



## A simplified method for determining the seismic performance of historical structures: a case of Kaya Çelebi Mosque

Ferit Çakır\*<sup>ID</sup>

Department of Civil Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, 41400, Turkey

### Highlights:

- To determine the seismic performance of historical buildings
- To develop a simplified method based on the displacement
- To evaluate the performance of a historical mosque

### Keywords:

- Historical structures
- Seismic performance analysis
- Finite element method
- 2011 Van Earthquake

### Article Info:

Research Article  
Received: 17.06.2020  
Accepted: 20.02.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.754183

### Correspondence:

Author: Ferit Çakır  
e-mail: cakirf@gtu.edu.tr  
phone: +90 262 605 10 00

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, a simplified performance evaluation method is presented to determine the seismic performance of historical buildings. Besides, the earthquake performance of the historical Kaya Çelebi Mosque, which was damaged during the 2011 Van Earthquake, is examined using this evaluation method presented within the scope of the study.

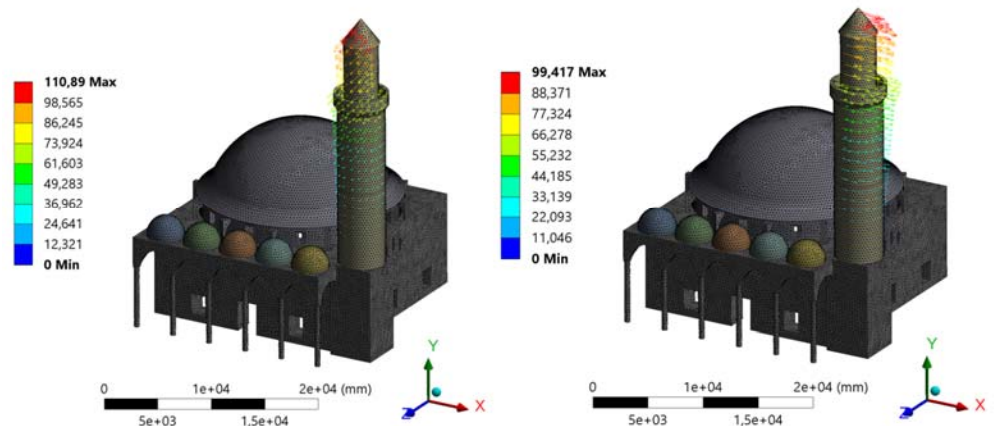


Figure A. Maximum lateral displacement (mm) on the minaret in the Z and X direction obtained from DD2 seismic hazard level

**Purpose:** The aim of this study is to develop a simplified method based on displacement in order to determine the earthquake performance of historical buildings.

### Theory and Methods:

In the simplified method, the performance evaluation is carried out in the five main stages, which are Collecting Preliminary Information, Determination of Material Properties, Preparation of the Finite Element Model, Finite Element Analyses, Evaluation of the Numerical Results.

### Results:

As a result of the evaluation, the minaret of Kaya Çelebi Mosque is very sensitive in terms of seismic and the displacement ratios obtained in the minaret in the Z direction.

### Conclusion:

It is concluded that the "Simplified Assessment Method" proposed within the scope of the study can be effective in evaluating the earthquake performance of existing historical buildings and can be implemented in many different buildings.



## Tarihi yapıların deprem performansının belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem: Kaya Çelebi Cami örneği

Ferit Çakır\*

Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 41400 Gebze Kocaeli, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Tarihi yapılarda performans analizi
- Basitleştirilmiş sismik performans analizi
- Kaya Çelebi Cami'nin deprem performansı

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.06.2020

Kabul: 20.02.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.754183

### Anahtar Kelimeler:

Tarihi Yapılar,  
deprem performans analizi,  
sonlu elemanlar metodu,  
2011 Van depremi

### ÖZ

Tarihi yapılar, tüm dünyada kültürel mirasın ayrılmaz bir parçası olup sahip oldukları evrensel değerlerle birlikte geçmişin izlerini günümüze kadar taşıyan yapılardır. Genellikle yığma taşıyıcı sistemine sahip olan tarihi yapılar, betonarme yapılara nazaran daha iyi bir deprem performansına sahip olmalarına rağmen bazı yıkıcı depremlerde bu yapılardan bir bölümünün ciddi yapısal hasarlar gördüğü anlaşılmaktadır. Günümüzde tarihi yapıların deprem performanslarını belirlemek amacıyla birçok çalışma yürütülmesine rağmen bu yapıların performanslarını değerlendirmek amacıyla kesin hatlarıyla belirlenmiş bir yöntem bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında tarihi yapıların deprem performansını belirlemek amacıyla deplasmana dayalı basitleştirilmiş bir yöntem üzerinde durulmuş ve bu yöntem kullanılarak 2011 Van depremi sonrasında hasar gören Kaya Çelebi Cami'nin deprem performansı incelenmiştir.

## A simplified method for determining the seismic performance of historical structures: a case of Kaya Çelebi Mosque

### H I G H L I G H T S

- Performance analysis of historical buildings
- Simplified seismic performance analysis
- Earthquake performance of Kaya Çelebi Mosque

### Article Info

Research Article

Received: 17.06.2020

Accepted: 20.02.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.754183

### Keywords:

Historical structures,  
seismic performance  
analysis,  
finite element method,  
2011 Van earthquake

### ABSTRACT

Historical buildings are an integral part of cultural heritage all over the world and are structures that carry the traces of the past to the present, together with the universal values they have. Although historical buildings, which generally have a masonry bearing system, have a better seismic performance compared to reinforced concrete structures, it is understood that some of these structures have suffered serious structural damage in some destructive earthquakes. Although many studies have been conducted to determine the seismic performance of historical buildings, there is no method that has been determined with strict lines to evaluate the performance of these structures. Within the scope of this study, a simplified method based on displacement was emphasized in order to determine the seismic performance of historical buildings and the seismic performance of historical Kaya Çelebi Mosque, which was damaged after the 2011 Van earthquake, was examined using this method.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tarihi yapılar karmaşık geometrik formları, yapım teknikleri ve kullanılan yapı malzemeleri nedeniyle yapısal davranış açısından oldukça kompleks yapılardır. Bu yapılarda meydana gelen hasarların ortadan kaldırılmasında öncelikli olarak yapı davranışının anlaşılması ve deformasyon şekillerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, tarihi yapılarda deprem etkilerinden dolayı oluşan deformasyon şekilleri, göçme mekanizmaları ve yük taşıma kapasitelerini anlamak için tarihi yapıların deprem performanslarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Ancak, davranış açısından karmaşık yapıya sahip tarihi yapıların analitik hesaplarla değerlendirilmesi oldukça zordur. Bu nedenle, tarihi yapıların sayısal ortamda üç boyutlu olarak modellenmesi ve modellenen yapıların bilgisayar analizleriyle değerlendirilmesi kullanışlı bir yöntemdir. Gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte, tarihi yapıların deprem performansının belirlenmesi ve deprem öncesinde ve sonrasında meydana gelen hasar nedenlerinin araştırılması son yirmi yıldır ülkemizde ve dünyada önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Özellikle, son yıllarda yıkıcı depremlerden etkilenen tarihi yapıların performansı ile ilgili birçok bilimsel çalışma yürütülmüş ve cami, kilise, köprü, anıt, kule veya medrese gibi birçok tarihi yapının deprem performansının belirlenmesi konusunda önemli çalışmalar yapılmıştır. Dogangun ve Sezen [1] 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerini dikkate alarak beş farklı tarihi yapının sismik performanslarını incelemiş ve yapıların sismik zayıflıkları araştırmıştır. Brandonisio vd. [2] yığma bir kilisenin 2009 L'Aquila depremi sırasındaki performansını değerlendirmiştir. Preciado vd. [3] doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemini kullanarak Meksika'da bulunan tarihi bir kilisenin hasar analizlerini gerçekleştirmiştir. Gencer vd. [4] hellenistik kulelerde duvar profilleri ve açıklık tiplerine bağlı olarak yanal yüklemeye bağlı düzlem içi ve düzlem dışı duvar davranışını incelenmiştir. Lagomarsino vd. [5] PERPETUATE isimli bir proje kapsamında kültürel mirasın depremden korunması için performansa dayalı bir yaklaşım önerisi getirmiştir. Kazaz ve Kocaman [6] tarihi bir camide sismik kapasite değerlendirmesi çalışması yürütmüştür. Çakır vd. [7] 2011 Van depremi sırasında hasar gören tarihi yapılarda performans değerlendirmesi yapmış ve iki farklı tarihi yapı için performans analizleri gerçekleştirmiştir. Lagomarsino ve Cattari [8] PERPETUATE projesi kapsamında geliştirilen performans değerlendirme yöntemini kullanarak tarihi yığma bir yapıda sismik performans analizi yapmıştır.

