ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ
B- TEORİK BİLİMLER

Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology B- Theoritical Sciences

2018, Cilt:6 - syf. 244 - 252, DOI: 10.20290/aubtdb.488961
4.Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı Özel Sayısı

ZEMİN DAVRANIŞI VE MESNET KOŞULLARININ TARİHİ YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞINA ETKİSİ

Günal EREN [1,*], Kemal BEYEN [2]

[1] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye
[2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, tarihi yapıların deprem performansında zemin ve mesnet koşullarının etkisi nümerik modelde dikkate alınarak ortaya çıkan sonuçlar zeminin göz ardı edildiği durumdaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, Fatih Külliyesi içinde bulunan Fatih Sultan Mehmet Han'ın kabrinin bulunduğu türbe yapısı çalışılmıştır. Analitik modelde üst yapı kabuk elemanlarla, zemin tabakaları ise üç boyutlu katı elemanlarla oluşturulmuştur. Birinci uygulamada zemin etkisi ihmal edilerek üst yapı ankastre modellenmiştir. İkinci uygulamada üst yapı sadece basit mesnet olarak modellenmiştir. Üçüncü uygulamada ise yapı yerel zemin şartları dikkate alınmıştır. Yapı ve zemin malzemesinin lineer-elastik davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Değişik enerji ve frekans içeriği olan deprem kayıtları yapıya verilerek, zaman tanım alanında analizler yürütülmüştür. Analiz sonucunda elde edilen modal bilgiler, elemanlarda oluşan iç kuvvetler, gerilmeler, taban kesme kuvvetleri, deplasmanlar karşılaştırılmıştır. Yapı zemininin modellenmesiyle elde edilen tesirler, ankastre ve basit mesnetli durumlar için benzer sonuçlar ortaya koyarken, zeminle beraber modellenen yapıda farklı tesirler üretmiştir. Bu tesirler, Van ve Ege depreminde büyürken, Bolu depreminde küçülmüştür. Elde edilen sonuçlarla mevcut tarihi yapıların deprem durum değerlendirmesinde zemin etkisinin önemli olduğu ve gözlenen farkların güçlendirme çalışmalarında güvenilir ve yapıcı kararların alınmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yerel zemin koşulları, Zaman tanım alanında analiz, Tarihi yapılar, Mesnet etkisi, Zemin etkisi

EFFECTS OF THE LOCAL SOIL BEHAVIOR AND SUPPORT CONDITIONS ON EARTHQUAKE RESPONSE OF THE HISTORICAL STRUCTURES

In this study, the effects of substructure and features of the support conditions on the earthquake performance of historical structures are taken into consideration in the numerical model and the results are compared with those of the case where the local soil condition and actual support types are ignored. For this purpose, the tomb structure of Fatih Sultan Mehmet Khan next to the Fatih mosque has been studied. Analytical model of the superstructure is formed by shell element for dome and solid elements for walls. Local soil layers are formed by three dimensional solid elements. In the first application, the superstructure is modeled as built, taking fixed end support condition and neglecting the local soil effects. Second case holds the superstructure with simple supports and ignoring the local soil effects. In the third application, the local ground conditions of the building are taken into consideration with the superstructure. It has been accepted that the building material and soil exhibit linear-elastic behavior as observed in the recent earthquakes in order to distinguish the pure effects. The structure was analyzed in time domain triggering by earthquake motions with different energy and frequency contents. Comparisons of large collection of analysis results are discussed. Internal member forces and stresses, fundamental periods of the structure and modal characteristics, base shear forces, structural drifts and mass participation factors in dynamic behavior are compared for all cases. It is seen that the resultant forces are not too distinct for the building with simple support and fixed end conditions, but with local ground conditions, important effects on the building is observed. Based on earthquake characteristics, these effects are increased with Van and Ege earthquakes but decreased by the Bolu earthquake. Including soil conditions in modelling is important in assessment of the earthquake performance for existing historical buildings. Results statistics for each case and the observed differences in between the cases will be important contribution to decision makers to propose consistent and constructive decisions in strengthening studies.

