
			Küp	0.10825	4.51	1983.5	51835
			Kaide	0.10652	4.76	1019.9	5175
		ÇİFT	Petek	0.13782	3.76	22472	57628
			Gövde	0.17852	4.54	23806	60037
			Küp	0.11429	4.79	2061.7	54326
			Kaide	0.11253	4.89	1061.3	54296
		ÜÇ	Gövde	0.1832	4.73	24344	64866

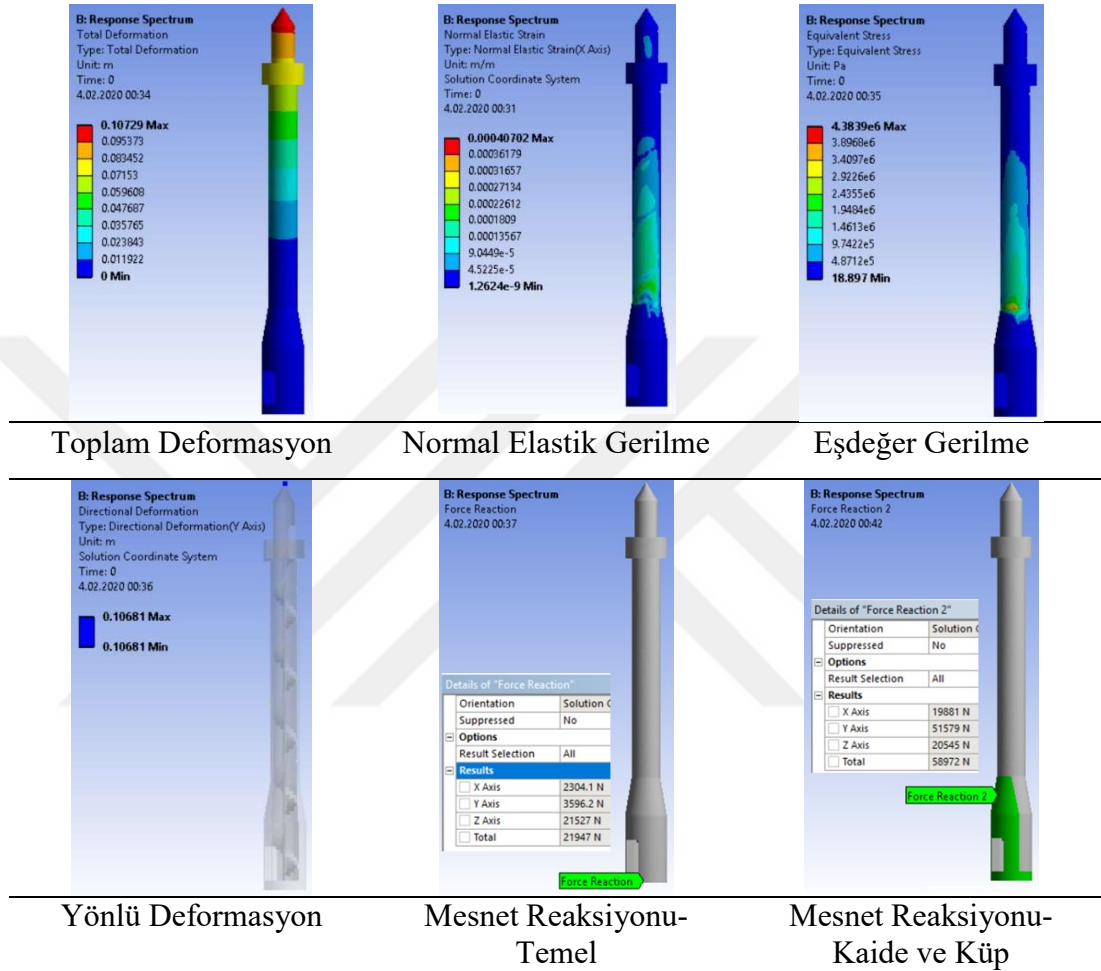
Çizelge 5.11 incelendiğinde gövde bölümlerinde y yönündeki yer değiştirme miktarının diğer bölümlere göre daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. %20’lik yükseklik artışı diğer bölümlere kıyasla gövde bölümündeki dinamik davranışlarda daha fazla tepkiye sebep olmuştur. Çift şerefeli minarelerde mesnet reaksiyonları arasındaki farkın en fazla küp ve kaide bölümlerindeki yükseklik artışlarında gerçekleştiği görülmektedir. Çizelgeye göre eşdeğer gerilmenin en fazla olduğu minare kaide bölümü yüksekliği arttırılmış çift şerefeli minaredir.