Genellikle tarihi yapılar yığma taşıyıcı sistemine sahip yapılardır ve bu tür yapıların deprem performansları çoğunlukla perde duvar gibi davranan düzlem içi yığma duvarların dayanımına ve davranışına bağlıdır. Tarihi yapıların deprem performansının değerlendirilmesi amacıyla birçok farklı yöntem geliştirilmiş veya var olan yöntemler tarihi yapıların performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Örneğin, Cardoso vd. [9] tarihi yapıların doğrusal olmayan davranışını göz önüne alan iteratif bir yöntem geliştirmiştir. Bento vd. [10] ise bu yöntemi

kullanarak yığma bir yapının performansını değerlendirmiştir. Ademovic vd. [11], performans esaslı öteleme analizi yardımıyla tarihi bir yığma binanın deprem performansını belirlemeye çalışmış ve çalışma sonucunda, çok karmaşık veya kapsamlı modellerin yerine basit modellerin de yeterli doğrulukta sonuç verebileceği göstermiştir. Minghini vd. [12] 2012 Emilia depreminde hasar gören 50 m yüksekliğindeki yığma bir bacadın deprem performansı hem doğrusal hem de doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Avossa and Malangone [13] yığma yapıların performanslarını belirlemek amacıyla Drucker-Prager akma yüzeyi ve tanımlı bir basınç göçme yüzeyi arasındaki etkileşimi dikkate alan bir beton modeli önermiştir. Korkmaz vd. [14] ise tarihi bir okulun deprem performansını belirlemek amacıyla artımsal itme analizi yöntemini kullanmışlar ve yapının performansını belirlemiştir. Bu çalışmada, matematiksel modelleme ve sonlu elemanlar analizi yardımı ile tarihi yapıların sismik performanslarının belirlenmesinde izlenebilecek basitleştirilmiş bir performans değerlendirme yöntemi sunulmuştur. Ayrıca, çalışma kapsamında sunulan bu değerlendirme yöntemi kullanılarak 2011 Van Depremi sırasında hasar gören tarihi Kaya Çelebi Cami'nin deprem performansı incelenmiştir.

## 2. TARİHİ YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ BİR YÖNTEM (A SIMPLIFIED MODEL FOR EVALUATION OF STRUCTURAL PERFORMANCE OF HISTORICAL STRUCTURES)

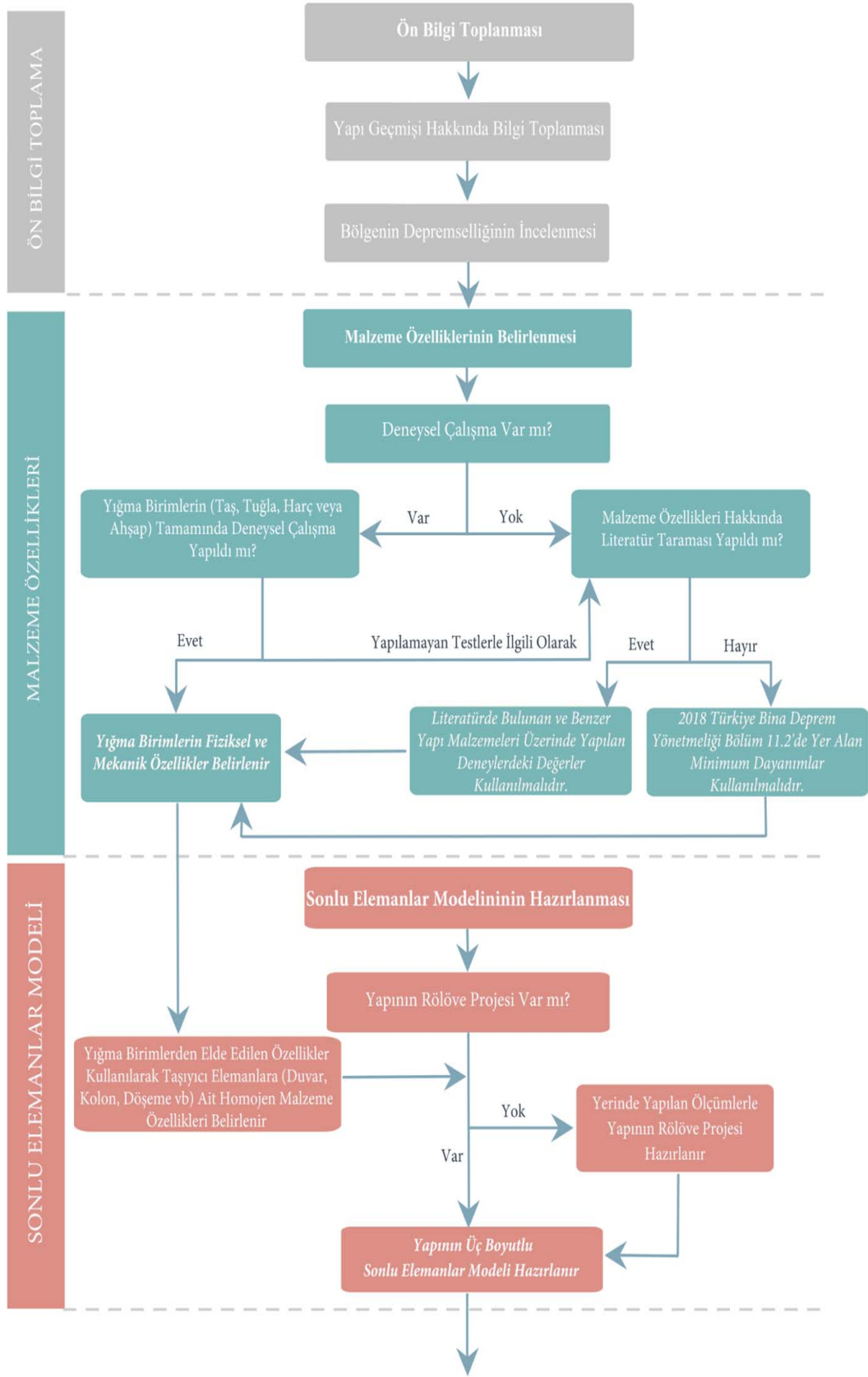
Tarihi yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde aşağıdaki gibi performans esaslı basitleştirilmiş bir yaklaşım ve hesap adımları takip edilebilir (Şekil 1).