Keywords: Local soil conditions, Time history analysis, Historical structure, Support effect, Soil effect

*Sorumlu Yazar:g.eren34@hotmail.com
Geliş: 20.03.2018 Kabul:30.03.2018

1. GİRİŞ

Türkiye'deki ve dünyadaki mevcut yapı yönetmelikleri, yapıların depreme karşı tasarımının daha doğru sonuç vermesi için her geçen gün geliştirilmekte ve deneysel çalışmalarla desteklenmektedir. Bu çalışmaların doğal bir sonucu olarak yapı-zemin modellemeleri de bazı yönetmeliklere girmiştir. Ancak yapılan uygulamalarda, yapıların deprem hesabındaki zemin etkileri birkaç sayısal değer ve yorumdan öteye geçmemektedir. Aynı bakış açısı, tarihi yapılar çalışılırken de gözlenmektedir. Genellikle yapılan bir nümerik modelleme olması sebebiyle yapıların tasarımında yapı-zemin bağlantısı, şartların sağlanmasına bakılmadan ankastre mesnet olarak kabul edilmekte ve saha-zemin davranışı nümerik modele aktarılmamaktadır. Oysa ki akademik çalışmalar tarandığında, nümerik model mesnet varsayımlarının çalışıldığı birçok çalışma sonuç farklılıklarına dikkat çekmektedir. Örneğin 2004 yılında yapılan başka bir çalışmada, İstanbul'daki Küçük Ayasofya Camii'nin deprem performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sebeple yapının zeminle bağlantısının ankastre olması durumuyla zeminin elastik yaylarla tariflenmesi durumunda ortaya çıkan sonuçlar tartışılmıştır. Elastik yaylarla tariflenmiş zemine göre yapının titreşim modlarının arttığı ve sistemin yumuşadığı sonucuna ulaşılmıştır. [8] 2012 yılında yapılan bir çalışmada, faylanma mekanizmasının ve zemin yapısının tarihi yapıların yanal yük taşıma kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Ters fay etkisinin oluşturmuş olduğu mekanizmalar örneklendirilerek yapısal hasarlar tahmin edilmeye çalışılmıştır. [11] 2015 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise tarihi Şenyuva köprüsünün deprem etkisindeki davranışı zemin-yapı etkileşimi kapsamında irdelenmiştir. [9]

Bu çalışmada, tarihi yapıların zeminle beraber modellenmesi ile zemine ankastre veya basit mesnet olarak bağlanması durumlarının farklı depremler altındaki sonuçları karşılaştırılmıştır.

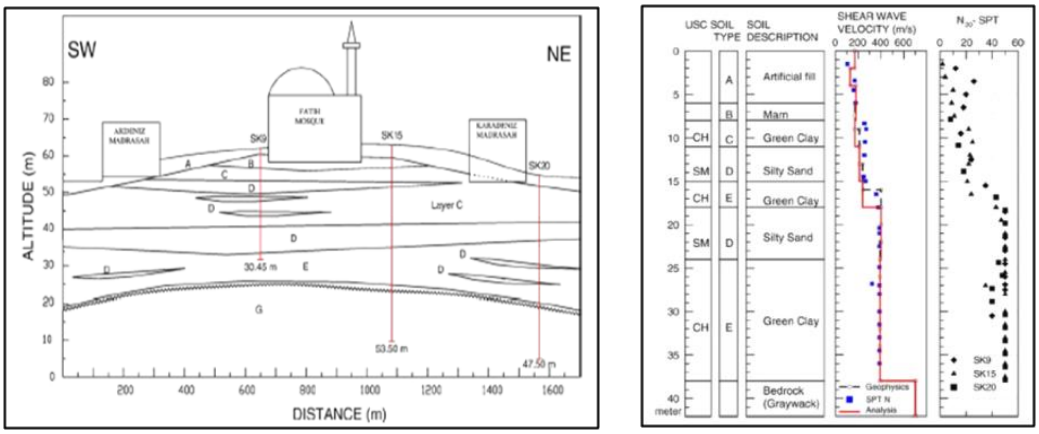
2. FATİH BÖLGESİNİN YERBİLİMSEL VE DEPREMSEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Fatih Külliyesi'nin Yerbilimsel Özellikleri

Yapının bulunduğu zemin koşulları incelendiğinde Güngören formasyonunun özelliklerini barındırmaktadır. Güngören formasyonu, Çukurçeşme formasyonu üzerinde tedrici geçişli olarak yeşil renkli kil ve marn tabakaları yer almaktadır. Bu birimlere Fatih ilçesinin merkezi kesiminde KB-GD gidişli geniş bir zon halinde görülür. Formasyon gri-yeşilimsi gri renkli ve paralel laminalı killer içerir ve göl fasiyesinde gelişmiş olan formasyon içinde yer yer çok iyi boylanmış gri renkli ince kum mercekleri ile yeşil renkli marn ve kireçtaşı ara tabakalı killer bulunur. Formasyon adını kil tabakalarının oldukça kalın ve düzenli olarak izlendiği Güngören mevkisinden almıştır. [12]