Çizelge 5.12 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre 26.65 m Yüksekliğindeki Tek, Çift ve Üç Şerefeli Minarelerin Spektrum Analizi Sonuçları

Yüksek-lik Farkı (%)	Yüksek-lik (m)	Şerefe Sayısı	Minare Bölümü	Y yönünde-ki max deformasyon (m)	Max Eşdeğer Gerilme (Von-Mises) (MPa)	Mesnet Reaksiyonu 1 (max) (N)	Mesnet Reaksiyonu 2 (max)(N)
+30	26.65	TEK	Petek	0.19075	3.89	19550	52820
			Gövde	0.20939	4.59	23422	60360
			Küp	0.10915	4.80	621.93	51942
			Kaide	0.10679	4.76	238.93	51870
		ÇİFT	Petek	0.19811	4.06	20399	55728
			Gövde	0.21809	4.80	24472	61373
			Küp	0.11527	5.58	656.93	54256
			Kaide	0.11278	4.36	250.86	54342
		ÜÇ	Gövde	0.22375	4.93	25222	67509

Çizelge 5.12 incelendiğinde %30’luk yükseklik artışının petek ve gövde bölümüne uygulandığı minarelerin diğer bölümlere uygulanan minarelerle y yönündeki yer değiştirmeleri kıyaslandığında yaklaşık 10 cm fark olduğu görülmektedir. Çizelgeye göre tek ve çift şerefeli minareler kıyaslandığında eşdeğer gerilmelerin en fazla küp bölümünde yükseklik artışı olan minarelerde meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca tek, çift ve üç şerefeli minarelerde gövde bölümünde yüksekliği arttırılmış minareler incelendiğinde şerefe artışının eşdeğer gerilmeyi arttırdığı görülmektedir. Tek, çift ve üç şerefeli minarelerde meydana gelen mesnet

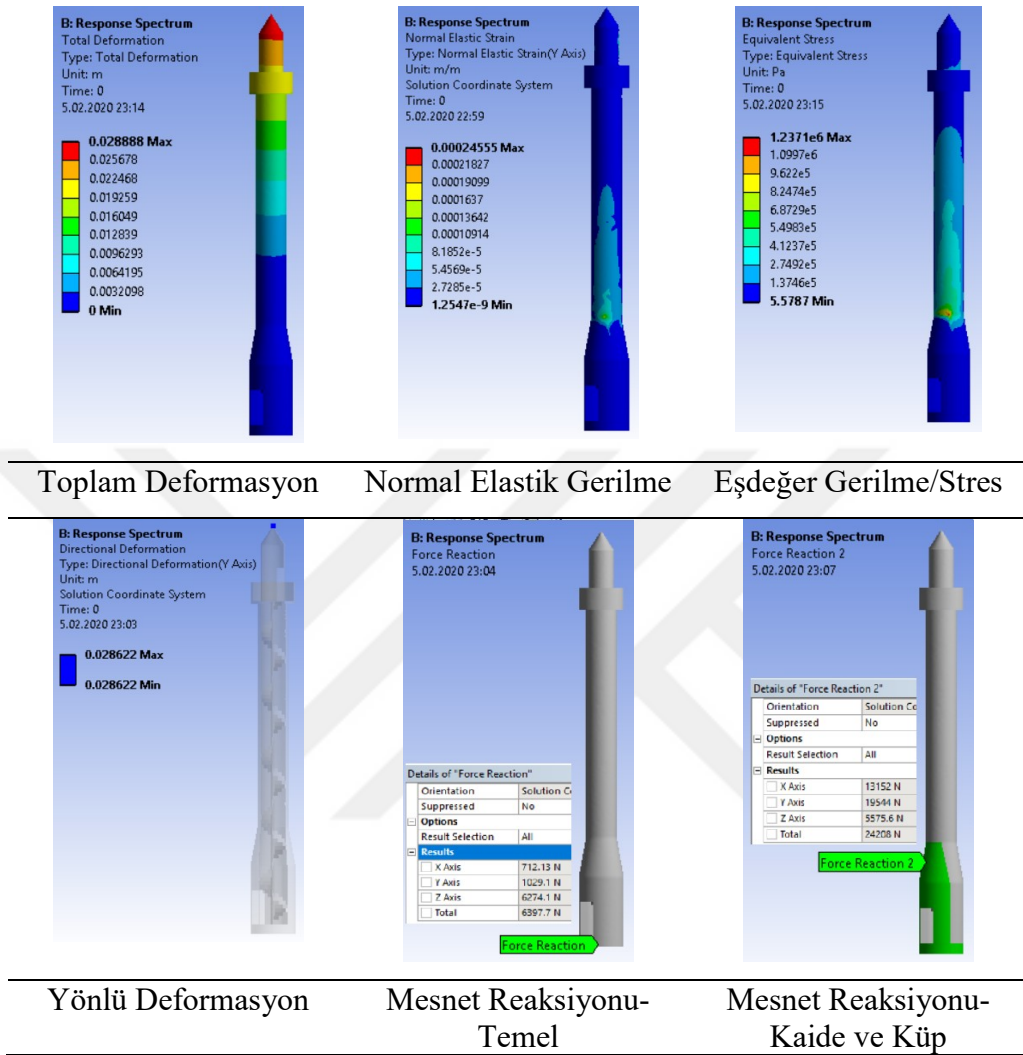
reaksiyonları karşılaştırıldığında en fazla farkın kaide ve küp bölümlerine yükseklik artışı uygulanmış minarelerde olduğu görülmüştür.



