Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 27(3), 244-250, 2021

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Tarihi Başdurak Camisinin deprem analizi

Earthquake analysis of historical Basdurak Mosque

Pınar USTA[1*], *Özgür BOZDAĞ*[2]

[1] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
pinarusta@sdu.edu.tr

[2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
ozgur.bozdag@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 14.10.2019 Düzeltme Tarihi/Revision: 21.02.2020 doi: 10.5505/pajes.2020.31384
Kabul Tarihi/Accepted: 10.04.2020 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Yığma olarak inşa edilen tarihi yapılar, geçmişi ve günümüzü birbirine bağlayan, kuşaklar arasında bilgi ve kültür aktarımını sağlayan ve bu nedenle oldukça önem taşıyan yapılardır. Tarihi öneme sahip bu yapıların sahip olduğu önem nedeni ile bu eserlerin korunması son derece önem kazanmaktadır. Tarihsel ve kültürel mirasımızı oluşturan tarihi eserlerin korunması ve gelecek nesillere aktarımının sağlanması ancak detaylı bir şekilde incelenmesi, yapıda oluşabilecek sorunların önceden belirlenmesi ve çözüm yöntem ve tekniklerinin iyileştirilmesi durumunda mümkün olmaktadır. Bu makale çalışmasında incelenmek üzere tarihi önemi olan bir yığma cami seçilmiştir. Seçilen tarihi Cami, mimari boyutlarına uygun bir şekilde SAP2000 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Tarihi yığma Caminin sismik değerlendirmesi yapının üç boyutlu olarak zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilerek yapılmıştır. Yapıya uygulanacak deprem hareketi X ve Y yönlerinde olmak üzere iki farklı yönde uygulanmıştır. Bu tarihi yığma yapının sismik performansları çeşitli deprem seviyeleri için belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapıdan yer değiştirme, gerilme (çekme ve basınç) ve taban kesme kuvveti değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen deplasman, gerilme ve taban kesme sonuçlarına ait minimum ve maksimum değer sonuçları makalede tablo ve grafiksel olarak gösterilmiş ve yorumlanmıştır. Caminin yapısal güvenliğinin değerlendirilmesi ve üç boyutlu sonlu elemanlar analizi caminin yapısal performansı hakkında genel bir fikir vermiştir.

Anahtar kelimeler: Yığma yapılar, Sonlu elemanlar, Tarihi yapı, Tarihi cami.

Abstract

Masonry historical monuments that connecting the past and the present are of major importance in terms of reflecting the knowledge and property of different cultures. This explains that why the protection of historic monuments is so important. The preservation of the historical monuments that constitute our historical and cultural heritage is only possible if they are examined in detail, their problems are solved and their solution methods and techniques are improved. One historical masonry mosque was selected to study in this paper. The mosque is modeled and analyzed by using SAP2000 finite element software in accordance with the dimensions of an architectural building survey. Seismic assessment of the monument was carried out via three-dimensional time-history dynamic analyses of the structure. Minimum and maximum values of displacements, base shear, and stress were interpreted, and the results were displayed graphically and discussed the earthquake motion was applied in two different directions which is X and Y. The seismic capacity of this building has been determined for varied earthquake grade. As a result of the analysis, displacements, stresses (tensile and compressive), base shear force were calculated under the effect of earthquakes. The Structural safety of the mosque was evaluated, and three-dimensional finite element analysis gave a general idea about the structural performance of the mosque.

Keywords: Masonry structures, Finite elements, Historical building, Tistorical mosque.

1 Giriş

Türkiye, önemli derecede deprem tehlikesi altında bulunan ülkelerden birisidir. Türkiye de yaşayan toplam insan nüfusunun %95'i deprem kuşağında olmak üzere bu nüfusun %21.5'i birinci, %31.4'ü ise ikinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Türkiye'deki barajların %92'si ve sanayi tesislerinin ise %98'i aktif deprem kuşağındadır. Bulundukları yer itibari ile bu bölgelerdeki yapılar çok sayıda depreme maruz kalmıştır. Bu yapılardan birçoğu depremler sırasında hasar görmüş veya toptan yıkılmıştır. Son Yüzyıl içerisinde Türkiye'de büyüklüğü 6 ve daha fazla olan deprem sayısı 56'dır. Meydana gelen bu depremler sonucunda ortaya çıkan hasarlar oldukça fazladır, öyle ki; depremler sonrası hasarların karşılanması için her yıl milli gelirimizin %0.8'i kullanılmaktadır [1],[2].

Kültürel ve tarihi değeri olan yapıların deprem altındaki yapısal davranışı ve güvenliklerinin belirlenerek değerlendirilmesi önemlidir. Tarihi yapılar için yapısal davranışların ve koruma yöntemlerinin belirlenmesi disiplinler arası çalışmayı gerektirmektedir. Bu aşamada tarihi yapıların duvar malzeme özelliklerinin (Taş, Tuğla vb.) belirlenmesi ve analiz programlarında gerçek davranışı temsil edecek şekilde modellenmesi oldukça önemlidir [3].