2.2. Zemin Değerlerinin Belirlenmesi

Bölgenin zemin değerlerinin ortaya çıkarılması için farklı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin 2007 yılında yapılan çalışmada, Fatih Camisi'nde yerel zemin etkilerinin incelenmesi amacıyla zemin profili çıkarılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere zemin kayma dalgası hızı 160-400 m/sn arasında değişmektedir [2]. 2008 yılında yapılan çalışmada, Fatih ilçesinin zemin özellikleri belirlenmiştir. Buna göre, Güngören Formasyonu için kayma dalgası hızı 365±50 m/s 'dir [13]. Yine 2015 yılında yapılan bir çalışmada, Fatih bölgesinde zemin kayma dalgası hızının 300-600 m/s arasında değişmekte olduğu saptanmıştır [7]. Ayrıca zemin kayma dalgası hızı için bazı ampirik formüller geliştirilerek zemin özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen tüm zemin değerleri açık arazi üzerinden alınmıştır. Ancak tarihi yapıların zemin değerlerinin belirlenmesi amacıyla 2016 yılında yapılan bir çalışmada, açık arazi üzerinden numune alınmasına ilaveten temel duvarlarının hemen altından da numune alınmıştır. Şekil 2 de görüldüğü üzere Celaleddin Rumi Türbesi için alınan temel altı numunelerinde, bahçeden alınan numunelere oranla zemin emniyet gerilmesinin %40 arttığı tespit edilmiştir.



(a) (b)

Şekil 1. (a) Fatih Medresesi zeminine ait kesit (b) malzeme, kayma dalgası hızı ve SPT değerleri [2]



Şekil 2. Yapı beden duvarlarının oturduğu zeminden numune alınması /Celaleddin Rumi Türbesi, Konya [1]

Böylelikle tarihi yapılarda sürekli basınç altındaki zemin değerlerinin kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [1]. Tüm bu veriler ışığında, Fatih Türbesi'ne ait zemin değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

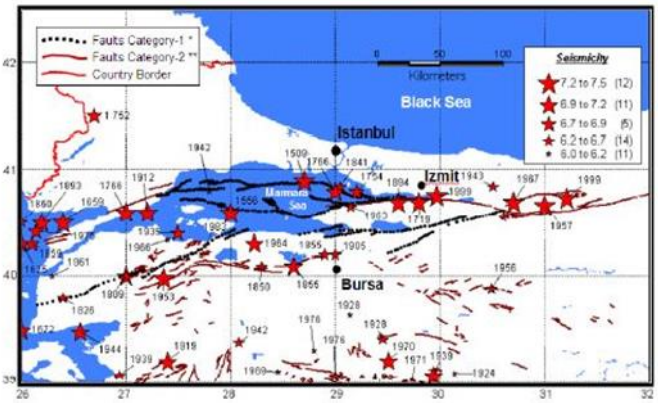
Tablo 1. Zemin Özellikleri

Derinlik	Malzeme	V_s	γ	$Vp=Vs/\sqrt{(1-2\mu)/(2-2\mu)}$	$alfa=(Vp/Vs)^2$	$\mu=(alfa-2)/2*(alfa-1)$	$\varrho=\gamma/g$	$Ec=\varrho*Vp^2$	$E=Ec(1+\mu)(1-2\mu)/(1-\mu)$
m		m/s	(kN/m^3)	m/s			(kNs^2/m^4)	(kN/m^2)	(kN/m^2)
0-2	Dolgu	400,00	18	748,33	3,50	0,3	1,83	1027522,94	763303
2-4	Dolgu	400,00	18	748,33	3,50	0,3	1,83	1027522,94	763303
4-6	Dolgu	400,00	18	748,33	3,50	0,3	1,83	1027522,94	763303
6-11	Silt	500,00	20	935,41	3,50	0,3	2,04	1783893,99	1325178
11-15	Siltli kum	500,00	20	935,41	3,50	0,3	2,04	1783893,99	1325178
15-18	Kil	600,00	20	1122,50	3,50	0,3	2,04	2568807,34	1908257
18-24	Siltli kum	600,00	20	1122,50	3,50	0,3	2,04	2568807,34	1908257
24-38	Kil	600,00	21	1122,50	3,50	0,3	2,14	2697247,71	2003670
38-40	Ana kaya	700	25	1266,35	3,27	0,28	2,55	4086738,95	3196738