Şekil 5.20 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre Spektrum Analiz Sonuçları (Minare Yüksekliği:20.5 m)

Yukarıdaki tabloya göre;

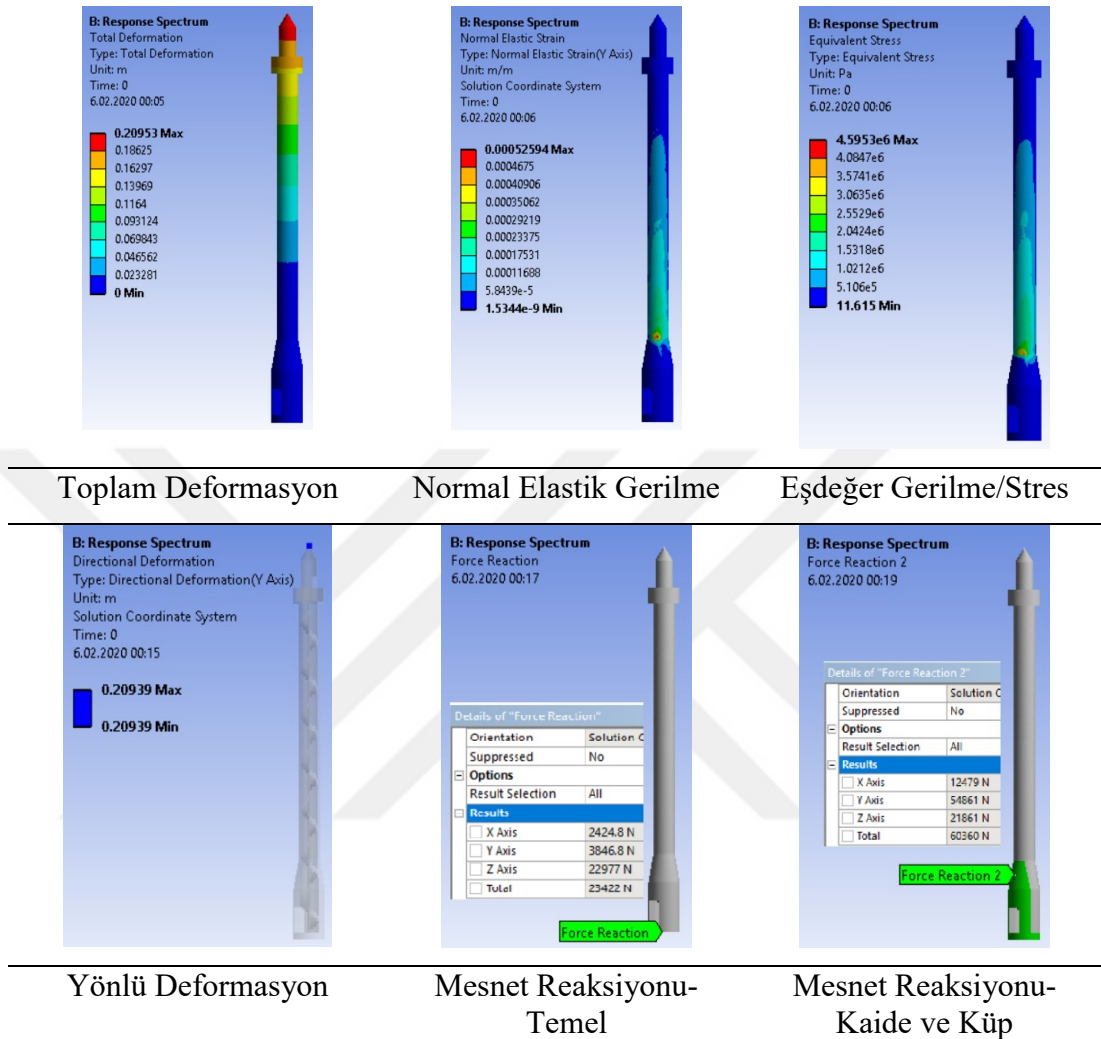
- Minaredeki en büyük yer değiştirmeler külah uç noktasında ve 0.11 m'dir.
- Olası bir depremde hasar alabilecek kısım, kaide ve küp kısmındaki mesnetlenmiş kısmın hemen bitiş noktasından başlamak üzere gövde üzerinde birbirine paralel olarak dağılım göstermektedir.
- Mesnetlenen bölgelerde oluşan kuvvetler kıyaslandığında ise en büyük reaksiyonun temel ve gövde arasındaki mesnetlenen kısımda ve y yönünde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.21 Düşey Elastik Spektrum Değerlerine Göre Spektrum Analiz Sonuçları (Minare Yüksekliği:20.5 m)