Tarihi yığma camiler ile ilgili yapılmış birçok çalışma vardır; Güler vd. Tarihi Küçük Ayasofya Camisinin yapısal ve deprem davranışını detaylı olarak incelemişlerdir [4]. Akan ve Özen, Yıldırım Beyazıt'ın oğlu Çelebi Sultan Mehmed tarafından inşa ettirilmiş olan, Yeşil Türbenin sonlu elemanlar yöntemi ile deprem analizini yapmışlardır [5]. Yılmaz, Rahime Sultan Cami'sinin deprem davranışını araştırmıştır [6]. Dabanlı, Hırka-i Şerif Camisinin sayısal analiz modelini üç boyutlu olarak kurmuş ve Hırka-i Şerif Camisinin farklı yükleme durumlarında çözümünü yapmıştır [7]. Nuhoğlu vd. kesme taş malzemesinden inşa edilen ve İzmir'de Konak meydanında yer alan Yalı Cami'sini ele alarak tarihi yapının deprem etkisindeki

*Yazışılan yazar/Corresponding author

yapısal davranışını incelemişlerdir [8]. Köseoğlu, Sokullu Camisini sonlu elemanlar yöntemiyle modelleyerek caminin belirli yükler altında analizini yapmış ve yapının yük aktarımını incelemiştir [9]. Aslan ve Şahin, Süleymaniye Camisini SAP2000 sonlu elemanlar programında üç boyutlu olarak modellemiş ve farklı depremlerin etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir [10]. Şeker ve Koç, Merzifon Dönertaş Camisini sonlu elemanlar yöntemi ile modellemiş ve caminin statik ve dinamik analizlerini yaparak caminin yapısal davranışını araştırmışlardır [11]. Bayraktar ve diğ. Tarihi Fatih Camisini sonlu elemanlar metodu ile modellemiş ve pencere açıklıklarının eski camilerin statik ve sismik davranışları üzerindeki etkisini incelemişlerdir [12].

Çaktı ve diğ. Mihmirah sultan camisine etki edebilecek yerel deprem tehlikesi koşullarını temsil eden gerçek ve simüle edilmiş depremler altında tarihi caminin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini yapmış ve caminin yapısal davranışını incelemişlerdir [13].

Uray ve diğ. İznik Yeşil Camisinin malzeme özelliklerini hasarsız testler ve laboratuvar yöntemleri ile belirlemiş sonrasında yapıyı sonlu elemanlar yöntemi ile modelleyerek yapı davranışını incelemişlerdir [14].

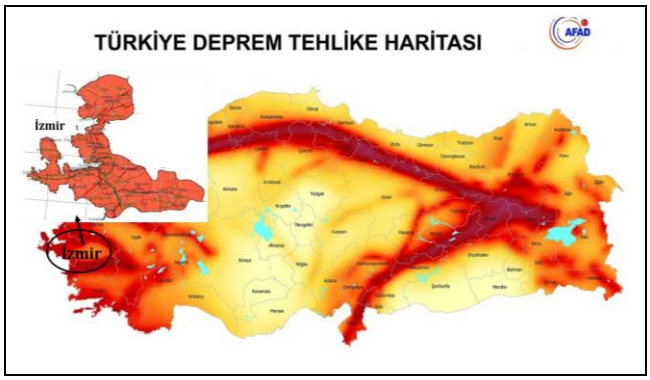
Kamanlı ve diğ. Tarihi Sille Ak Caminin TBDY 2018'e göre mevcut durumunun statik hesabını yapmış ve sonrasında caminin sonlu elemanlar programı ile yapısal analizini yapmışlardır [15].

Aşıkoğlu ve diğ. Kütahya Merkez Kurşunlu Camisinin üç boyutlu modellemesini yaparak caminin yapısal davranışını incelemişlerdir [16].

2 İzmir bölgesin depremselliği

İzmir bölgesi sismik olarak Akdeniz Deprem Kuşağı'nda yer almaktadır, bu bölge magnitüdü 4-8 arasında deprem üretecek uzunluktaki diri faylarıyla Türkiye'de 1. ve 2. derece deprem bölgelerine dahil olan arazileri içermektedir. Öyle ki M.S. 11-2000 yılları arasında büyük bir kısmı İzmir Körfezi ve civarında meydana gelen büyüklüğü 4 ve üstü olan, 887 adet deprem kaydedilmiş bu depremlerde binlerce insan hayatını kaybetmiştir [17].

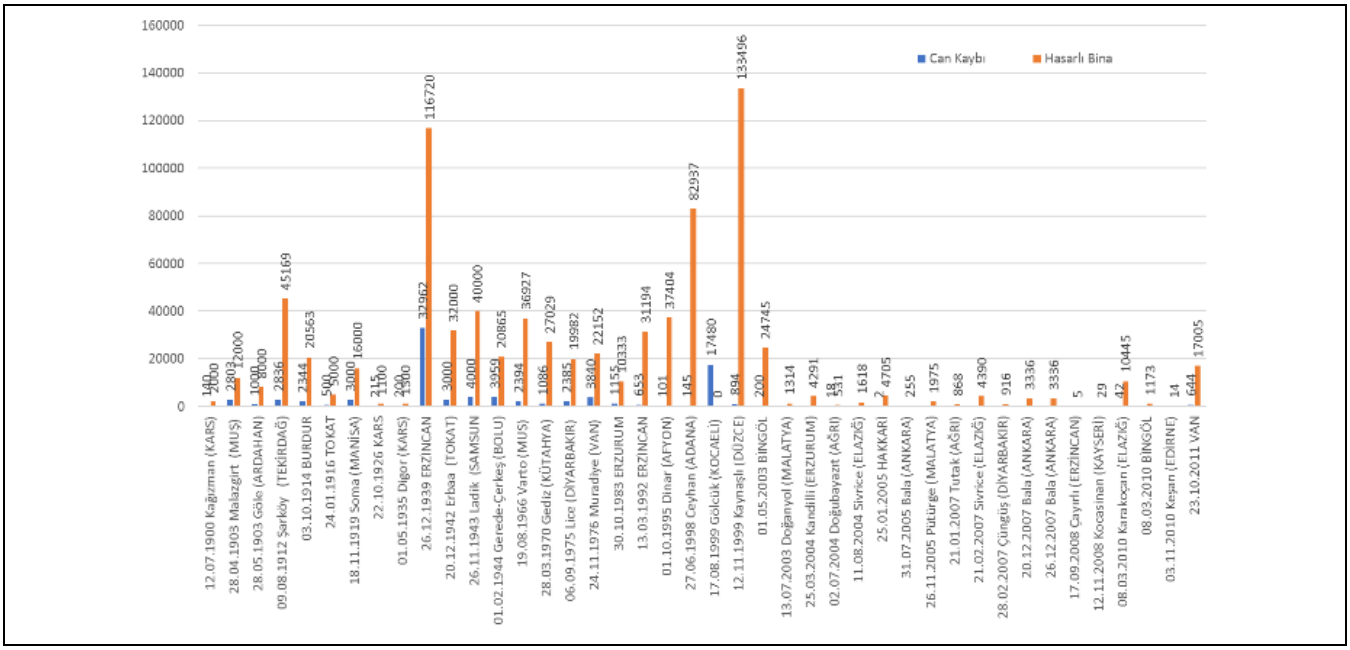
İzmir ve yakın çevresi Batı Anadolu açılmalı tektonik rejimi içerisinde gelişmiş en büyük yapılardan biri olan Gediz graben sisteminin batı ucunda yer almaktadır. Deprem bölgeleri haritası incelendiğinde İzmir 1. derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır [18]. Türkiye ve İzmir ilinin deprem haritaları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye ve İzmir ili deprem haritası [1].