2.2. Fatih Külliyesi'nin Depremselliği

1509-1999 tarihleri arasında Marmara Denizi ve çevresinde birçok büyük deprem gerçekleşmiştir. Bölgenin sismik hareketliliği sebebiyle İstanbul ve çevresi de bu depremlerden etkilenmiştir. Şekil 3 de görüldüğü üzere İstanbul ve çevresinde 5 adet büyük deprem gerçekleşmiştir. Bu durum, İstanbul ve çevresinin ortalama 100 yılda bir büyük bir depreme maruz kaldığını göstermektedir. Çalışmada konu edilen, Fatih Sultan Mehmet tarafından İstanbul'un fethini takip eden onuncu yılda 1463-1470 arasında camii ve medreseleriyle bütün müştemilatı mimar Atik Sinan'a yaptırılmış, takip eden

yıllardaki genişlemeyle 10 km^2 kaplayan çok büyük bir komplekse dönüşmüş olan Fatih medreseleri, 1766 yılındaki depremde ağır hasar almıştır. Daha sonra gerçekleşen 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde deprem merkezinden yaklaşık 70 km uzaklıkta bulunan Fatih Camii kompleksi ciddi yapısal hasarlar almıştır. Bu hasarları tespit etmek ve güçlendirme çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla Fatih Camii üzerinde kurulan bir gözlem ağı ile çevrel titreşimler ölçülmüş ve elde edilen veriler üzerinde sayısal sinyal işlemleri uygulanarak analizlere uygun formlara getirilip, spektral ve parametrik analizler yapılmıştır. Sonuçlardan yapısal dinamik özellikler açığa çıkartılmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kuzey kemeri ana kubbe altı seviyede hasar emareleri vermekte olup 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden çok daha az aletsel magnitüdlü İstanbul yada çevresi merkezli bir depremde ciddi yapısal hasarlar oluşturacağı sonucuna ulaşılmıştır [3]-[4].



Şekil 3. Marmara Bölgesi'nde Tarihi Büyük Depremler, M>6 (1509-1999) [10]

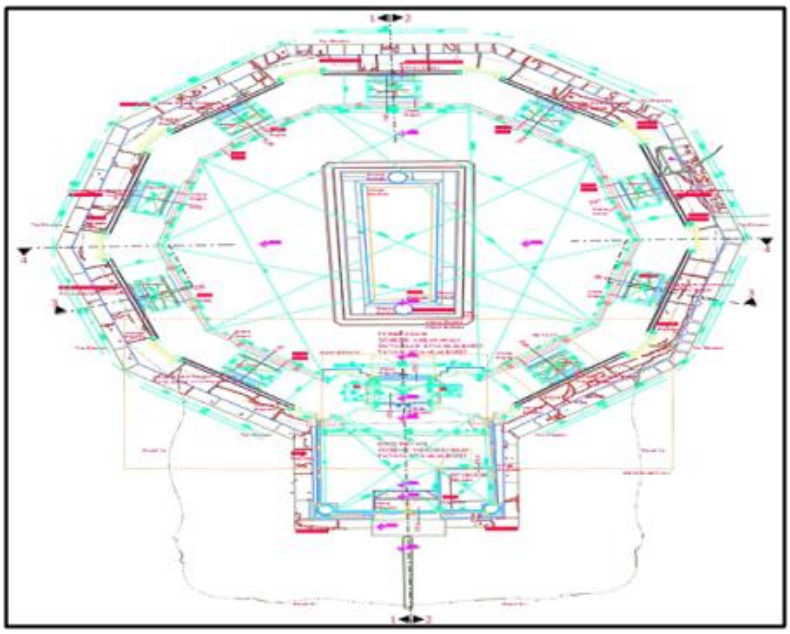
3. FATİH TÜRBESİ

Bu çalışmada, İstanbul İli, Fatih İlçesi, Ali Kuşçu Mahallesi'nde, 41.019268 enlem ve 28.950270 boylamda yer alan Fatih Sultan Mehmet'in kabrinin bulunduğu Fatih Türbesi kullanılmıştır. Mevcut tarihi yapı, 22 Mayıs 1766 tarihinde meydana gelen depremde yıkılmıştır. Türbenin ikinci kez yapımına 6 Aralık 1766 tarihinde başlanmış, 27 Nisan 1767 de tamamlanmıştır.1782 yılında meydana gelen meşhur Cibali yangınından sonra Sultan 1. Abdülhamid Han zamanında onarılıp elden geçirildiği, 1784-1785 tarihindeki kitabeden anlaşılmaktadır. Yapının son restorasyonuna 2014 yılında başlanmıştır. Türbe, kesme taştan, ongen planıyla tek kubbe olarak barok üslubuyla tasarlanmıştır. Mevcut kubbe yükleri pandantifler yardımıyla kemerlere ve oradan dış duvarlara aktarılmaktadır. Şekil 4 te yapının günümüzdeki durumu, şekil 5 de yapının rölöve çalışmalarından elde edilen kesit ve plan görünüşleri gösterilmektedir.