Yukarıdaki tabloya göre;

- Minaredeki en büyük yer değiştirmeler kule uç noktasında ve 0.03 m'dir.
- Olası bir depremde hasar alabilecek kısım, kaide ve küp kısmındaki mesnetlenmiş kısmın hemen bitiş noktasından başlamak üzere gövde üzerinde birbirine paralel olarak dağılım göstermektedir.
- Mesnetlenen bölgelerde oluşan kuvvetler kıyaslandığında ise en büyük reaksiyonun temel ve gövde arasındaki mesnetlenen kısımda ve y yönünde olduğu tespit edilmiştir.

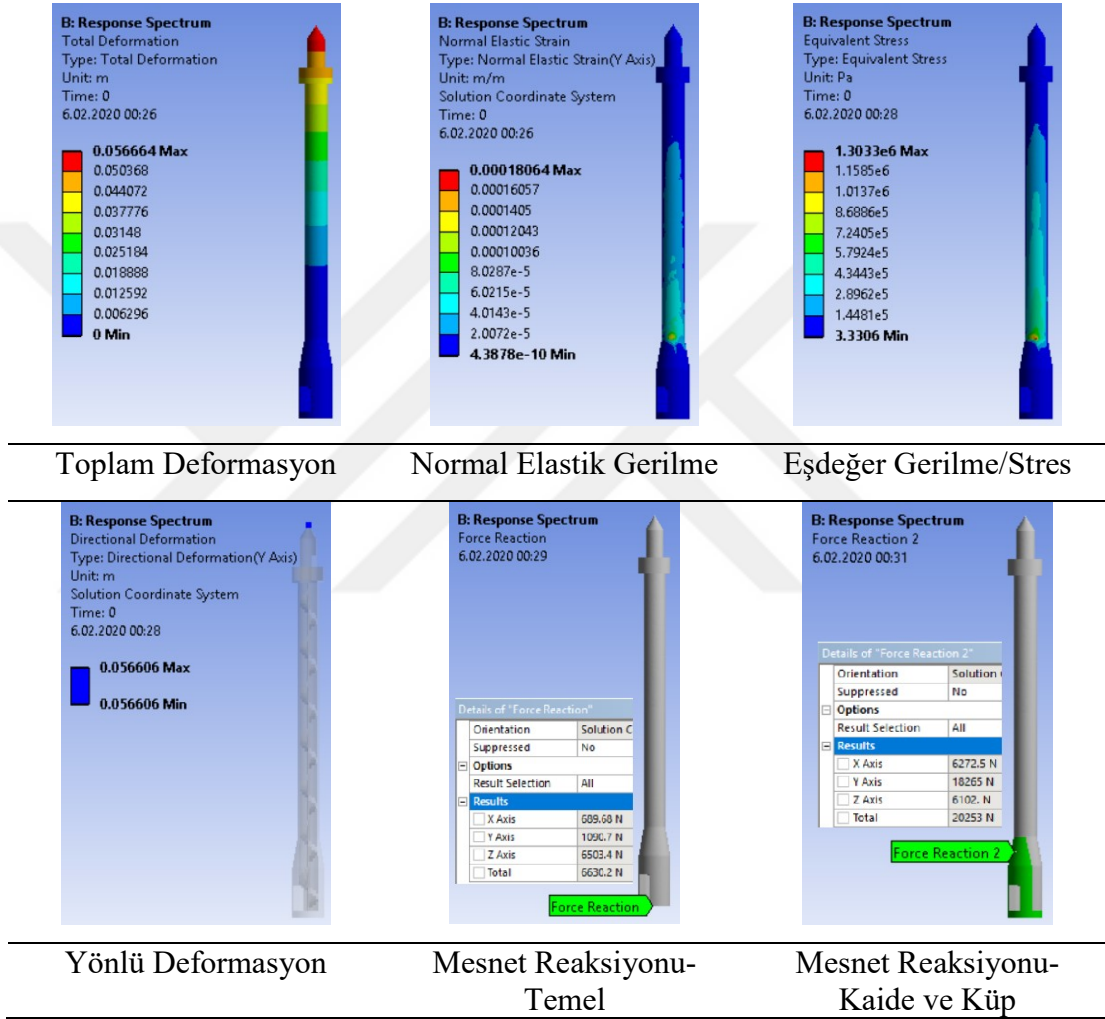


Şekil 5.22 Yatay Elastik Spektrum Değerlerine Göre Spektrum Analiz Sonuçları (Minare Yüksekliği:26.65 m)

Yukarıdaki tabloya göre;

- Minaredeki en büyük yer değiştirmeler kule uç noktasında ve 0.21 m'dir.
- Toplam deformasyonun 20.5 m yüksekliğindeki minareye göre aralıklarının daha geniş aralıklarla yayıldığı görülmektedir.
- Olası bir depremde hasar alabilecek kısım, kaide ve küp kısmındaki mesnetlenmiş kısmın hemen bitiş noktasından başlamak üzere gövde üzerinde birbirine paralel olarak dağılım göstermektedir.

- Mesnetlenen bölgelerde oluşan kuvvetler kıyaslandığında ise en büyük reaksiyonun temel ve gövde arasındaki mesnetlenen kısımda ve y yönünde olduğu tespit edilmiştir. Buradaki değerin 20.5 m yüksekliğindeki minareye göre artış gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.23 Düşey Elastik Spektrum Değerlerine Göre Spektrum Analiz Sonuçları (Minare Yüksekliği:26.65 m)

Yukarıdaki tabloya göre;

- Minaredeki en büyük yer değiştirmeler kule uç noktasında ve 0.06 m'dir.
- Toplam deformasyonun 20.5 m yüksekliğindeki minareye göre aralıklarının daha geniş aralıklarla yayıldığı görülmektedir.

- Olası bir depremde hasar alabilecek kısım, kaide ve küp kısmındaki mesnetlenmiş kısmın hemen bitiş noktasından başlamak üzere gövde üzerinde birbirine paralel olarak dağılım göstermektedir.