Figure 1. Turkey and Izmir province earthquake map.

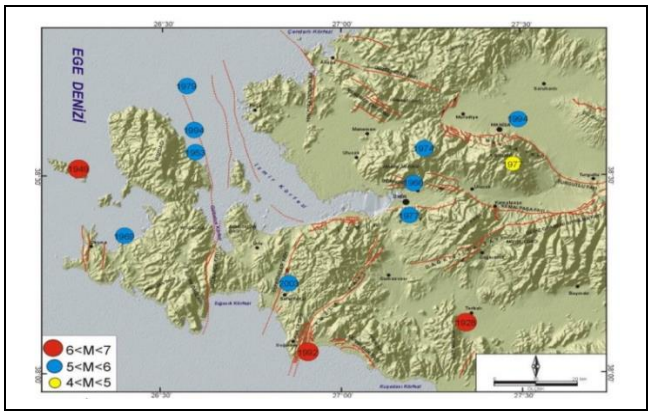
Herhangi bir depremin tam olarak ne zaman ve nerede meydana geleceği bilenememekle birlikte depremin neden olacağı hasarlar da öngörülememektedir, örneğin; birçok can kaybının yaşandığı ve binlerce binanın tamamen yıkıldığı 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde ekonomik kayıpların 15-17 milyar dolar arasında olduğu tahmin edilmektedir [19]. Bu nedenle zarar ve can kayıplarını en aza indirmek için meydana gelmiş büyük doğal afetlerden yaşananlardan ders almak, olumsuzlukları belirlemek oldukça önemlidir [20]. 1900-2014 yılları arasında Türkiye'de meydana gelmiş 100'ün üstünde can kaybı ve 1000'in üstünde hasarlı binaya neden olan depremlere ait grafik Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Türkiye'de can kaybı 100'ün ve hasarlı bina 1000'in üzerinde olan depremler [20].

Figure 2. The earthquakes that lead to casualties of over 100 and damaged buildings over 1000, in Turkey.

Son yüzyılda İzmir ve yakın çevresinde meydana gelmiş depremlerin (4<M<5, 5<M<6, 6<M<7) diri fay haritası üzerindeki dış merkez dağılımları Şekil 3'te görülmektedir.

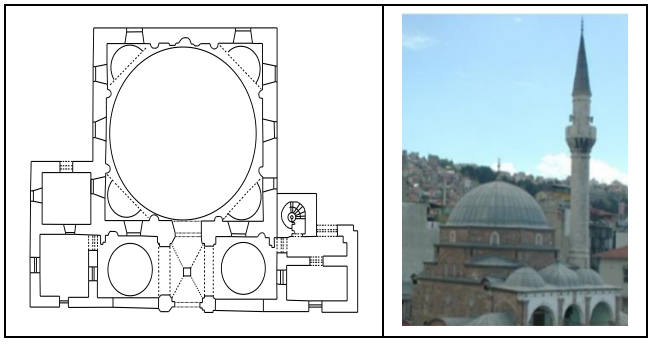


Şekil 3. Son yüzyılda İzmir ve yakın çevresinde meydana gelmiş depremler [14].

Figure 3. The earthquakes occurred in Izmir and its vicinity in the last century.

3 Caminin mimari özellikleri

Tarihi cami eskiden Aydın'dan gelen ticaret kervanlarının çarşı içerisinde durdukları bölge de bulunması nedeni ile "Baş-durak" ve/veya "Durak" olarak anılmaktadır, yani cami adını bulunduğu yerden almaktadır, cami tek kubbe ile örtülüdür, kare planlı harim ile kuzeyindeki son cemaat yeri ve batısındaki minare bölümlerinden oluşmaktadır [21],[22]. Başdurak Camisi Şekil 4'te görülmektedir

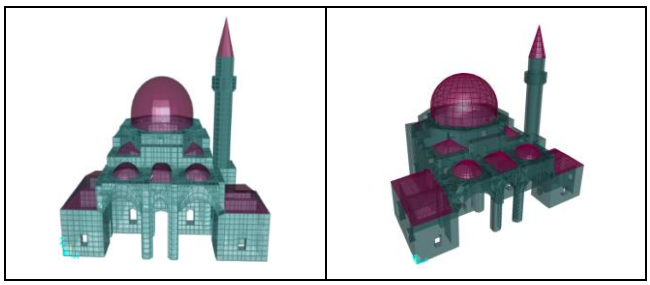


Şekil 4. Başdurak Cami.