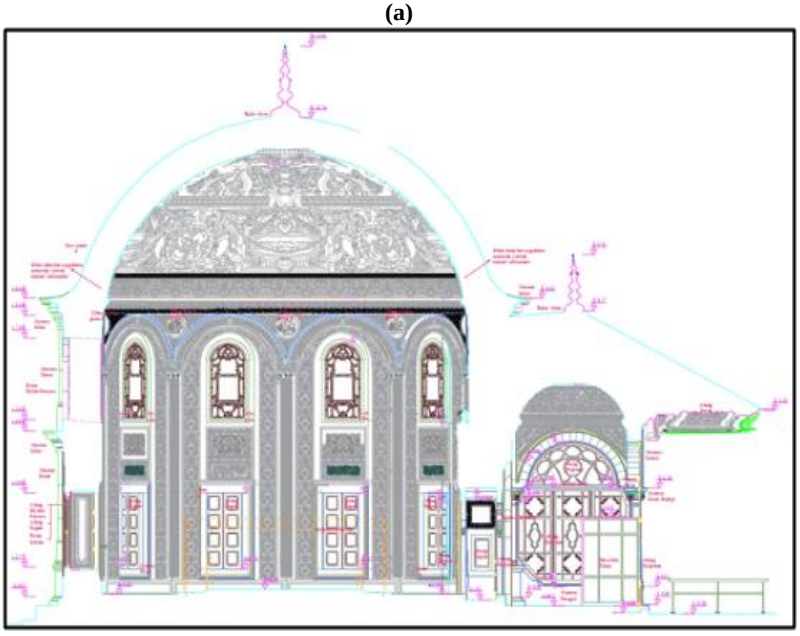


(a) (b)

Şekil 4. Fatih Türbesi (a) dış ve (b) iç görünüş



(a)



(b)

Şekil 5. Fatih Türbesi (a) Plan ve (b) Kesit Görünüşleri
(T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü/İstanbul 1. Bölge Müdürlüğü) [14]

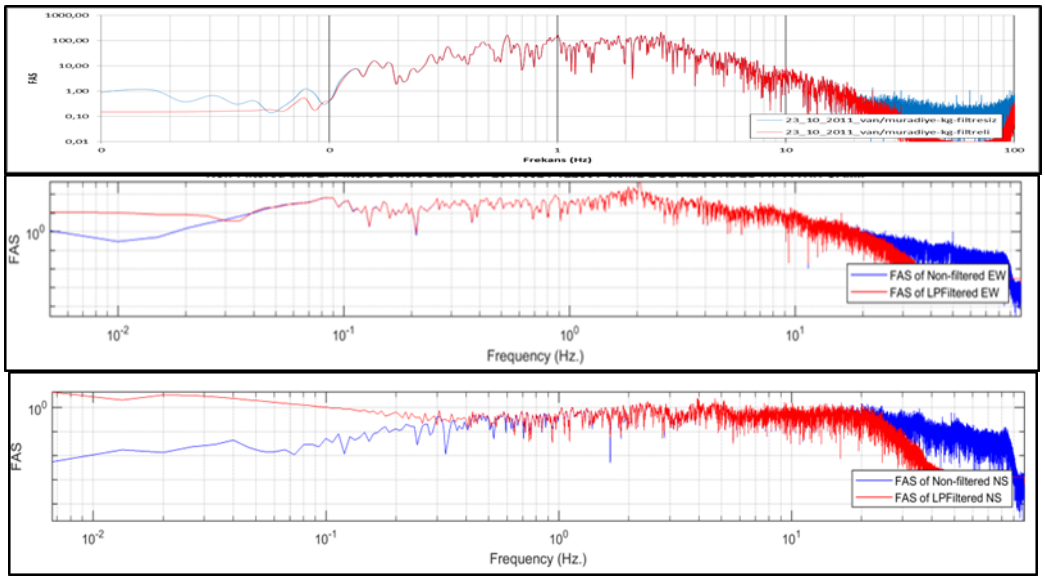
4. KULLANILAN MALZEMELER VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Yapı analizinde kullanılan Sap2000 programında, tüm yapı elemanları kabuk (shell) elemanlarla, zemin tabakaları da üç boyutlu (solid) elemanlar yardımıyla oluşturulmuştur. Yapının mevcut malzeme özellikleri Tablo 2 de gösterilmiştir.