- Mesnetlenen bölgelerde oluşan kuvvetler kıyaslandığında ise en büyük reaksiyonun temel ve gövde arasındaki mesnetlenen kısımda ve y yönünde olduğu tespit edilmiştir. Buradaki değerin yüksekliği 20.5 m olan minareye göre düştüğü tespit edilmiştir.



6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında; Trabzon'da bulunan tarihi İskenderpaşa Camiinin yığma minaresi temel model alınarak yükseklikleri, şerefe sayıları farklı olan minare modellerinin dinamik analizleri üzerinde çalışılmıştır. Bu minareler; üç boyutlu olarak ANSYS Workbench'te sonlu elemanlar metodu ile katı elaman olarak modellenmiştir. Modellenen minarelerin serbest titreşim analizleri yapılarak ilk altı mod için yapı periyotları, frekansları ve kütle katılım oranları bulunmuştur. Modellenen minarelerin Adıyaman il merkezi depremselligi kullanılarak spektrum analizi yapılmış ve minareler deformasyonları, gerilmeleri, tepe noktasında meydana gelen yer değiştirmeler ve mesnet noktalarında oluşan reaksiyon kuvvetleri bakımından incelenmiştir.

Bu çalışmada serbest titreşim analizleri sonucunda:

- Aynı yükseklikteki minare modelleri incelendiğinde minarelerde kaide ve küp (geçiş segmenti) gibi bölümlerin uzunluklarının arttırılmasının frekans değerlerini ihmal edilebilecek oranlarda arttığını göstermiştir.
- Minarenin mesnetlenme koşulları ve şerefe sayısı değişmeyecek şekilde minare yüksekliği arttırılmak istendiğinde, yükseklik artışı küp veya kaidede sağlanırsa yükseklik %10, %20 veya %30 arttırılsa bile frekans değerlerinde dikkate değer bir değişiklik gözlenmemiştir.
- Aynı yükseklikteki farklı şerefe sayısına sahip minareler kıyaslandığında ise şerefe sayısı arttıkça frekans değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada spektrum analizleri sonucunda:

- Spektrum analiz sonuçları incelendiğinde mesnetlerde meydana gelen en büyük kuvvetlerin yükseklik ve şerefe sayıları farkı gözetilmeksizin tüm modellerde minarenin cami duvarına kaide ve küp bölümünden mesnetlendiği (mesnet reaksiyonu 2) kısımda en fazla olduğu ve minarede meydana gelen en büyük eşdeğer gerilmelerinde buna paralel olduğu tespit edilmiştir.
- Yatay yüklerden dolayı en büyük deformasyon ve gerilmelerin olduğu bölüm küp (geçiş segmenti) bölümü ve bu bölümde ise küp-gövde geçişi olan bölgedir. Bu bölüm özellikle gövde gibi narin ve yüksekliği fazla olan bir

bölüme geçişi sağladığı için bu kısımda gerekli uzunlukların sağlanması, bunun mümkün olmadığı durumlarda ise minarenin doğal yapısını bozmayacak şekilde güçlendirme yapılması tavsiye edilmiştir.

Bu çalışmada genel olarak analiz sonuçları değerlendirildiğinde:

- İncelenecek modelden doğru sonuçlar almak için minare bölümlerinin tamamının dikkate alınması ve bu bölümler arasındaki geçişlerin doğru olarak yapılması önemlidir. Ayrıca minarelerin temel dışında mesnetlenmiş kısımları tüm hesaplamalarda sonucu değiştiren önemli bir faktör olduğundan modellemede mutlaka dikkate alınmalıdır.
- Yığma bir minareye güçlendirme uygulanacaksa veya aslına uygun olarak yeniden aynı türde bir malzemeye inşa edilecekse mutlaka bulunduğu bölgenin depremselliği göz önünde bulundurularak analiz edilmelidir. Uygulanacak restorasyon projesi yapının maruz kaldığı her etki göz önünde bulundurularak hazırlanmalıdır.
- Minare yüksekliği fazla olan bir yığma minare projelendirilirken veya restorasyon projesi hazırlanırken kaide ve küp (geçiş segmenti) uzunluğunun yük aktarımındaki rolü dolayısıyla uzun olmasına ve minaredeki şerefe sayısının fazla olmamasına dikkat edilmelidir.
- Minarelerin malzeme özellikleri, geometrik özellikleri ve bulundukları bölgenin depremselliği aynı olsa bile her minarenin ayrı ayrı değerlendirilip analiz edilmesi gerektiği, ince ve uzun yapılarından dolayı yatay yüklere karşı daha zayıf olduğu tespit edilmiştir.
- İncelenen modeller aynı malzemeden yapılmış ve aynı yükseklikte olmasına rağmen minareleri oluşturan bölümlerinin yüksekliklerinin farklı olması analiz sonuçlarında farklılıklara sebep olmuştur. Bu sonuçlar ise var olan veya yeni inşa edilecek minarelerde karşılaşılabilecek dış etkilere karşı minarelerin yükseklik, şerefe sayısı ve mesnetlenme durumlarına göre farklı yollar izlenmesi gerektiğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ü. Kulaş, “Türk Taş Minarelerinde Döner Merdiven ve Metal Bağlantı Elemanların Yatay Yükleri Karşılamadaki İşlevi” *I. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi*, İstanbul, 1981, s.235-240.
- [2] A.I. Çarhoğlu, P. Usta ve K. A. Korkmaz, “Ayasofya Örneğinde Tarihi Minare Yapılarının Sismik Davranışlarının İncelenmesi”, *International Technologic Science*, vol. 5, No 1, pp. 36-43, 2013.
- [3] C. Serhatoğlu, R. Livaoğlu, “Tarihi Molla Arap Camii Minaresinin Dinamik Karakteristikleri ve Deprem analizi”, *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, 2015, s.239-249.
- [4] M. Şentürk, H. Özkaynak, “Kapıüstü Mescidi Minaresinin Yapı Mühendisliği Açısından Değerlendirilmesi” *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, 2017, s.619-628.
- [5] M. Oğuzmert, “Yığma Minarelerin Dinamik Davranışları”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2002.
- [6] H. T. Temüz, “Minarelerin Rüzgâr Yükleri Altında Davranışlarının İncelenmesi ve Bunların Rüzgâra Göre Hesabı”, Yüksek lisans tezi, Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2007.
- [7] E. Ertek, “Osmanlı Minarelerinin Yapısal Modellemesi ve Deprem Analizi”, Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 2009.
- [8] M. H. Baştürk, “Bursa Tarihi Yığma Minarelerin Dinamik Davranışlarının Modal Analiz Yöntemi ile İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, 2013.
- [9] G. Akbulut Taş, “Ayarlı Kütle Sönümleyici Yerleştirilmiş Yüksek Minarelerin Dinamik Analizi”, Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi, 2015.
- [10] K. Dehghanian, “Modern Betonarme Minareler İçin Ölçekli Gerçek Deprem Kayıtlarının ve Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY,2007) Tasarım Spektrum Karşılaştırması” Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.

- [11] İ. Çalık, “Tarihi Camii ve Minarelerin Deneysel Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Restorasyon Etkilerinin Değerlendirilmesi”, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2017.
- [12] A. Nuhoglu, S. Şahin, “Sanayi Bacalarının ve Minarelerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi” *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli 2005 pp. 433-443.
- [13] C. Calp, “Tarihi Minarelerin Dinamik Özellikleri ve Deprem Performansları”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2018.
- [14] B. Şen, “Tarihi Yığma Yapıların Modelleme ve Analizi”, Yüksek lisans tezi, Boğaziçi Üniversitesi, 2006.
- [15] İ. Çalık, “Tarihi Yığma Taş Minareler İçin Deneysel Yöntemlere Dayalı Basitleştirilmiş Doğal Frekans Formülleri”, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, 2017, pp.523-532.
- [16] K. Hacıfendioğlu, E.E. Maraş, “Tarihi Yığma Minarelerinin Dokümantasyonunda ve Ortam Titreşim Testinde Fotogrametri” *Experimental Techniques*, vol. 40, pp.1527-1537, 2016.
- [17] S. Gündoğan, İ. Kılıç, K. B. Bozdoğan, S. Aydın, S. G. Gök, “Kule Tipi Yapıların Dinamik Davranışının Belirlenmesi: Kırklareli Hızırbey Camii Minaresi Örneği”, *Politeknik Dergisi*, Cilt 23, Sayı 1, pp.19-26, 2020.
- [18] M. S. Döven, C. Serhatoğlu ve O. Kaplan, “Kütahya Yeşil Minarenin Kapalı Ve Açık Şerefeli Dinamik Davranışlarının Karşılaştırılması”, *4.Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı Özel Sayısı*, Eskişehir, 2018, Cilt:6 - pp. 192-203.
- [19] G. Eren, K. Beyen, “Zemin Davranışı Ve Mesnet Koşullarının Tarihi Yapıların Dinamik Davranışına Etkisi”, *4.Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı Özel Sayısı*, Eskişehir, 2018, Cilt:6 - pp. 244-252.
- [20] Y. S. Erdoğan, “Sayısal Görüntü İşleme İle Titreşim Yer Değiştirmelerinin Ölçümü Ve Modal Parametre Tayini” *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* Cilt 20, Sayı 59, 2018.
- [21] M. Koçer, A. Nakipoğlu, B. Öztürk, M. G. Al-Hagri, M. H. Arslan, “Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007’ye Göre Karşılaştırılması”, *Selçuk-Teknik Dergisi*, Cilt 17, Sayı:2, pp.43-58, 2018.

- [22] H. Can, J. Kubin ve A. İ. Ünay, “Düzensiz Geometrik Şekile Sahip Tarihi Yığma Binaların Sismik Davranışı”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 27, No 3, 679-686, 2012
- [23] “İskenderpaşa Camii Uydu Fotoğrafi”, <https://www.google.com/intl/tr/earth/>, <https://earth.google.com/web/@41.00561522,39.73184354,38.55155096a,557.02469588d,35y,113.10329008h,9.92855818t,0r/data=CIYaVBJOCiUweDQwNjQzYzQzN2Q5MDA1MmI6MHg3ODk4NzdjNjZlZjM3YjE5GaVeAZamgERAIVJY8y293UNAKhPEsHNrZW5kZXJwYcWfYSBDYW1pGAEGaQ> [Erişim tarihi: 20-Aralık-2019].
- [24] “İskenderpaşa Camii”, <https://karadeniz.gov.tr/iskenderpasa-camii/#prettyPhoto>, [Erişim tarihi: 20-Aralık-2019].
- [25] “İskenderpaşa Camii”, [https://karadeniz.gov.tr/iskenderpasa-camii/#prettyPhoto\[instagram\]/2/](https://karadeniz.gov.tr/iskenderpasa-camii/#prettyPhoto[instagram]/2/) [Erişim tarihi: 20-Aralık-2019].
- [26] B. Sevim, “Kemer Barajların Dinamik Davranışlarının Sonlu Eleman ve Deneysel Modal Analiz Yöntemleriyle Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2010.
- [27] T. Tuğçe, “Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı ve Güçlendirme Teknikleri” Aralık-2015 İstanbul
- [28] Ç. Kaya, “Yığma Duvarların Elastik-Plastik Hesabı”, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2010.
- [29] M.M. Saraç, “Tarihi Yığma Kargir Yapıların Güçlendirilmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2003.
- [30] H. A. Mahrebel, “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006.
- [31] R.S. Boynton, *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*, 2nd Edition, New York, John Wiley & Sons, 1980.
- [32] *Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi* 2. Cilt, S.1259, Hürriyet Ofset, 1997
- [33] E.H. Ayverdi; “*Osmanlılarda Minare*”, Makaleler, İstanbul 1985.
- [34] A. Ödekan, *Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi*, 1997.
- [35] S. Eyice, *TDV İslam Ansiklopedisi*, 1993.

- [36] H. H. Ayvansayi, *Camilerimiz Ansiklopedisi*, 1987.
- [37] Makrizi, Ebu Abbas Takiyüddin, *el-Mevazi ve'l-itibar bi Zikri'l-Hitat ve'l-Asar*, Kahire.
- [38] Belazuri, Ahmed b. Yahya, *Fütuhu'l-Buldan*, Çev. Mustafa Fayda, Ankara, 1987, s.500
- [39] *İslam ansiklopedisi*, “Minare “ maddesi, 1979.
- [40] K.A.C. Creswell, *Early Muslim Architecture I (Umayyds)*, 1969.
- [41] N. Çam, *İslam'da Sanat Resim ve Mimari*, 1994.
- [42] Ö. Bakırer, *XII. XIII. yy. Anadolu Minareleri*, 2006.
- [43] M. Cezar, *Anadolu Öncesi Türklerde Şehir ve Mimarlık*, 1977.
- [44] G. Schneider, *Türk Mimarisinden Çizimler*, 2000.
- [45] O. Aslanapa, *Türk Sanatı*, I-II, 1983.
- [46] Ö. Bakırer, “Selçuklu öncesi ve Selçuklu Dönemi Anadolu Minaresinde Tuğla Kullanımı”, *O.D.T.Ü. Mim.Fak. Dergisi*, 1981.
- [47] S. Bayram. ve A.H. Karabacak, “Sahib Ata Fahrü'd-din Ali'nin Konya, İmaret ve Sivas Gök Medrese Vakfiyeleri”, *Vakıflar Dergisi*, vol. 13, pp. 31-69, 1981.
- [48] O. Oral, *Edirne Minareleri*, 1974.
- [49] S. Eyice, *İstanbul Minareleri*, 1963.
- [50] S. Eyice, *İslam Ansiklopedisi*, Cilt 30, 2005.
- [51] K. H. Kuşüzümü, “İstanbul Minarelerinin Geleneksel Yapım Teknikleri ve Günümüzdeki Restorasyonu”, Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, 2010.
- [52] İ.H. Aksoy, “İstanbulda Tarihi Yapılarda Uygulanan temel Sistemleri”, *İ.T.Ü. Dergisi*, 1982.
- [53] F. Uluengin, M. Uluengin ve B. Uluengin, *Osmanlı Anıt Mimarisinde Klasik Yapı Detayları*, İstanbul, 2001.
- [54] A. Bayraktar ve arkadaşları, “Seismic Response of a Historical Masonry Minaret using a Finite Element Modal Updated with Operational Modal Testing”, *Journal of Vibration and Control*, vol. 17(I), pp. 129-149, 2011.
- [55] E. Gürsoy, “Cami Tip Projelerinde Ölçü Oran İlişkisi”, *Türk Dünyası Araştırmaları (TDA)*, vol. 232, pp. 211-228, 2018.

- [56] “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması”,
<https://tdth.afad.gov.tr/> [Erişim tarihi: 09-Ocak-2020].



KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Cemile Duman
Doğum Yeri :Elazığ
Doğum Tarihi :01.01.1990
Medeni Hali :Bekâr
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta : cmldmn44@gmail.com

Eğitim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Taşınmaz Değerleme ve Geliştirme A. B. D.	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2017
Lisans	İnşaat Mühendisliği Bölümü	Fırat Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Atatürk Kız Lisesi	2007

Yayınlar

F. A. Öncel, C. Duman ve M. F. Şahan, “Yüksekliğin ve Şerefe Sayısının Yığma Minarelerin Serbest Titreşimlerine Etkisinin İncelenmesi”, in 6 th International Conference on Culture and Civilization Congress, Şanlıurfa, 2020, pp.43