Figure 4. Basdurak Mosque.

4 Malzeme ve yöntem

Bu çalışma da tarihi cami modellenme ve analiz aşamalarında yapının döşemesinde rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Modelleme aşamasında Shell ve Solid olmak üzere 2 tip elemandan yararlanılmıştır. Duvar, minare ve sütun elemanları için Solid (katı) elemanlar, kubbe ve çatılarda ise shell (kabuk) elemanlar kullanılmıştır. Sütun yapı elemanlarının çubuk (frame) eleman olarak modellenmesi de mümkündür fakat bu çalışmada, birleşim bölgelerinde oluşabilecek gerilme yığılmaları ve bağlantı zorluğu nedeni ile az sayıda bulunan sütun yapı elemanlarının modellenmesinde solid (katı) elemanlar tercih edilmiştir. Modellemelerde genellikle 6 ve 8 düğüm noktasına sahip solid (Katı) elemanlar kullanılmıştır, sadece geometrik açıdan gerekli olan yerlerde (pandantif vb.) ve özel köşelerde diğer düğüm noktalarına sahip solid (Katı) elemanlar kullanılmıştır. Modelde toplamda 9957 düğüm noktası, 1263 shell eleman, 4715 solid eleman kullanılmıştır. Başdurak Camisinin sonlu elemanlar modeli Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Başdurak Cami sonlu elemanlar modeli.

Figure 5. Finite element method of Basdurak Mosque.

Modelleme de kullanılan yapı malzemesi özelliklerinin belirlenmesinde ise yapının inşa edildiği dönem malzeme özellikleri araştırılmış ve literatür çalışmaları incelenmiştir [23],[24] tarafından kullanılan örtü malzeme özellikleri referans alınarak belirlenmiştir. Yapısal modelde kullanılan elemanlara ait model tipleri ve malzeme değerleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Yapı malzeme özellikleri.

Table 1. Material properties.

Yapı Elemanı	Eleman Tipi	Model Tipi	Elastisite Modülü (Mpa)	Öz Kütle (kN/m³)	Poisson Oranı
Duvarlar	Taş	Solid (katı)	3000	20	0.2
Minareler	Taş	Solid (katı)	3000	20	0.2

5 Başdurak Camisinin sonlu elemanlar analizi

İzmir'de yer alan Başdurak Camisinin bulunduğu yere ait elastik tasarım ivme spektrumu Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre belirlenmiştir. Cami için yapılan analizlerde deprem seviyesi olarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 olarak tarif edilen DD2 deprem düzeyi esas alınmıştır.

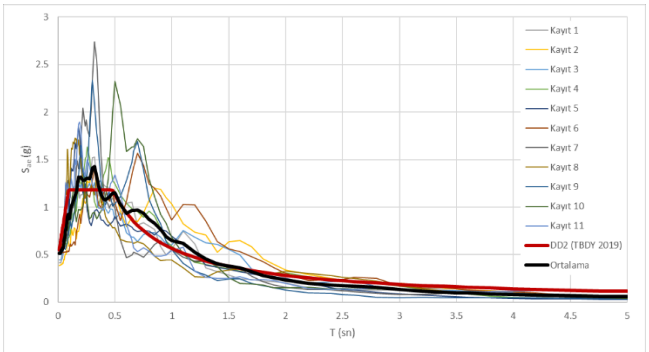
Zaman tanım alanında analiz yapmak için kullanılacak deprem ivme kayıtları Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) internet sitesinden alınmıştır. Deprem analizleri 11 adet deprem kaydı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde, her bir deprem için iki yatay ve bir düşey bileşen olmak üzere toplam üç adet ivme bileşeni de kullanılmıştır. Deprem kaydı seçilirken deprem kayıtlarının spektrumlarının ortalamasının, DD2 deprem düzeyi için belirlenen tasarım ivme spektrumuna yakın olması amaçlanmıştır. Söz konusu spektrumların istenen özellikleri sağlaması için deprem kayıtları ölçeklenmiştir.

Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının ad ve özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca, DD2 deprem düzeyine ait elastik tasarım ivme spektrumu ile her bir depreme ait spektrumlar ve bu spektrumlarım ortalamaları Şekil 6'da grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Analizler de kullanılan deprem kayıtları.

Table 2. Earthquake data used in the analysis.

Kayıt No	Deprem Adı	Yıl	İstasyon Adı	Büyüklük	Fay Türü	Uzaklık (km)
1	"Imperial Valley-06"	1979	"Cerro Prieto"	6.53	Doğrultu Atımlı	15.19
2	"Irpina_ıtaly-01"	1980	"Calitri"	6.90	Normal	13.34
3	"Irpina_ıtaly-02"	1980	"Rionero ın Vulture"	6.20	Normal	22.68
4	"Corinth_Greece"	1981	"Corinth"	6.60	Normal Oblik	10.27
5	"Chalfant Valley-02"	1986	"Benton"	6.19	Doğrultu Atımlı	21.55
6	"Landers"	1992	"Joshua Tree"	7.28	Doğrultu Atımlı	11.03
7	"Duzce_Turkey"	1999	"Lamont 1061"	7.14	Doğrultu Atımlı	11.46
8	"Manjil_Iran"	1990	"Abbar"	7.37	Doğrultu Atımlı	12.55
9	"Landers"	1992	"Fun Valley"	7.28	Doğrultu Atımlı	25.02
10	"Umbria Marche_Italy"	1997	"Bevagna"	6.00	Normal	18.86
11	"Darfield_New Zealand"	2010	"DFHS"	7.00	Doğrultu Atımlı	11.86

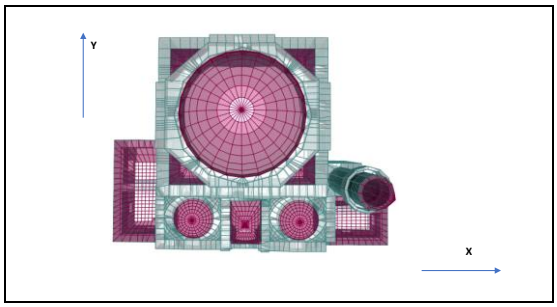


Şekil 6. Başdurak Cami için yapılan deprem analizlerinde kullanılan DD2 deprem düzeyine ait elastik tasarım ivme spektrumu ile her bir depreme ait spektrumlar ve bu spektrumlarım ortalamaları.

Figure 6. Elastic design acceleration spectrum for earthquake level DD2 used in earthquake analysis for Başdurak Mosque, spectra of each earthquake, and averages of these spectra.

6 Başdurak Camisinin sonlu elemanlar analizi

Tarihi Caminin sonlu elemanlar analizi için 3 boyutlu olarak Sap2000 programı ile modellenmiş ve yapının spektrumuna uygun olarak ölçeklendirilmiş 11 adet deprem kaydı uygulanmıştır. 3 boyutlu model üzerinde zaman tanım alanında doğrusal analizler yapılarak yapının deprem yükü altındaki davranışı araştırılmıştır. Başdurak Camisi hesap modelinin üstten görüşü Şekil 7'de görülmektedir.



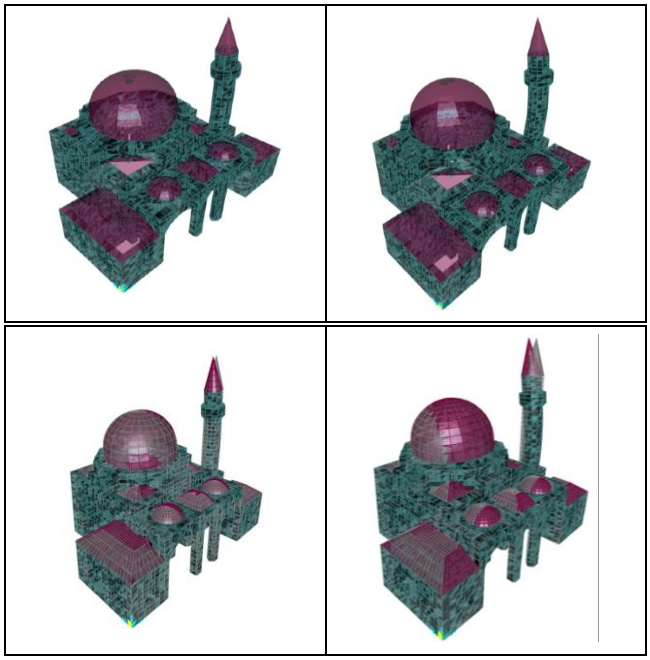
Şekil 7. Başdurak Camisi hesap modelinin üstten görünüşü.

Figure 7. Top view of Başdurak Mosque model.

7 Araştırma ve bulgular

Türkiye'de 1., 2., 3., 4. ve 5. derece deprem bölgeleri için beklenen hızlanma değerleri sırasıyla 0.4 g, 0.3-0.4 g, 0.2-0.3 g, 0.1-0.2 g ve 0.1 g'dan daha düşüktür (burada g yerçekimi ivmesi =981 cm/s2'dir) [12]. Makalede incelenen Başdurak Cami İzmir ili şehir merkezinde yani 1. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

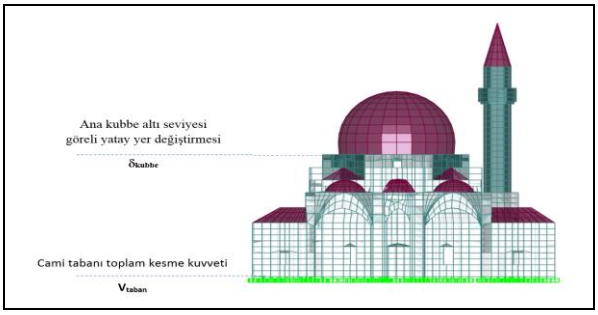
Zaman tanım alanında yapılan doğrusal analizler soncunda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Tarihi Caminin ilk iki mod Periyodu 0.372992 sn. ve 0.369315 sn. olarak elde edilmiştir. Mod şekilleri incelendiğinde bu modların esas olarak minarenin davranışını temsil eden modlar olduğu görülmektedir. Kütle katılım oranları incelendiğinde ise yapının x yönündeki en büyük kütle katılımına sahip modunun 8. Mod (%46 kütle katılım oranı) y yönünde ise (%47 kütle katılım oranı) ise 7. Mod olduğu görülmüştür. Bu modlar yapının toptan deprem davranışı üzerindeki etkili modlar olarak değerlendirilebilir. Söz konusu modlar Şekil 8'de sırası ile görülmektedir.



Şekil 8. Tarihi caminin X yönü (8) ve Y yönü (7) hakim modları.

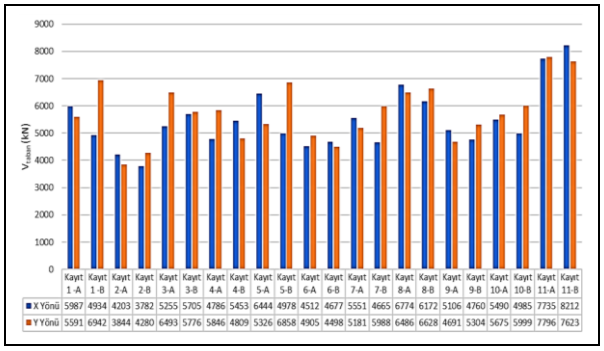
Figure 8. The main modes X-direction (8) and Y-direction (7) of the historical mosque.