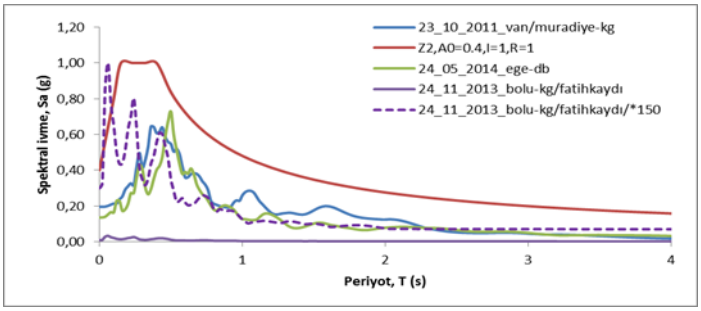
Tablo 2. Yığma yapıya ait mevcut malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modulü	Ɣ	Poisson oranı
	(kN/m^2)	(kN/m^3)	μ
Kubbe,Kemerler ve Pandantifler(tuğla)	1.000.000	18	0.2
Duvar(almaşık)	1.000.000	22	0.2

Mevcut yapı analizinde 3 farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Bu depremler, 23 Ekim 2011 Van depreminin ana kaydı ile 24 Mayıs 2011 Ege depremi ve 24 Kasım 2013 Bolu-Ulumescit depreminin Fatih Camii'nde bulunan cihazıyla alınan kayıtlarıdır. Ham verilerin 0.1-25 Hz aralığı dışındaki gürültüleri, Butterworth filtreleme yöntemiyle kayıtlardan uzaklaştırılmıştır. Bolu-Ulumescit depreminin ivme değerleri oldukça küçük olduğundan, deprem tesirleri zemin içinde sönümlenmiştir. Bu sebeple ilgili kayıt ölçeklendirilerek, analizler büyütülmüş deprem altında gerçekleştirilmiştir. Filtreli kayıtların kullanılması sonucu fourier genlik spektrumları ve ivme spektrumları Şekil 6 ve 7 de gösterilmiştir.



Şekil 6. Sırasıyla van, ege ve bolu depremlerine ait fourier genlik spektrumları

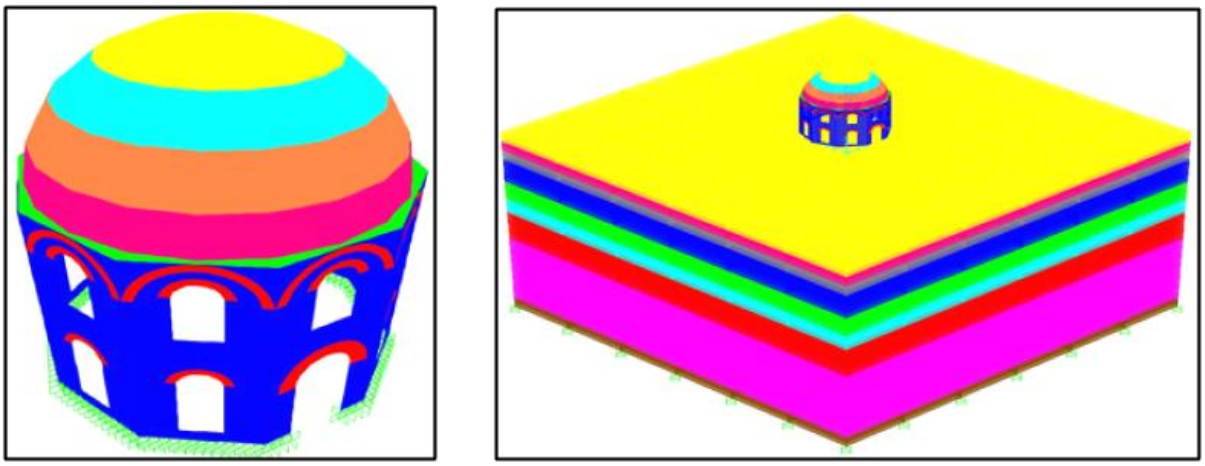


Şekil 7. Spektral ivme-periyot ilişkisi

Şekil 6 da görüldüğü üzere deprem kayıtlarına ilişkin baskın frekanslar, Van-2.8 Hz., Ege-2.039 Hz., Bolu-3.949 Hz.'dir.