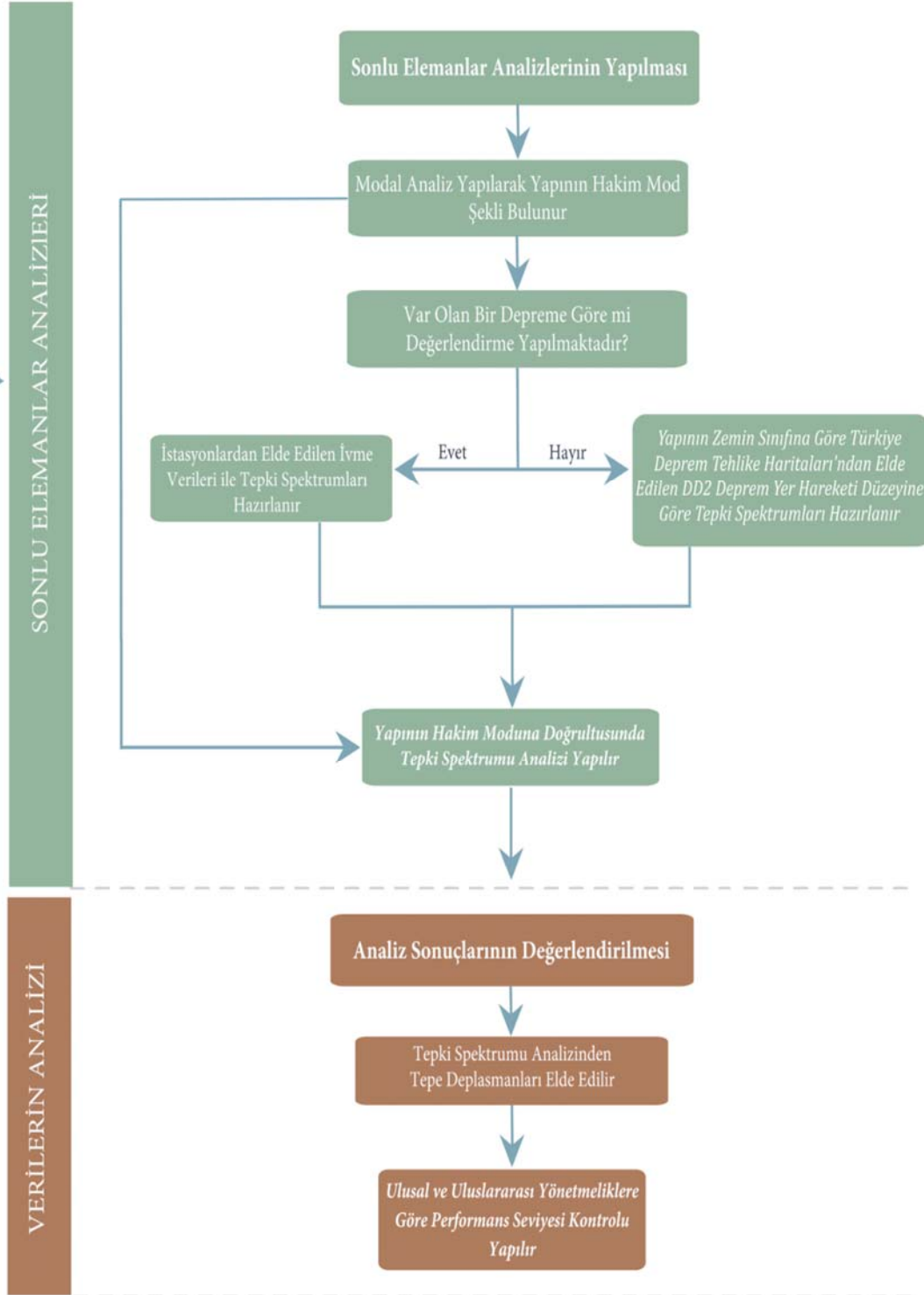
### Adım 1: Ön Bilgi Toplama

Yapısal performans değerlendirme çalışmalarının ilk aşamasında yapının geçmişi hakkında bilgi toplama çalışmaları yapılmalıdır. Elde edilen bilgiler sayesinde yapının geçmişte yaşadığı muhtemel değişiklikler, onarımlar, yenilemeler ve güçlendirmeler belirlenmelidir. Ayrıca, ön bilgi toplama çalışmalarında, incelenen yapının bulunduğu bölgedeki mevcut deprem tehlikesinin değerlendirilmesi yapılmalı ve bölgeyi genel olarak etkileyen tarihi depremler ve bölgede oluşan son depremlerle bölgenin depremselliği incelenmelidir.

### Adım 2: Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Tarihi yapılarda duvar, kolon, fil ayağı veya döşeme gibi taşıyıcı elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan belirlemek oldukça zordur. Bu nedenle genel olarak bir taşıyıcı elemanı oluşturan yığma birimlerin tek tek özelliklerinin belirlenmesi ve ardından bu malzemelerin taşıyıcı elemandaki yoğunluklarını dikkate alarak bütünü temsil edecek bir kompozit malzeme tanımlanması genel bir yaklaşımdır [15]. Bu yaklaşımla öncelikle taşıyıcı elemanları oluşturan malzemelerin ayrı ayrı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada öncelikle deneysel çalışmalara önem verilmesi ve sonlu elemanlar analizinde kullanılmak üzere malzemelerin mekanik özellikleri belirlenir.





**Şekil 1.** Tarihi yapıların deprem performansının belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem  
(Simplified method for determining the seismic performance of historical structures)

Ancak tarihi yapılardan numune alınmasının zor olması veya deneylerin yapılamaması durumunda malzeme özellikleri hakkında literatür taraması yapılması gerekmektedir. Literatür taraması sonucunda literatürde benzer yapı malzemeleri hakkında deneysel verilere ulaşılamaması durumunda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) [16] Bölüm 11.2’de yer alan minimum dayanımlar kullanılmalıdır.

#### Adım 3: Sonlu Elemanlar Modelinin Hazırlanması

Yapısal performans değerlendirmesi çalışmalarında sonlu elemanlar modelinin yapıyı en iyi şekilde temsil edecek bir model olmasına özen gösterilmelidir. Bu nedenle sonlu elemanlar modelinin hazırlanmasında öncelikle değerlendirme yapılacak tarihi yapının rölöve projesinin olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eğer yapının rölöve projesi yok ise yerinde yapılacak ölçümlerle yapının rölöve projesinin hazırlanması önerilmektedir. Tarihi yapıların sonlu elemanlar modelleri hazırlanırken üç temel yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan ilki mikro modelleme, ikincisi homojenleştirilmiş mikro modelleme ve üçüncüsü ise makro modelleme yaklaşımının kullanılmasıdır (Şekil 2).

Makro modelleme çalışmalarında homojen kompozit modelin elastisite modülü aşağıda verilen Eş. 1, Eş. 2 ve Eş. 3 yardımıyla belirlenmelidir [17]. Burada,  $E_t$  yığma elemanların elastisite modülünü,  $E_h$  harcın elastisite modülünü,  $t_t$  yığma elemanların kalınlığını,  $t_h$  harcın kalınlığını,  $\nu_t$  yığma birimlerin Poisson oranını,  $\nu_h$  harcın Poisson oranını,  $\psi_t$  ve  $\psi_h$  sırasıyla yığma elemanların ve harcın hacim oranını temsil etmektedir.

$$\frac{1}{E_d} = \frac{\psi_t}{E_t} + \frac{\psi_h}{E_h} + 2\psi_t\psi_h \left( \frac{\nu_t E_h - \nu_h E_t}{\psi_t(1-\nu_h)E_t + \psi_h(1-\nu_t)E_h} \right) \left( \frac{\nu_h}{E_h^2} - \frac{\nu_t}{E_t^2} \right) \quad (1)$$

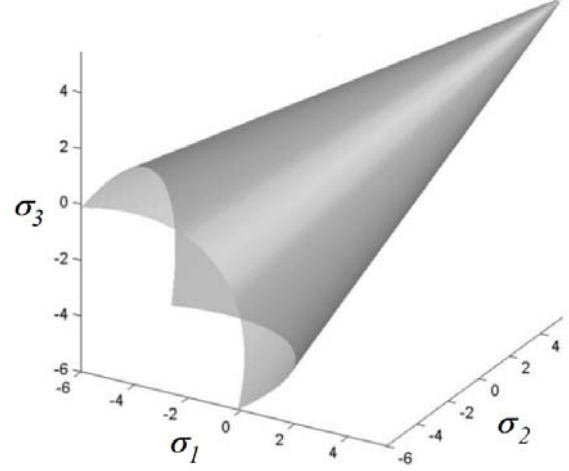
$$\psi_t = \frac{t_t}{t_t + t_h} \quad (2)$$

$$\psi_h = \frac{t_h}{t_t + t_h} \quad (3)$$

#### Adım 4: Sonlu Elemanlar Analizleri

Performans değerlendirme çalışmalarının üçüncü aşamasında sonlu elemanlar analizlerinin yapılması gerekmektedir. Sonlu elemanlar analiz çalışmalarında tarihi yapıların davranışını daha iyi anlayabilmek amacıyla doğrusal olmayan malzeme modellemesi yapılması önerilmektedir. Bu aşamada yığma taşıyıcı elemanların

çekme dayanımlarının düşük ve basınç dayanımlarının yüksek olması sebebiyle tarihi yapıları oluşturan malzemelerin kırılma durumları dikkate alınarak Drucker-Prager kırılma modeli [18] uygulanabilir (Şekil 3).

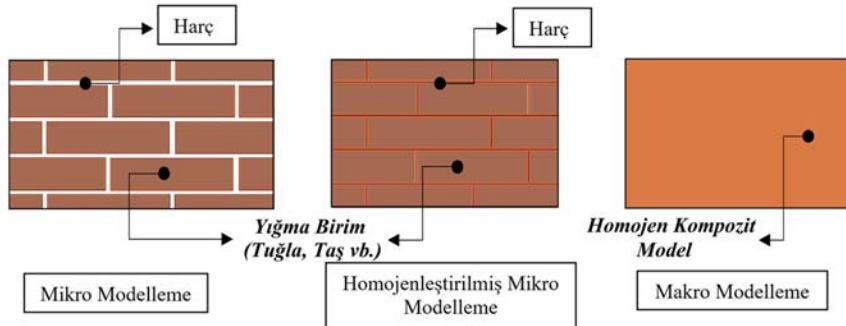


Şekil 3. Drucker-Prager akma yüzeyi [18]  
(Drucker-Prager yield surface)

Sonlu elemanlar analizlerinin birinci aşamasında modal analiz yapılarak yapının hakim modu belirlenir. Hakim mod belirlendikten sonra değerlendirme aşamasında tepki spektrumu analizlerine geçilir. Tepki spektrumu analizlerinde eğer var olan bir depreme göre değerlendirme yapıyor ise depremi kayıt altına alan istasyonlardan o depremin tepki spektrumları alınarak bu spektrumlar göre değerlendirme yapılır. Eğer değerlendirme çalışmalarında var olan bir deprem verisi kullanılmayacak ise yapının zemin sınıfı ve koordinatları dikkate alınarak Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları’ndan (TDTH) elde edilen DD2 deprem yer hareketi düzeyine göre tepki spektrumları hazırlanır ve bu spektrumlar kullanarak sonlu elemanlar analizleri yapılır.

#### Adım 5: Verilerin Değerlendirilmesi

Yapılan sonlu elemanlar analizlerinin ardından elde edilen verilerin yorumlanarak değerlendirmesi ve yapının performansının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada özellikle yapının tepe deplasmanlarının değerlendirilmesi ve deplasmana dayalı değerlendirme çalışmalarının yürütülmesi önerilmektedir. Bu aşamada sınır görelî kat



Şekil 2. Sonlu elemanlar modelinin hazırlanmasında kullanılan teknikler [15]  
(Techniques used in the preparation of the finite element model)

ötelemeleri belirlenebilir ve belirlenen değerler yönetmeliklerde verilen sınır değerlere göre kontrol edilir. Mevcut bir yığma duvarın veya yapının değerlendirilmesi sırasında doğrusal olmayan değerlendirme kullanıldığında, farklı yönetmeliklerde yer alan performans seviyeleri ve bu performans seviyelerine karşılık gelen sınır değerler kullanılabilir. Bu sınır değerler, performansa dayalı değerlendirme aşamasında kullanılarak yapıların performans seviyeleri belirlenmektedir. Yığma yapıların performans seviyelerinin farklı yönetmeliklere göre değerlendirmesi Tablo 1-Tablo 3 özetlenmiştir [19-22].

### 3. KAYA ÇELEBİ CAMİ'NİN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF KAYA ÇELEBİ MOSQUE)

Çalışmanın bu bölümünde Van Gölü yakınlarında inşa edilmiş olan tarihi Kaya Çelebi Cami ele alınmış ve çalışma kapsamında sunulan basitleştirilmiş değerlendirme yöntemi

kullanılarak yapının 2011 Van Depremi'ndeki performansı değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Ön Bilgi Toplaması (Collecting Preliminary Information)

##### 3.1.1. Yapı geçmişi hakkında bilgi toplanması (Collecting preliminary information about the structure)

Van'ın Ortakapı Mahallesi'nde yer alan tarihi Kaya Çelebi Cami, vakfiyesine göre Kaya Çelebi Zade Koçi Bey tarafından 1660 tarihinde yapımına başlanmış ve Koçi Bey'in idam edilmesinin ardından 1663 yılında Cem Dedemoğlu Mehmet Bey tarafından tamamlanmıştır [23]. Tarihi Hüsrev Paşa Cami'nin doğusunda yer alan Kaya Çelebi Cami tarihi kayıtlara göre 1915 yılında tahrip olmuş ve 1993 Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından onarılmıştır (Şekil 4). Cami, kare planlı olup tek kubbe ile örtülüdür. Ayrıca, yapının kuzey bölümünde yer alan giriş kısmında beş gözlü son cemaat bölümü yer almaktadır. Caminin kuzey

**Tablo 1.** ASCE 41'e göre yığma yapılarda performans seviyeleri  
(Performance levels of masonry structures according to ASCE 41)

Yönetmelik	Yapısal Davranış	Performans Seviyeleri		
		Hemen Kullanım (HK) (%)	Can Güvenliği (CG) (%)	Göçme Öncesi (GÖ) (%)
ASCE 41	<i>Kayma</i>	0,1	0,75	1
	<i>Devrilme</i>	0,1	0./h <sub>eff</sub> ve <2,25%	100Δ <sub>tc,r</sub> /h <sub>eff</sub> ve <2,25%

*h<sub>eff</sub>* = Yanal kuvvetin ortaya çıkma yüksekliği  
*Δ<sub>tc,r</sub>* = Tabandaki kırılmanın başlangıcı ile ilişkili yanar deplasman

**Tablo 2.** FEMA 273 ve FEMA 356'a göre yığma yapılarda performans seviyeleri  
(Performance levels of masonry structures according to FEMA 273 ve FEMA 356)

Yönetmelik	Yapısal Davranış	Performans Seviyeleri				
		Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar		
		Hemen Kullanım (HK) (%)	Can Güvenliği (CG) (%)	Göçme Öncesi (GÖ) (%)	Can Güvenliği (CG) (%)	Göçme Öncesi (GÖ) (%)
FEMA 273	<i>Kayma</i>	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8
	<i>Devrilme</i>	0,1	0,3h <sub>eff</sub> /L	0,4h <sub>eff</sub> /L	0,6h <sub>eff</sub> /L	0,8h <sub>eff</sub> /L
FEMA 356	<i>Kayma</i>	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8
	<i>Devrilme</i>	0,1	0,3h <sub>eff</sub> /L	0,4h <sub>eff</sub> /L	0,6h <sub>eff</sub> /L	0,8h <sub>eff</sub> /L

*h<sub>eff</sub>* = Yanal kuvvetin ortaya çıkma yüksekliği  
*L* = Kolon veya duvarın yüksekliği

**Tablo 3.** Eurocode 8'e göre yığma yapılarda performans seviyeleri  
(Performance levels of masonry structures according to Eurocode 8)

Yönetmelik	Yapısal Davranış	Performans Seviyeleri				
		Birincil Elemanlar		İkincil Elemanlar		
		Hasar Sınırı (HS) (%)	Önemli Hasar (ÖH) (%)	Göçme Öncesi (GÖ) (%)	Önemli Hasar (ÖH) (%)	Göçme Öncesi (GÖ) (%)
Eurocode 8	<i>Düzlem içi (Kayma Kontrollü)</i>	-	0,40H <sub>0</sub> /D	0,53H <sub>0</sub> /D	0,60H <sub>0</sub> /D	0,80H <sub>0</sub> /D
	<i>Düzlem dışı (Eğilme Kontrollü)</i>	-	0,80H <sub>0</sub> /D	1,06H <sub>0</sub> /D	1,20H <sub>0</sub> /D	1,60H <sub>0</sub> /D

*H<sub>0</sub>* = Eğilme kapasitesinin elde edildiği bölüm ile ters eğilme noktası arasındaki mesafe  
*D* = Duvarın düzlemsel yatay boyutu (derinlik)



batı köşesinde minare yer almaktadır. Minare kare kaideye oturan ve silindirik gövdeli bir geometriye sahiptir. Bölgeye özgü kesme taşla inşa edilen caminin kapı ve pencerelerinde farklı bitkisel ve geometrik süslemeler yer almaktadır. Osmanlı devrinin önemli yapılarından biri olan Kaya Çelebi Cami 2011 Van depreminden etkilenmiş ve yapının farklı bölümlerinde ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Özellikle, depremden sonra yapılan incelemelerde yapının minaresinin üst bölümünün yıkıldığı, son cemaat bölümünde yer alan kubbelerde ve kolonlarda çatlaklar meydana geldiği ve caminin kubbe kasnağında ciddi malzeme kayıplarının meydana geldiği belirlenmiştir [23].

### 3.1.2. Bölgenin depremselliğinin incelenmesi (Investigation of seismicity of the region)

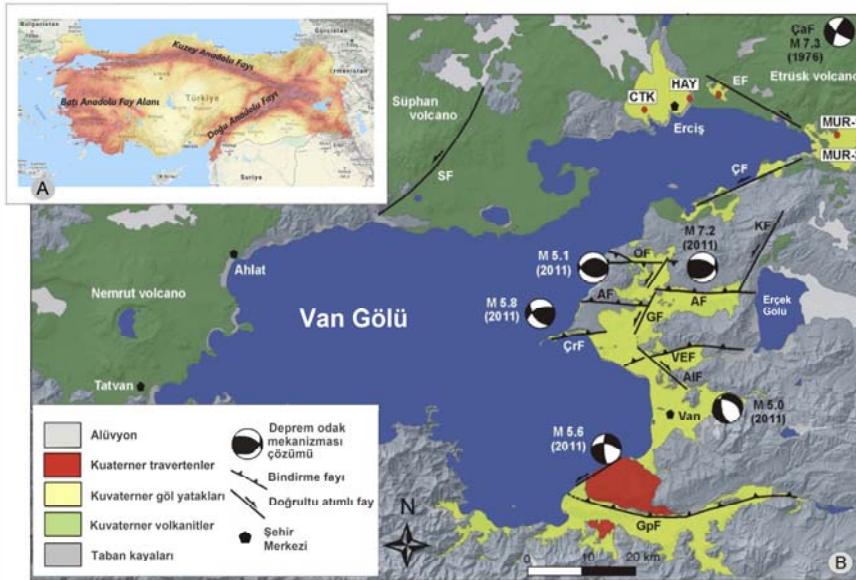
Sismotektonik açıdan Avrasya ile Arap levhalarının sıkışma bölgesinde yer alan Van, Doğu Anadolu'nun en önemli

deprem yörelerinden birisi durumundadır [24]. Sismolojik bakımdan ve Kuzey Anadolu Faz Zonu ile Doğu Anadolu Fay Zonu'nun kesişme sahasında bulunan yöre birçok farklı fayın etkisi altındadır (Şekil 5).

Bölgenin depremselliğinin incelenmesi çalışmalarında Van ve yakın çevresini etkileyen depremler incelenmiştir. Van ve yakın çevresi, tarihsel çağlarda pek çok uygarlığın hüküm sürdüğü bir bölge olması nedeniyle tarihsel dönem kayıtlarının fazla olduğu bölgelerimizden biridir. Tarihsel kayıtlar incelendiğinde bölgede tarihsel dönemde 16 adet hasarlı deprem meydana geldiği anlaşılmaktadır (Tablo 4). Aletsel dönemde kaydedilen depremler incelendiğinde ise, 1900-2020 yılları arasında Van şehir merkezinden 100 km'lik bir çapta 83 adet  $M>4$  büyüklüğünde, 13 adet  $M>5$  büyüklüğünde, 1 adet  $M>6$  ve 1 adet  $M>7$  olmak üzere toplamda 439 deprem meydana gelmiştir (Şekil 6).



Şekil 4. Tarihi Kaya Çelebi Cami (Historical Kaya Çelebi Mosque)



Şekil 5. A) Türkiye'nin önemli fay hatları B) Van Gölü Havzası'nın jeolojik haritası: ÇaF: Çaldıran Fayı; SF: Süphan Fayı; EF: Erciş Fayı; ÇF: Çakırbey Fayı; KF: Karasu Fayı; ÖF: Özyurt Fayı; AF: Alaköy Fayı; GF: Gülsünler Fayı; VEF: Van-Everek Fayı; AIF: Alabayır Fayı; GpF: Gürpınar Fayı [25]. ((A) Major earthquake faults of Turkey. B) Geological map of the Lake Van Basin: ÇaF: Çaldıran Fault; SF: Süphan Fault; EF: Erciş Fault; ÇF: Çakırbey Fault; KF: Karasu Fault; ÖF: Özyurt Fault; AF: Alaköy Fault; GF: Gülsünler Fault; VEF: Van-Everek Fault; AIF: Alabayır Fault; GpF: Gürpınar Fault.)



**Tablo 4.** Van ve yakın çevresinde tarihsel dönemlerde hasara yol açmış bazı büyük depremler [26]  
(Some severe earthquakes that caused damage in historical periods in and near Van)

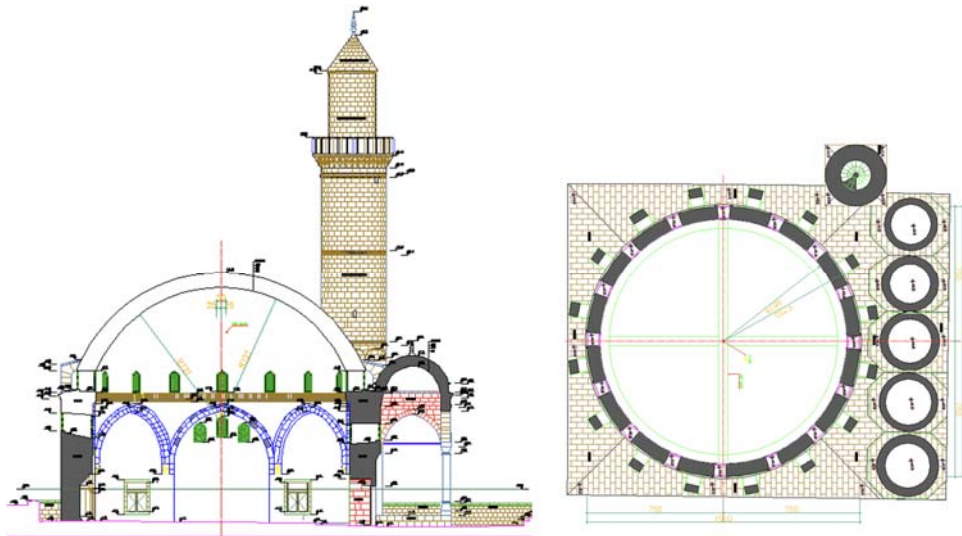
Yıl	Yer	Büyükölük
1110	Van	VIII
1245	Ahlat, Van, Bitlis, Muş	VII
1276	Ahlat, Erciş, Van	VIII
1439	Van, Bitlis, Muş	VI
1647	Van, Tebriz, Muş, Bitlis	IX
1685	Van	VI
1701	Van ve yöresi	VIII
1715	Van ve Erciş yöresi	VIII
1871	Van Yöresi	VII
1881	Van, Bitlis, Muş	IX

### 3.2. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi (Determination of Material Properties)

Çalışmanın ikinci aşamasında tarihi Kaya Çelebi Cami'nin inşasında kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışma yürütülmüştür. Çalışma kapsamında deney yapma imkanı bulunmadığı için malzeme özellikleri hakkında literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasında tarihi yapılarla ilgili yapılan deneysel çalışmalar araştırılmış ve tarihi Kaya Celebi Cami'ye benzer yapılarla ilgili araştırmalar yapılmıştır. Yapılan literatür çalışması sonucunda yapıda kullanılan malzemelerle ilgili fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 5'de verilmiştir.

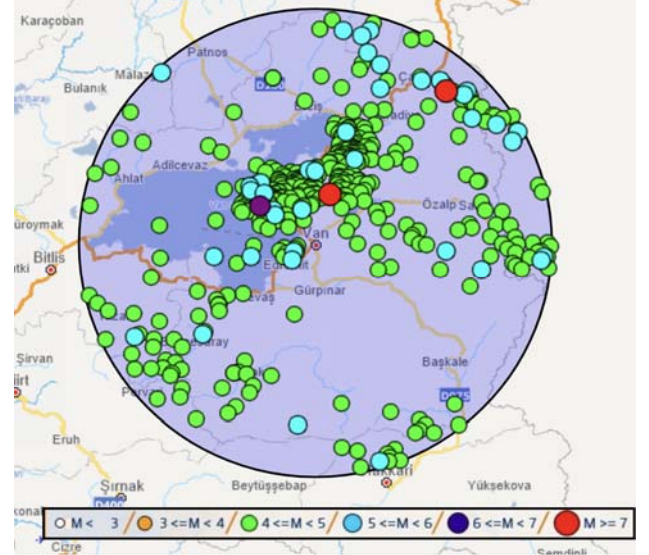
### 3.3. Sonlu Elemanlar Modelinin Hazırlanması (Preparation of the Finite Element Model)

Sonlu elemanlar modelinin hazırlanması aşamasında birinci adımda yapının rölöve projesi araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda tarihi Kaya Çelebi Cami'nin restorasyon çalışmalarına yönelik hazırlanmış rölöve projeleri literatürden bulunmuş (Şekil 7) [23] ve bu projeler dikkate alınarak yapının sonlu elemanlar modeli hazırlanmıştır.



**Şekil 7.** Tarihi Kaya Çelebi Cami rölöve projeleri [23] (Historical Kaya Çelebi Mosque survey projects)

Sonlu elemanlar modeli hazırlanırken ANSYS Workbench [27] programı kullanılmış ve modelleme aşamasında ANSYS kütüphanesinde yer alan Solid186 elemanı kullanılmıştır. Yapının sonlu eleman modelinde 1044483 düğüm noktası ve 703946 eleman kullanılmıştır (Şekil 8).

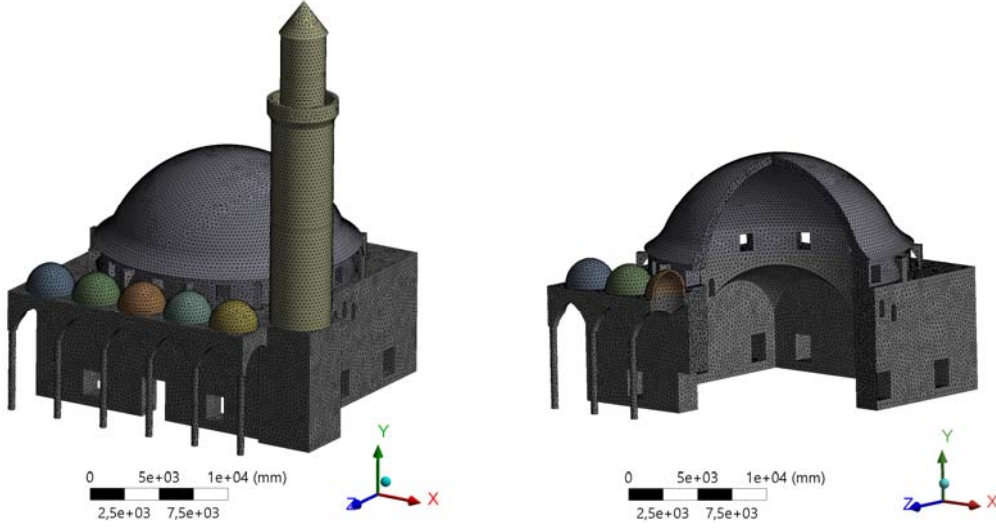


**Şekil 6.** Van Şehir Merkezinden 100 km'lik bir çapta 1900-2020 yılları arasında meydana gelmiş Aletsel Dönem Depremleri (M>4) [26]

(Instrumental Period Earthquakes (M>4) that occurred between 1900-2020 at a diameter of 100 km from Van City Center)

**Tablo 5.** Modellerde kullanılan malzemelerin mühendislik özellikleri  
(Engineering properties of the materials)

Malzeme Tipi	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Kütle Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
Taş	8500	0,20	2300
Tuğla	3500	0,22	1850



Şekil 8. Yapının üç boyutlu sonlu elemanlar modeli (3D finite element model of the structure)

### 3.4. Sonlu Elemanlar Analizleri (Finite Element Analyses)

#### 3.4.1. Modal analiz (Modal analysis)

Sonlu elemanlar analizlerin birinci aşamasında serbest titreşim analizlerine odaklanılmış ve 30 modda modal analiz yapılarak yapının mod şekilleri ve titreşim periyotları belirlenmiştir. Kaya Çelebi Cami için yapılan modal analiz sonucunda yapının ilk dört modunun minarede meydana geldiği 5. modda yapının Z doğrultusunda ve 6. modda ise X doğrultusunda öteleme şeklinde meydana geldiği belirlenmiştir. Yapının ilk dört modunda period değerleri 0.21017 sn ile 0.04840 sn arasında değişirken 5. Modda 0.04178 sn ve 6. modda 0.03900 sn olduğu belirlenmiştir. Şekil 9'de yapının ilk altı moduna ait mod şekilleri ve Tablo 6'de ise ilk altı moda ait frekans değerleri ve kütle katılım oranları verilmektedir.

#### 3.4.2. Tepki spektrumu analizi (Response spectrum analysis)

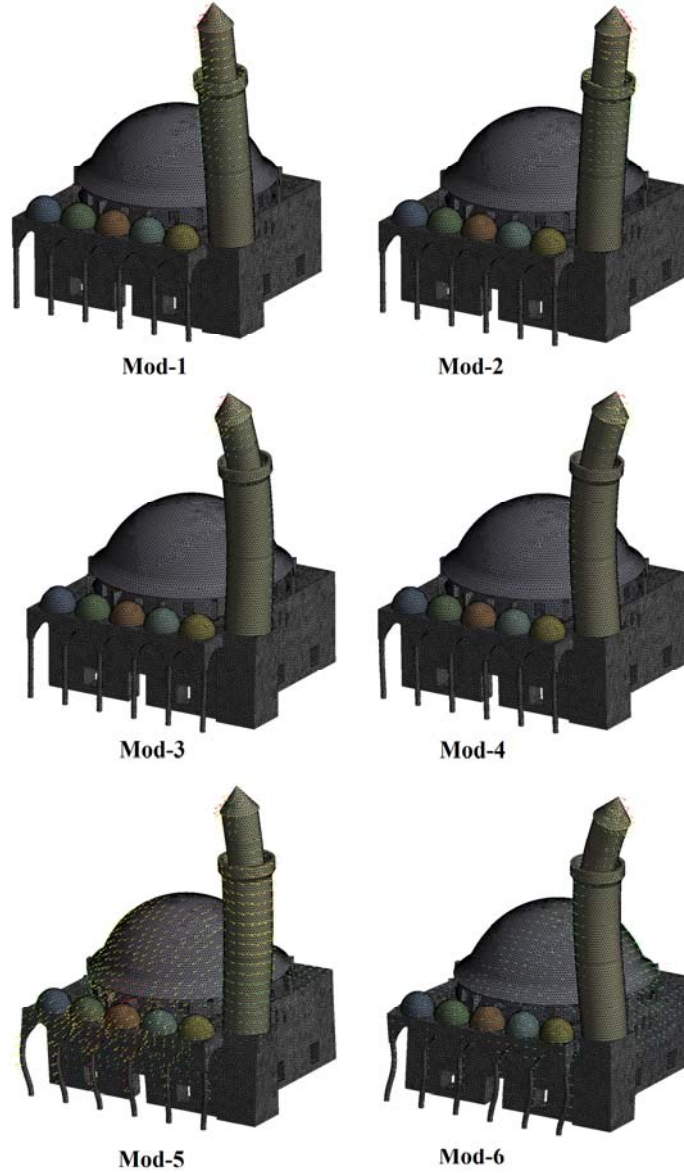
Sonlu elemanlar analizlerin ikinci aşamasında tepki spektrumu analizleri yapılmıştır. Performans değerlendirme çalışmalarının en önemli adımlarından biri olan tepki spektrumu analizlerinde öncelikle yapılacak analizin var olan bir depreme göre mi yoksa Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'ndan elde edilecek spektrumlara göre mi yapılması gerektiğine karar verilmelidir. Bu çalışma kapsamında değerlendirmenin Türkiye Deprem Tehlike Haritaları'ndan elde edilen 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyine (DD2) göre yapılmasına karar verilmiştir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak elde edilecek spektrumlarda en önemli adımların başında yapının bulunduğu zeminin sınıfının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle kamu kurum ve kuruluşları veya yetkin mühendislik firmaları tarafından bölgede yapılmış zemin etüt çalışmaları araştırılmıştır. Araştırma sonucunda herhangi bir zemin etüt raporuna ulaşılamamış ve literatür taramasına geçilmiştir. Yapılan detaylı literatür çalışması

sonucunda, tarihi Kaya Çelebi Cami'nin göl, akarsu ve karasal çökellerin tekrarlanmasından oluşan ve Van Gölü Formasyonu olarak bilinen gevşek zemin üzerinde yer aldığı belirlenmiştir [28]. Özvan vd (2005) [29] tarafından yapılan çalışmada Van şehir merkezinin kalın çökel-alüvyon zemine sahip olduğu ve yeraltı suyu seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrasında Yıldız Teknik Üniversitesi tarafından sahada yapılan teknik incelemede 30 m zemin için ortalama kayma dalga hızı değeri  $((V_s)_{30})$  300 m/sn olarak alınmıştır [30]. Yapılan detaylı literatür taraması sonucunda tarihi Kaya Çelebi Cami'nin bulunduğu zeminin yerel zemin sınıfı TBDY-2018'e göre ZD sınıfı (orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları) olarak kabul edilmiştir. Literatür taraması sonucunda yapılan kabul ile TDTH kullanılarak DD2 deprem düzeyine ait tasarım spektrumu oluşturulmuştur (Şekil 10).

Tepki spektrumlarının oluşturulmasının ardından yapının mod şekilleri dikkate alınarak tepki spektrumu analizlerine geçilmiştir. Modal analiz sonucunda elde edilen mod şekilleri (Şekil 9) ve kütle katılım oranları (Tablo 6) incelendiğinde ilk dört modun lokal modlar olduğu ve minarenin mod şekilleri olarak ortaya çıktığı, 5. ve 6. modların ise global modlar olduğu ve yapının ana gövdesinin mod şekilleri olduğu belirlenmiştir. Global mod şekillerine bakıldığında iki modun birbirine oldukça yakın frekans değerlerine sahip olduğu ve farklı yatay doğrultularda olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle tepki spektrumu analizlerinde yapısal davranışı tamamen anlayabilmek için yapının minareli durumu ve minaresiz durumu dikkate alınarak Z ve X doğrultusunda ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiştir.

### 3.5. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of the Numerical Results)

Performans değerlendirme çalışmasının son aşamasında tepki spektrumu analizlerinden elde edilen sonuçların



Şekil 9. İlk altı moda ait mod şekilleri (The first six mode shapes)

**Tablo 6.** Modal analiz sonucunda elde edilen ilk altı moda ait frekans değerleri ve kütle katılım oranları  
(The frequencies and mass participation ratios of the first six modes obtained from modal analysis)

Mod	Frekans (Hz)	Periyot (s)	KÜTLE KATILIM ORANI (%)		
			X Yönü	Z Yönü	Y Yönü
1	4,75799	0,21017	2,17E-03	7,38E-02	1,57E-06
2	5,07258	0,19714	7,06E-02	1,78E-03	2,43E-05
3	19,5408	0,05117	1,12E-03	8,36E-02	9,89E-05
4	20,6584	0,04840	0,131004	2,31E-04	7,60E-04
5	23,9313	0,04178	1,60E-03	0,489504	8,12E-04
6	25,6392	0,03900	0,489992	6,55E-03	2,07E-04

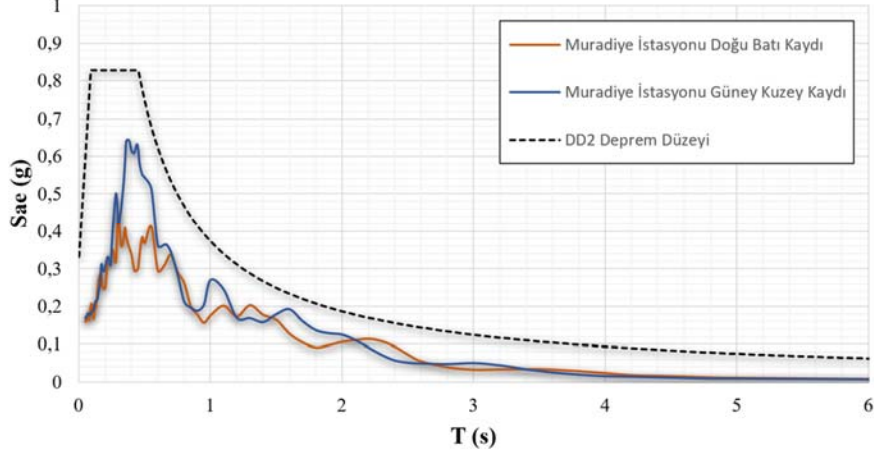
değerlendirilmesine geçilmiştir. Minareli durum dikkate alınarak yapılan analizler sonucunda oluşan maksimum yanal deplasmanlar incelendiğinde, Z doğrultusunda yapılan analizde maksimum yanal deplasman yapının minaresinde meydana geldiği ve 110,890 mm değerine ulaştığı belirlenmiştir. X doğrultusunda yapılan analizde ise

maksimum yanal deplasmanın yine minarenin tepe noktasında meydana geldiği ve maksimum 99,417 mm değerine ulaştığı anlaşılmıştır (Şekil 11). Yapının minaresiz modeli üzerinde yapılan analizler dikkate alındığında ise, yapıda oluşan maksimum yanal deplasmanın Z doğrultusunda ve X doğrultusunda son cemmat bölümü ile

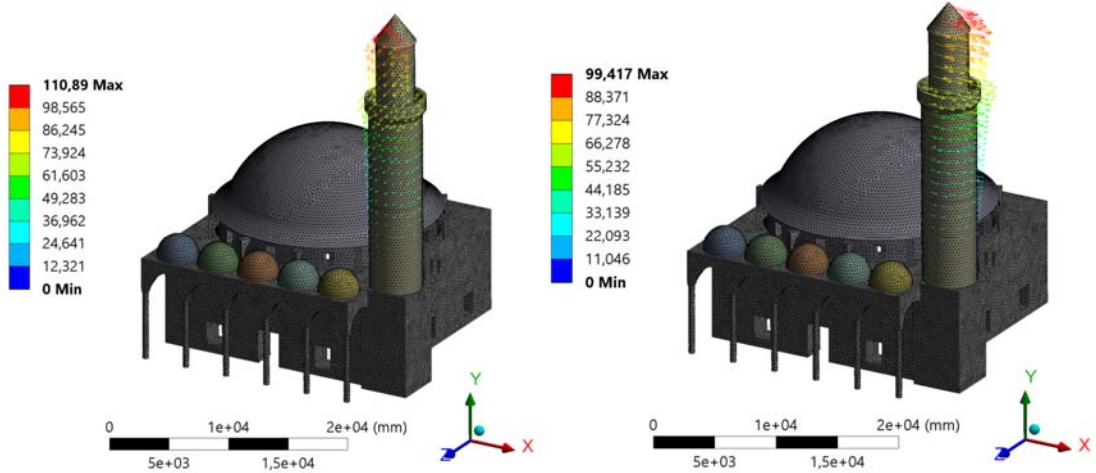


kubbenin kesişim alanlarına yakın bölgelerde meydana geldiği ve sırasıyla 18,806 mm ve 18,078 mm (Şekil 12) değerlerine ulaştığı görülmektedir. Tepki spektrum analizlerinden elde edilen sonuçlar, performansa dayalı

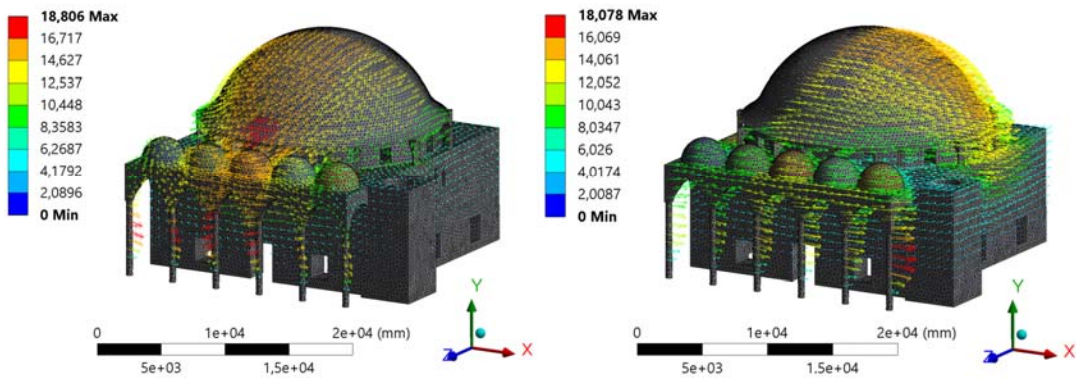
değerlendirme yapılabilmesi için öteleme oranı (%) olarak hesaplanmıştır. Öteleme oranları hesaplanırken yapının minareli ve minaresiz durumlarında kritik olabilecek her noktası için ayrı bir hesaplama yapılmış ve elde edilen her



Şekil 10. DD2 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumu ve Muradiye İstasyonundan Alınan Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Tepki Spektrumları (Design spectra for DD2 Seismic Hazard Levels and Response Spectra for the N-S and E-W records for the Muradiye Station)



Şekil 11. DD2 deprem düzeyi için Z ve X doğrultusunda minarede oluşan yatay deplasman (mm) (Maximum lateral displacement (mm) on the minaret in the Z and X direction obtained from DD2 seismic hazard level)



Şekil 12. DD2 deprem düzeyi için Z ve X doğrultusunda yapıda oluşan yatay deplasman (mm) (Maximum lateral displacement on the structure in the Z and X direction obtained from DD2 seismic hazard level)

**Tablo 7.** DD2 deprem düzeyi için öteleme oranları (Drift ratio for DD2 seismic hazard level)

<i>Öteleme Oranları (%)</i>	<i>Minareli Model</i>	
	<i>Z Doğrultusu</i>	<i>X Doğrultusu</i>
<i>Doğrultu</i>		
<i>Minare Tepe Noktası</i>	0,33	0,30
<i>Ana Kubbe Tepe Noktası</i>	0,13	0,12
<i>Son Cemaat Bölümü Kubbeleri</i>	0,17	0,16
<i>Son Cemaat Bölümü Taşıyıcı Kolonları</i>	0,21	0,17

bir öteleme oranı ayrı ayrı incelenmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda kritik bölgelerde elde edilen öteleme oranları Tablo 7’de verilmiştir.

DD2 deprem düzeyi için elde edilen öteleme oranları çalışmada sunulan standartlardaki limit değerlerle karşılaştırıldığında; Z doğrultusunda minarede elde edilen öteleme oranlarının ASCE 41 [19] standartına göre Hemen Kullanım (HK) seviyesini, FEMA 273 [20] ve FEMA 356 [21] standartlarına göre Can Güvenliği (CG) seviyesini ve Eurocode 8 [22] standartına göre Önemli Hasar (ÖH) sınır değerini aştığı belirlenmiştir. X doğrultusunda ise, ASCE 41 [19] standartına göre Hemen Kullanım (HK) seviyesini aştığı, FEMA 273 [20] ve FEMA 356 [21] standartlarına göre Can Güvenliği (CG) seviyesi sınırında olduğu ve Eurocode 8 [22] standartına göre Önemli Hasar (ÖH) sınır değerini aştığı belirlenmiştir. Z ve X doğrultusunda ana kubbe tepe noktasında, son cemaat bölümü kubbelerinin üst bölümlerinde ve son cemaat bölümü taşıyıcı kolonlarında meydana gelen öteleme oranlarına bakıldığında, inceleme yapılan tüm bölümlerin ASCE 41 [19], FEMA 273 [20] ve FEMA 356 [21] standartlarına göre hemen kullanım seviyesinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Tarihi yapılar geçmişten devraldığımız ve gelecek kuşaklara güvenle devretmemiz gereken kültürel miraslarımızdır. Bu nedenle tarihi yapıları en uygun şekilde korumak ve uygun formlarda kullanımlarını sağlayarak yok olmalarını önlemek en önemli görevlerimizden biridir. Tarihi yapılar inşaat tarihleri, yapı teknikleri ve kullanılan malzemelerin davranışı dikkate alındığında sismik açıdan hassas yapılardır. Bu nedenle, bu yapıların sismik tepkileri deplasman tabanlı tasarım prensiplerine dayanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında tarihi yapıların deprem performansını belirlemek amacıyla deplasmana dayalı basitleştirilmiş bir yöntem sunulmuştur. Sunulan yöntemde değerlendirme çalışmaları beş ana aşamada yapılmış ve her bir aşamada takip edilmesi gereken adımlar detaylı açıklanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise sunulan değerlendirme yöntemi kullanılarak 2011 Van depremi sonrasında hasar gören tarihi Kaya Çelebi Cami’nin performansı incelenmiştir. Yapılan performans değerlendirme çalışmalarında DD2 deprem düzeyine göre hazırlanan tepki spektrumu kullanılarak analizler yapılmış ve yapıda oluşan maksimum yanıl deplasmanlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların uluslararası

standartlarda belirtilen performans seviyelerine göre değerlendirilebilmesi için bulunan deplasman değerleri öteleme oranı olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan öteleme oranları uluslararası yönetmeliklerde kullanılan performans seviyeleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda yapının minaresinin sismik açıdan oldukça hassas olduğu ve Z doğrultusunda minarede elde edilen öteleme oranlarının ASCE 41 standartına göre Hemen Kullanım (HK) seviyesini, FEMA 273 ve FEMA 356 standartlarına göre Can Güvenliği (CG) seviyesini ve Eurocode 8 standartına göre Önemli Hasar (ÖH) sınır değerini aştığı belirlenmiştir. X doğrultusunda ise, ASCE 41 standartına göre Hemen Kullanım (HK) seviyesini aştığı, FEMA 273 ve FEMA 356 standartlarına göre Can Güvenliği (CG) seviyesi sınırında olduğu ve Eurocode 8 standartına göre Önemli Hasar (ÖH) sınır değerini aştığı belirlenmiştir. Z ve X doğrultusunda ana kubbe tepe noktasında, son cemaat bölümü kubbelerinin üst bölümlerinde ve son cemaat bölümü taşıyıcı kolonlarında meydana gelen öteleme oranlarına bakıldığında, inceleme yapılan tüm bölümlerin ASCE 41, FEMA 273 ve FEMA 356 standartlarına göre hemen kullanım seviyesinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Elde edilen tüm bu değerler 2011 Van Depremi sırasında yapıda meydana gelen hasar durumunu açıklamaktadır.

Çalışma kapsamında önerilen “Basitleştirilmiş Değerlendirme Yöntemi” nin var olan tarihi yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesinde etkili bir yöntem olacağı ve birçok farklı yapıda kullanılabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Makaleyi hazırlanmasında emeği geçen sayın Prof. Dr. Eren Uçkan’a teşekkürü bir borç bilirim.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Dogangun, A., Sezen, H., Seismic vulnerability and preservation of historical masonry monumental structures, Earthquake and Structures, 3 (1), 83-95, 2012.
2. Brandonisio, G., Lucibello, G., Mele, E., De Luca, A., Damage and performance evaluation of masonry churches in the 2009 L’Aquila Earthquake, Engineering Failure Analysis, 34, 693-714, 2013.
3. Preciado, A., Orduna, A., Bartoli, G., Budelmann, H., Façade seismic failure simulation of an old cathedral in Colima Mexico by 3D limit analysis and nonlinear finite



- element method, *Engineering Failure Analysis*, 49, 20-30, 2015.
4. Gençer F., Hamamcıoğlu-Turan M., Aktaş E., Investigation of in-plane and out-of-plane wall behavior related to lateral loading depending on wall profiles and opening types in Hellenistic Towers, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (1), 241-253, 2020.
  5. Lagomarsino, S., Modaresi, H., Pitilakis, K., Bosjlikov, V., Calderini, C., D'Ayala, D., Benouar, D., Cattari, S., PERPETUATE project: the proposal of a performance-based approach to earthquake protection of cultural heritage, *Advanced Material Research*, 133-134, 1119-1124, 2010.
  6. Kazaz İ., Kocaman İ., Seismic load capacity evaluation of stone masonry mosques, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (2), 557-573, 2018.
  7. Cakir, F., Uckan, E., Shen, J., Seker, B.S., Akbas, B., Seismic damage evaluation of historical structures during Van Earthquake, October 23, 2011, *Engineering Failure Analysis*, 58, 249-266, 2015.
  8. Lagomarsino, S., Cattari, S., PERPETUATE guidelines for seismic performance-based assessment of cultural heritage masonry structures, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13, 13-47, 2015.
  9. Cardoso, R., Lopes, M., Bento, R., Seismic evaluation of old masonry buildings. part I: method description and application to a case-study, *Engineering Structures*, 27, 2024-2035, 2005.
  10. Bento, R., Lopes, M., Cardoso, R., seismic evaluation of old masonry buildings. part II: analyses of strengthening solutions for a case-study, *Engineering Structures*, 27, 2014-2023, 2005.
  11. Ademovic, N., Hrasnica, M., Oliveira, D.V., Pushover analysis and failure pattern of a typical masonry residential building in Bosnia and Herzegovina, *Engineering Structures*, 50, 13-29, 2013.
  12. Minghini, F., Milani, G., Tralli, A., Seismic risk assessment of a 50 m high masonry chimney using advanced analysis techniques, *Engineering Structures*, 69, 255-270, 2013.
  13. Avossa, A.M., Malangone, P., Seismic Performance Assessment of Masonry Structures with a Modified Concrete Model, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13, 2693-2718, 2015.
  14. Korkmaz, M., Ozdemir, M.A., Kavali, E., Cakir, F., Performance-based assessment of multi-story unreinforced masonry buildings: The case of historical Khatib School in Erzurum, Turkey, *Engineering Failure Analysis*, 94, 195-213, 2018.
  15. Lourenço, P.B., Computational Strategy for Masonry Structures, Doktora Tezi, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 1996.
  16. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara
  17. Brencich, A., Gambarotta, L., Mechanical response of solid clay brickwork under eccentric loading. Part I: Unreinforced masonry, *Materials and Structures*, 38, 257-266, 2005.
  18. Drucker, D.C., Prager, W.J., Soil mechanics and plastic analysis or limit design, *Quarterly of Applied Mathematics*, 10 (2), 157-165, 1952.
  19. ASCE 41-13: Seismic Rehabilitation Standards Committee. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers, Reston, 2014.
  20. FEMA 273: NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, 1997.
  21. FEMA 356: Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings, Federal Emergency Management Agency, 2000.
  22. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Standard, 1998.
  23. Altunisik, A.C., Bayraktar, A., Genç, A.F., A Study On Seismic Behaviour Of Masonry Mosques After Restoration, *Earthquakes and Structures*, 10 (6), 1331-1346, 2016.
  24. Sezer, L.İ., Seismicity in the Van Seismotectonic Region, *Aegean Geographical Journal*, 19 (1), 67-84, 2010.
  25. Üner, S., Özsayın, E., Selçuk, A.S., Seismites as an indicator for determination of earthquake recurrence interval: A case study from Erciş Fault (Eastern Anatolia-Turkey), *Tectonophysics* 766, 167-178, 2019.
  26. AFAD, <https://deprem.afad.gov.tr/>. Yayın tarihi Mayıs 5, 2009. Erişim tarihi Aralık 11, 2020.
  27. ANSYS Workbench, ANSYS, Canonsburg, Pa.
  28. METU/EERC 201 1-04: 23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara.
  29. Özvan, A., Akkaya, İ., Tapan, M., Şengül, A., Van yerleşkesinin deprem tehlikesi ve olası bir depremin sonuçları, *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli-Türkiye, 1386-1393, 23 - 25 Mart 2005.
  30. Güney, D., 23 Ekim 2011 Van Depremi Teknik İnceleme Raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, 2011.