Yapılan zaman tanım alanında doğrusal analizler sonucunda yapının Ana kubbe altı seviyesi göreli yatay yer değiştirmesi ve cami tabanı toplam kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir, bu değerlerin hesaplandığı seviyeler Şekil 9'da görülmektedir. Başdurak Camisi için yapılan analizlerde ana kubbe altı göreli yatay yer değiştirme ve cami tabanı toplam kesme kuvvetinin hesaplandığı seviyeler Şekil 10'daki grafikte, zaman tanım alanında analizlerden elde edilen kubbe seviyesi göreli yatay yer değiştirmeleri ise Şekil 11'daki grafikte görülmektedir.



Şekil 9. Başdurak Camisi için yapılan analizlerde ana kubbe altı göreli yatay yer değiştirme ve cami tabanı toplam kesme kuvvetinin hesaplandığı seviyeler.

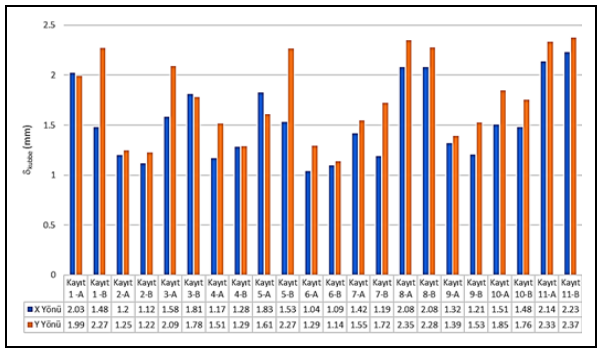
Figure 9. The relative horizontal displacement levels below the main dome, and the levels of the total base shear force for the Basdurak mosque.



	Kayıt 1-A	Kayıt 1-B	Kayıt 2-A	Kayıt 2-B	Kayıt 3-A	Kayıt 3-B	Kayıt 4-A	Kayıt 4-B	Kayıt 5-A	Kayıt 5-B	Kayıt 6-A	Kayıt 6-B	Kayıt 7-A	Kayıt 7-B	Kayıt 8-A	Kayıt 8-B	Kayıt 9-A	Kayıt 9-B	Kayıt 10-A	Kayıt 10-B	Kayıt 11-A	Kayıt 11-B
X Yönü	5987	4934	4203	3782	5255	5705	4786	5453	6444	4978	4512	4677	5551	4665	6774	6172	5106	4760	5490	4985	7735	8212
Y Yönü	5591	6942	3844	4280	6493	5776	5846	4809	5326	6858	4905	4498	5181	5988	6486	6628	4691	5304	5675	5999	7796	7623

Şekil 10. Başdurak Camisi için yapılan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen cami tabanı toplam kesme kuvvetleri

Figure 10. The total base shear forces of the mosque obtained from the time history analysis for the Başdurak Mosque.



	Kayıt 1-A	Kayıt 1-B	Kayıt 2-A	Kayıt 2-B	Kayıt 3-A	Kayıt 3-B	Kayıt 4-A	Kayıt 4-B	Kayıt 5-A	Kayıt 5-B	Kayıt 6-A	Kayıt 6-B	Kayıt 7-A	Kayıt 7-B	Kayıt 8-A	Kayıt 8-B	Kayıt 9-A	Kayıt 9-B	Kayıt 10-A	Kayıt 10-B	Kayıt 11-A	Kayıt 11-B
X Yönü	2.03	1.48	1.2	1.12	1.58	1.81	1.17	1.28	1.83	1.53	1.04	1.09	1.42	1.19	2.08	2.08	1.32	1.21	1.51	1.48	2.14	2.23
Y Yönü	1.99	2.27	1.25	1.22	2.09	1.78	1.51	1.29	1.61	2.27	1.29	1.14	1.55	1.72	2.35	2.28	1.39	1.53	1.85	1.76	2.33	2.37

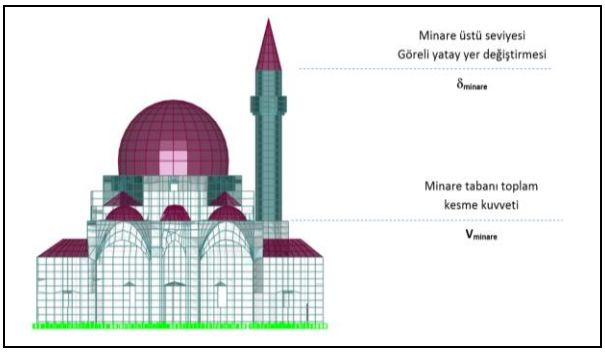
Şekil 11. Başdurak Camisi için yapılan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen kubbe seviyesi göreli yatay yer değiştirmeleri.

Figure 11. The horizontal relative displacements of the dome level obtained from the time history analysis for the Basdurak mosque.

Şekil 10 incelendiğinde, deprem durumunda cami tabanında meydana gelen ortalama taban kesme kuvvetinin X doğrultusunda 5462 kN, Y doğrultusunda 5752 kN olduğu görülmüştür.

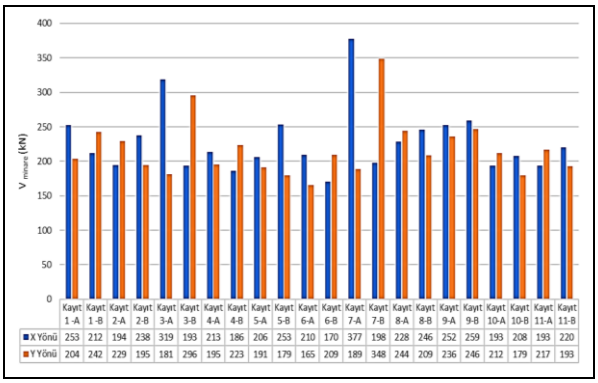
Şekil 11 incelendiğinde, deprem durumunda cami ana kubbe altı seviyesindeki ortalama yatay göreli yer değiştirme değeri X doğrultusunda 1.54 mm, Y doğrultusunda ise 1.77 mm olarak belirlenmiştir.

Başdurak Camisi için yapılan deprem analizlerinde minarenin davranışı ayrıca incelenmiştir. Bu amaçla, zaman tanım alanında doğrusal analizler sonucunda minare üst seviyesi göreli yatay yer değiştirme ve minare tabanı toplam kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin hesaplandığı seviyeler Şekil 12'de görülmektedir. Cami minare tabanı toplam kesme kuvvetleri değerleri Şekil 13'teki grafikte, minare üst seviyesi göreli yatay yer değiştirmeleri ise Şekil 14'teki grafikte görülmektedir.



Şekil 12. Başdurak Camisi için yapılan analizlerde minare üstü göreli yatay yer değiştirme ve minare tabanı toplam kesme kuvvetinin hesaplandığı seviyeler.

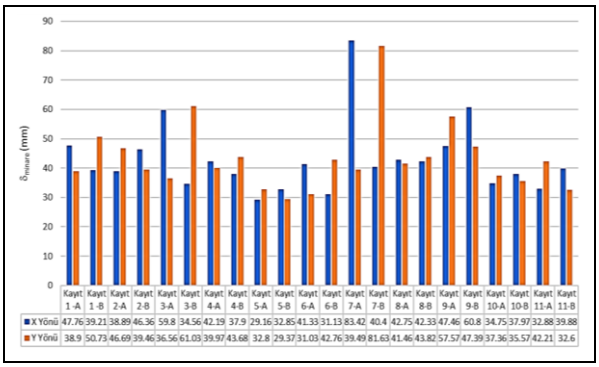
Figure 12. The levels where the relative horizontal displacement above the minaret and the minaret total base shear force for the Basdurak mosque.



	Kayıt 1-A	Kayıt 1-B	Kayıt 2-A	Kayıt 2-B	Kayıt 3-A	Kayıt 3-B	Kayıt 4-A	Kayıt 4-B	Kayıt 5-A	Kayıt 5-B	Kayıt 6-A	Kayıt 6-B	Kayıt 7-A	Kayıt 7-B	Kayıt 8-A	Kayıt 8-B	Kayıt 9-A	Kayıt 9-B	Kayıt 10-A	Kayıt 10-B	Kayıt 11-A	Kayıt 11-B
X Yönü	253	212	194	238	319	193	213	186	206	253	210	170	377	198	228	246	252	259	193	208	193	220
Y Yönü	204	242	229	195	181	296	195	223	191	179	165	209	189	348	244	209	236	246	212	179	217	193

Şekil 13. Başdurak Camisi için yapılan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen minare tabanı toplam kesme kuvvetleri.

Figure 13. The total base shear forces of the minaret obtained from the time history analysis for the Basdurak mosque.



Şekil 14. Başdurak Camisi için yapılan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen minare üst seviyesi göreli yatay yer değiştirmeleri.

Figure 14. Relative horizontal displacements of the minaret top-level obtained from the time history analysis for the Basdurak Mosque.

Şekil 12 incelendiğinde, deprem durumunda minare tabanında meydana gelen ortalama kesme kuvvetinin X doğrultusunda 228 kN, Y doğrultusunda 217 kN olduğu görülmüştür.

Şekil 13 incelendiğinde, deprem durumunda minare üst seviyesindeki ortalama yatay göreli yer değiştirme değeri X doğrultusunda 42.9 mm, Y doğrultusunda ise 43.3 mm olarak belirlenmiştir.

8 Sonuçlar

Camiler, mimari ve yapısal özellikleri açısından İslam kültürünün en önemli parçalarıdır. Camiler ve kompleksler, yaşam alanlarının merkezinde inşa edilmiş ve İslam kültürünün önemli yapılarını oluşturmuştur. Bu nedenle, hemen hemen her şehir merkezinde camiler oldukça yaygındır. Bütün tarihi yapılar gibi camiler de bulundukları ülkenin büyük önem taşıyan, köklerini gösteren ve nesilden nesile aktarılması gereken değerdendir. Bu makalenin öncelikli amacı da bu hedefe katkıda bulunmaktır.

Bu çalışmada İzmir Başdurak Cami'sinin zaman tanım alanında doğrusal analizleri yapılarak yapının deprem davranışı incelenmiştir. Ana kubbe altı seviyesinin deprem sırasındaki yatay yer değiştirmesi 1.77mm olarak belirlenmiştir. Ana kubbe altı seviyesinin zeminden olan yüksekliğinin yaklaşık 10.7m olduğu dikkate alındığında göreli yatay yer değiştirme oranının %0.016 olarak hesaplanmıştır. Minare seviyesi için yapılan analizlerden, minare üst seviyesinin deprem sırasındaki yatay yer değiştirmesi 43.3 mm olarak belirlenmiştir. Minarenin serbest olarak salınan yüksekliğinin yaklaşık olarak 11.00m olduğu dikkate alındığında minare göreli yatay yer değiştirme oranının %0.40 olarak hesaplanmıştır. Buna göre cami yapısının ana beden ve minare kısmı için hesaplanan göreli yer değiştirme değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görüşüne varılmıştır.

9 Conclusions

Mosques are the most important parts of Islamic culture in terms of their architectural and structural features. Mosques and complexes were built at the center of living spaces and formed important structures of Islamic culture. Therefore, mosques are quite common in almost every city center. Like all historical buildings, mosques are of great importance in the country they are in, showing their roots and should be passed down from generation to generation. The primary purpose of this article is to contribute to this goal.

In this study, the earthquake behavior of the Basdurak Mosque has been examined by time history analysis. The horizontal displacement of the sub-dome level during the earthquake was determined as 1.77mm. Considering that the height of the sub-dome level from the ground is approximately 10.7m, the relative horizontal displacement ratio is calculated as 0.016%. According to the analysis for the minaret level, the horizontal displacement of the top level of the minaret during the earthquake was determined as 43.3mm. Considering that the free oscillation height of the minaret is approximately 11.00m, the relative horizontal displacement ratio of the minaret is calculated as 0.40%. Accordingly, it was concluded that the relative displacement values calculated for the main body and minaret part of the mosque structure were within acceptable limits.

10 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmadaki yazarlardan Pınar USTA ve Özgür BOZDAĞ fikrin oluşması, sonlu elemanlar modelinin oluşturulması, deprem kayıtlarının seçilmesi, sonlu elemanlar analizi, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve son olarak yazım denetimi ile içerik kısımlarında ortak katkıda bulunmuştur.

11 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

12 Kaynaklar

[1] Çavdar Ö, Yolcu A. "Mevcut bir okul binasının Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre yapısal düzensizliklerinin incelenmesi". *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji* Dergisi, 8(2), 153-164, 2018.

[2] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. "Türkiye'nin Depremselliği". https://www.afad.gov.tr/ (18.09.2019).

[3] Kılıç İ, Bozdoğan KB, Aydın S, Gök SG, Gündoğan S. "Kule tipi yapıların dinamik davranışının belirlenmesi: kırklareli hızırbey camii minaresi". *Politeknik Dergisi*, 23(1), 19-26, 2019.

[4] Güler K, Sağlamer A, Celep Z, Pakdamar F. "Structural and earthquake response analysis of the little hagia sofhia mosque". *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, 1-6 August 2004.

[5] Akan AE, Özen Ö. "Bursa Yeşil Türbe'nin sonlu elemanlar yöntemi ile deprem analizi". *Deprem Sempozyumu,* Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart 2005.

[6] Yılmaz P. Tarihi Yapıların Modellenmesi ve Deprem Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.

[7] Dabanlı Ö. Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2008.

[8] Nuhoğlu A, Öztürk D, Bozdoğan KB. "Konak Yalı Camisi'nin deprem davranışının incelenmesi". *Tarihi Yapıların Afet Risklerinin Değerlendirilmesi, İzmir Afet Riskini Azaltma Sempozyum Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 7-8 Aralık 2009.

[9] Köseoğlu Ç. "Tarihi camilerin yapısal incelenmesi: Mimar Sinan Camileri". *4. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 27-29 Kasım 2013.

[10] Aslan A, Şahin A. "Süleymaniye Camii'nin farklı deprem kayıtları altında davranışının incelenmesi". *Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16),* Karabük, Türkiye, 2-4 Mart 2016.

[11] Şeker BŞ, Tuhta S, Koç V. Evaluation of Historical Merzifon Dönertaş Mosque with a Single Dome in Terms of Its Structure. Editors: Kasimzade AA, Şafak E, Ventura CE, Naeim F, Mukai Y. Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering, 205-217, Springer International Publishing, 2019.

[12] Bayraktar A, Hökelekli E, Türker T, Çalik İ, Ashour A, Mosallam A. "Window opening effects on structural behavior of historical masonry Fatih Mosque". *International Journal of Architectural Heritage*, 13(4), 585-599, 2019.

[13] Çaktı E, Saygılı Ö, Dar E, Ercan T. "Seismic behavior of the Edirnerkapi Mihrimah Sultan Mosque in Istanbul". *In Proceedings of the 6th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Rhodes Island, Greece, 15-17 June 2017.

[14] Uray A, Şengel HS, Çarbaş S. "Analysis of historical structures by using finite element method in Iznik Yeşil Mosque". *Challenge*, 5(4), 121-129, 2019.

[15] Kamanlı M, Jaihoon EH, Alptuğ Ü. "TBDY 2018'e göre tarihi sille ak caminin statik analizi". *Selçuk-Teknik Dergisi*, 18(3), 134-151, 2019.

[16] Aşıkoğlu A, Avşar Ö, Lourenço PB, Silva LC. "Effectiveness of seismic retrofitting of a historical masonry structure: Kütahya Kurşunlu Mosque". *Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering,* 17(6), 3365-3395, 2019.

[17] Sezer Lİ. "İzmir sismotektonik yöresinin depremselliği". *Ege Coğrafya Dergisi*, 13(1-2), 29-46, 2004.

[18] Emre Ö, Özalp S, Doğan A, Özaksoy V, Yıldırım C, Göktaş F. "İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri". Ankara, Türkiye, 10754, 2005.

[19] Youd TL, Bardet JP, Bray JD. "Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance Report". Kocaeli, Turkey, 6, 2000.

[20] Bikçe M. "Türkiye'de Hasara ve Can Kaybına Neden Olan Deprem Listesi (1900-2014)". *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim 2015.

[21] Taşkaya Dönmez M. Osmanlı Dönemi Vakıf Eserlerinin Onarım Süreçlerinin İrdelenmesi: İzmir-Kemeraltı Camileri Örneği. Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2012.

[22] İzmir Kent Rehberi. "İzmir Camileri" http://www.izmirde.biz/?Bid=589584 (02.02.2019).

[23] Hrasnica M, Medic S. "Seismic strengthening of historical stone masonry structures in bosnia herzegovina". *15WCEE*, Lisnonia, Portugal, 24-28 September 2012.

[24] Turkmen M, Bilgin H. "Structural behaviour of domed roof systems in traditional architectural buildings". *Sakarya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık* Dergisi, 21(3-4), 119-128, 2006.