5. SAYISALLAŞTIRILMIŞ ÇALIŞMA

Sayısal analizlerin yapıldığı matematik modele ait 3 boyutlu görünüşü Şekil 8 ve bina bilgileri Tablo 3'de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 8. (a) Fatih türbesi sonlu eleman modeli / ankastre mesnet , (b) zemin tarifli model (200x200 m)

Tablo 3. Bina bilgileri

Bina Kat Adedi	1
Kubbe çapı, yüksekliği, kalınlığı	10.50 m, 5.0 m, 0.6-0.3 m
Kubbe alt kotu, üst kotu	8.0 m, 13.0 m
Kemer yükseklikleri	0.25 m (pencere üzeri) , 0.5 m (kapı üzeri)
Kemer alt kotu	6.5 m
Almaşık duvar kalınlığı	1.0 m

Şekil 8 de görüldüğü gibi farklı zemin ve yapı elemanları ayrı renklerle gösterilmiştir. Zemin boyutları 200x200 m'dir. Zemin meshleri yapı altında sıklaştırılmış, yapıdan uzaklaştıkça 5x5 m, daha sonra 10x10 m olarak seyrekleştirilmiştir. Yığma duvar temellerinin zeminin içinde bulunan kısmının zeminle uyumlu davranış gösterdiği varsayılarak zemin içinde temel modellemesi yapılmamıştır. Farklı mesnetlenme türlerine göre farklı depremler altında elde edilen sonuçlar Tablo 4, 5 ve 6 da karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Zemin ve mesnetlenme koşullarına göre yapı ve eleman tesir değerleri (Van Depremi)

Yapı periyotları (s)			Yapı Elemanı	S11 (yatay-çekme) (kg/cm2)		
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı		Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
0,24	0,23	0,32	Kubbe	0,9	0,8	1,2
Taban Kesme Kuvvetleri (kN)			Almaşık Duvar	2	2	2,5
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı		S22 (düşey-basınç) (kg/cm2)		
1609	1608	2273		Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
Tepe Deplasmanları (cm)			Kubbe	1,5	2	2,5
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı	Almaşık Duvar	5	5	7
0,6	0,6	1,55		S12 (kayma) (kg/cm2)		
Modal Kütle Katılım Oranları (%)				Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı	Kubbe	0,8	0,8	1,2
80	74	80	Almaşık Duvar	2	2	3

Tablo 5. Zemin ve mesnetlenme koşullarına göre yapı ve eleman tesir değerleri (Ege Depremi)

Yapı periyotları (s)			Yapı Elemanı	S11 (yatay-çekme) (kg/cm2)		
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı		Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
0,24	0,23	0,32	Kubbe	1	0,7	0,8
Taban Kesme Kuvvetleri (kN)			Almaşık Duvar	1,5	1,5	1,8
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı		S22 (düşey-basınç) (kg/cm2)		
1404	1389	1658		Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
Tepe Deplasmanları (cm)			Kubbe	1,7	1,5	2
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı	Almaşık Duvar	4	5	5
0,53	0,48	1,08		S12 (kayma) (kg/cm2)		
Modal Kütle Katılım Oranları (%)				Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı	Kubbe	0,5	0,5	0,8
80	74	80	Almaşık Duvar	2	1,2	2,5

Tablo 6. Zemin ve mesnetlenme koşullarına göre yapı ve eleman tesir değerleri (Bolu Depremi)

Yapı periyotları (s)			Yapı Elemanı	S11 (yatay-çekme) (kg/cm2)		
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı		Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
0,24	0,23	0,32	Kubbe	2,5	2	1,5
Taban Kesme Kuvvetleri (kN)			Almaşık Duvar	3	2,5	2
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı		S22 (düşey-basınç) (kg/cm2)		
3958	3351	1540		Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
Tepe Deplasmanları (cm)			Kubbe	2	2	1,5
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı	Almaşık Duvar	8	9	6
1,6	1,29	1,1		S12 (kayma) (kg/cm2)		
Modal Kütle Katılım Oranları (%)				Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı
Üst Yapı (Basit)	Üst Yapı (Ankastre)	Zemin+Üst Yapı	Kubbe	2,5	2	0,5
80	74	80	Almaşık Duvar	6	5	1,5

6. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, tarihi yapıların bulunduğu zemin davranışı ve mesnet koşullarının hesaplara dahil edilmesi durumunda ortaya çıkan sonuçlar tartışılmıştır. Buna göre, mevcut tarihi yapıların zemine bağlantısının ankastre veya basit mesnet olarak düşünülmesinin önemli ölçüde farklar getirmediği görülmüştür. Ancak zemin tabakalarının modele katılmasının önemli farklar getirebildiği görülmüştür. Van ve Ege depreminde zemin modellemesi sonuçları büyütürken, Bolu depremi ise küçültmüştür. Farklı frekans içeriğine sahip depremlerin bazıları zemin etkisiyle büyümektedir. Buna karşıt olarak bazı depremlerde zemin, deprem kuvvetlerini azaltmada yardımcı olmaktadır. Bu bağlamda zeminin yapıya yaklaşan seviyelerinde sağlam zemin oluşturulmasıyla deprem etkilerinin azaltılabileceği öngörülmektedir. Tarihi yapılara böyle bir işlevin kazandırılması su kuyularıyla sağlanabilir. Rumi türbesinde görüldüğü üzere tarihi yapılar için yapılacak zemin etütlerinin beden duvarlarının altından alınmasına dikkat edilmelidir. Bu durum, zemin modellemesi ve yapı analizinde önemli değişikliklere sebep olabilir. Bütün kabullerin doğrusal (linear) sınır şartlarında düşünüldüğü bu çalışma, tarihi yapıların güçlendirilmesinde mevcut durumu görmek adına ipuçları vermektedir. Mevcut kabullerin doğrusal olmayan (nonlinear) sınır şartlarında değerlendirilmesi, yeraltı sularının etkisiyle değişen zemin değerlerinin hesaba katılması, yapıda geometrik düzensizlikler bulunması, farklı özellikteki depremlerin veya düşey deprem etkisinin hesaplara katılması, zemin içindeki temel duvarlarının da hesaba katılması, zemin tabakalarındaki yansımaların hesaba katılması gibi durumlar başka bir çalışmanın konusu olabilir.

TEŞEKKÜR

Yapısal analizler için gerekli olan deprem kayıtlarının kullanılmasına olanak sağlayan Kandilli Rasathanesi akademisyenlerinden Prof. Dr. Erdal Şafak ve Prof. Dr. Eser Çaktı'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] Bayraktar A. Depremin Faydaları – 10.bölüm (Basımda), İstanbul, TÜRKİYE, 2017.

[2] Berilgen M. Evaluation of local site effects on earthquake damage of Fatih Mosque. Engineering Geology 2007; 91:2: 240-253.

[3] Beyen K. Fatih Camii Yapısal Davranışının ve Dinamik Özelliklerinin Çevrel Ölçüm Verileri Işığında Tanımlanması. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 2005.

[4] Beyen K. Titreşim verisiyle güncellenmiş sonlu eleman modeliyle hasar simulasyonu (Damage simulation by finite element updating using vibration characteristics). Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2017; 32:2: 403-415.

[5] CSI SAP2000 Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures 15.2.1., Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 2013.

[6] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), Ankara, Türkiye, 2007.

[7] Dikmen SU, Edincliler A, Pınar A. Northern Aegean Earthquake (Mw=6.9): Observations at three seismic downhole arrays in Istanbul. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2015; 77: 321-336.

[8] Güler K, Sağlamer A, Celep Z, Pakdamar F. Structural And Earthquake Response Analysis Of The Little Hagia Sofhia Mosque, 2004; Vancouver, Kanada.

[9] Güllü H. Tarihi Bir Köprünün Zemin-Yapı Etkileşiminin İrdelenmesi, 5.TEGGGDS, 2015; Erzurum, Türkiye.

[10] Kalkan E, Gülkan P, Öztürk NY, Çelebi M. Seismic Hazard In The Istanbul Metropolitan Area: A Preliminary Re-Evaluation. Journal of Earthquake Engineering 2008; 12:2, 151-164.

[11] Loli M, Anastasopoulos I, Gazetas G, Cattari S, Abbati SD, Lagomarsino S. Response of Historic Masonry Structures to Tectonic Ground Displacements, 15WCEE, 2012; Lizbon, Portekiz.

[12] Sayar C. The Geology of the Golden Horn (Haliç) and Surrounding Region: Bosphorus University, National Symposium on the Golden Horn 1976; 355-374.

[13] Şahin M., (2008). İstanbul Fatih İlçesi Zemin Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2008;İstanbul, Türkiye.

[14] T. C. Başbakanlık Vakıflar İstanbul 1.Bölge Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye.