TARİHİ YAPI DAVRANIŞINA ZEMİN, MESNET, YATAY VE DÜŞEY DEPREM KOŞULLARININ ETKİSİ

EFFECTS OF LOCAL SOIL, SUPPORTS, HORIZONTAL AND VERTICAL STRONG GROUND MOTION CONDITIONS ON THE RESPONSES OF HISTORIC STRUCTURES

Günal EREN[1] ve Kemal BEYEN[2]

ÖZET

Bu çalışmada, tarihi yapıların deprem performansında zemin ve mesnet koşulları etkisinin nümerik modelde dikkate alınması durumunda ortaya çıkan sonuçlar ile zemin ve mesnet koşullarının gözardı edildiği durumdaki sonuçların karşılaştırması yapılmıştır. 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. Yapı, değişik enerji ve frekans içeriği olan deprem hareketleri altında ilk olarak sadece yatay deprem kuvvetine maruz bırakılmıştır. Daha sonra yapıya yatay deprem hareketiyle beraber düşey deprem hareketi de 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 performansının belirlenmesinde zemin etkisinin önemli olduğu, düşey deprem etkisinin performans değerlerini değiştirebileceğini ve gözlenen farkların güçlendirme çalışmalarında güvenilir ve yapıcı kararların alınmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Yerel zemin koşulları, Mesnet etkisi, Tarihi yapılar, Düşey deprem hareketi.*

ABSTRACT

In this study, under horizontal and vertical strong ground motions, effects of local soil and support conditions on the earthquake performance of historical structures in the numerical model and the results of neglected cases were compared. For this purpose, the structure of the tomb of Fatih Sultan Mehmet Khan in the Fatih Complex was examined. 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 first subjected to horizontal earthquake input motion with different energy and frequency content. Then, the same structure was tested again in the time domain by giving both horizontal and vertical earthquake input motions together. 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. In case of support connections

[1]İnş. Y. Müh., Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, g.eren34@hotmail.com
[2] Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, kbeyen@kocaeli.edu.tr

either simple or fixed end, close values are observed. Inclusion of the local ground model produces important effects on structural responses. 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. It is observed that the performance values can be changed under vertical earthquake inputs. Such results give important contributions to decision makers for reliable strengthening techniques.

Keywords: *Localsoilconditions, Supporteffect, Historicalconstructions, Vertical earthquake motion.*

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 1996 yılında yapılan bir çalışmada, Venedik'te bulunan St.MarksBazilikası'nın deprem performansı hesaplarında nümerik modele zemin modellemesi de eklenerek sonuçlar tartışılmıştır. (Mola vd.,1996)2001 yılında yapılan bir çalışmada, Roma'daki Kolezyum yapısı için zemin rijitliğinin ve deprem hareketlerinin yapı üzerinde oluşturmuş olduğu etkiler incelenmiştir. Bu sebeple yapı zeminiyle beraber modellenerek analiz edilmiştir. Sonuç olarak yapıdaki oturmaların ve zemin hareketlerinin tek başına yıkıcı tesirler oluşturmadığı, depremlerin yapıya bu konuda daha çok yıkıcı tesirler ürettiği gözlemlenmiştir. (Cerone vd., 2001) 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. (Güler vd., 2004) 2012 yılında yapılan bir çalışmada da,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(Loli vd., 2012).Son örnek olarak 2015 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise tarihi Şenyuva köprüsünün deprem etkisindeki davranışı zemin-yapı etkileşimi kapsamında irdelenmiştir. Depremli ve depremsiz durumlar için köprü üzerindeki gerilmeler karşılaştırılmıştır. (Güllü,2015).

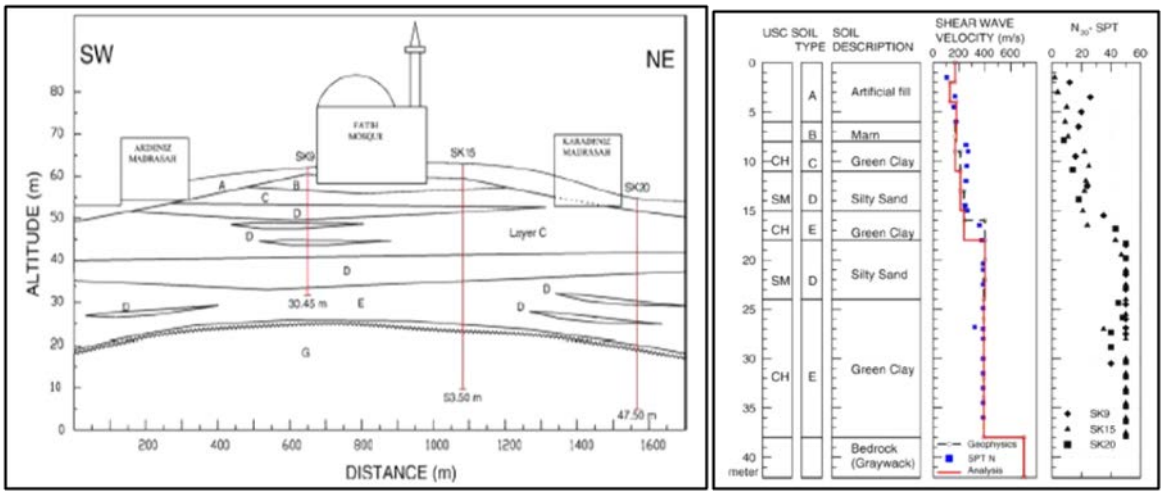
Yine tarihi yapılar adına eksik kalan çalışmalardan biri ise günümüz yapılarında etkileri bazı yönetmeliklerde dikkate alınan, bazılarında ise alınmayan düşey ivme etkisidir. Akademik çalışmaların genelinde düşey ivme etkisi, yatay ivmenin 2/3 ü oranında bir değerle ifade edilmektedir. Kaydedilen depremler göstermiştir ki yapının faya uzaklığı azaldıkça düşey ivmenin yapı üzerindeki etkisi artabilmektedir. Böyle bir etki, yapı üzerindeki hasar dağılımını dolayısıyla yapının deprem performansını etkilemektedir. Örneğin 2015 yılında yapılan bir çalışmada, TDY-2007 can güvenliği performans seviyesi için yatay etkitilen elastik tasarım ivme spektrumu ve göz önüne alınmayan düşey deprem yer hareketinin tipik bir betonarme yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Türkiye'de günümüze kadar kaydedilmiş depremlerden, düşey ivmesi 0,1g'yi geçmiş olan kayıtlardan seçilen verilerle basit bir yöntem uygulanarak bir düşey ivme spektrumu önerilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Mevcut yönetmeliğin lineer tasarım şartlarında güvenli tarafta kaldığı ancak mevcut yapı olarak değerlendirildiğinde, düşey ivme etkisinin kolonlardaki eksenel kuvvetleri değiştirmesi sonucu farklı hasar dağılımları gözlenmiştir. (Eren vd., 2015)Böylelikle yığma yapıların sürekli basınç etkisi altında kalması düşünüldüğünde, düşey ivme etkisinin hesaplara dahil edilmesiyle farklı sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmada, tarihi yapıların zeminle beraber modellenmesi ile zemine ankastre veya basit mesnet olarak bağlanması durumlarıkarşılaştırılmıştır. Farklı frekans içeriğine sahip depremler yapıya ilk olarak sadece yatay doğrultuda, daha sonra hem yatay hem de düşey doğrultuda etkitilerek ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

FATİH BÖLGESİNİN YERBİLİMSEL VE DEPREMSEL ÖZELLİKLERİ

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(Sayar, 1976).



(a) (b)

Şekil 1. Fatih Medresesi zeminine ait kesit (a), malzeme, kayma dalgası hızı ve SPT (b) değerleri (Berilgen,2007)

Şekil 2. Yapı beden duvarlarının oturduğu zeminden numune alınması /Celaleddin Rumi Türbesi, Konya (Bayraktar,2017)

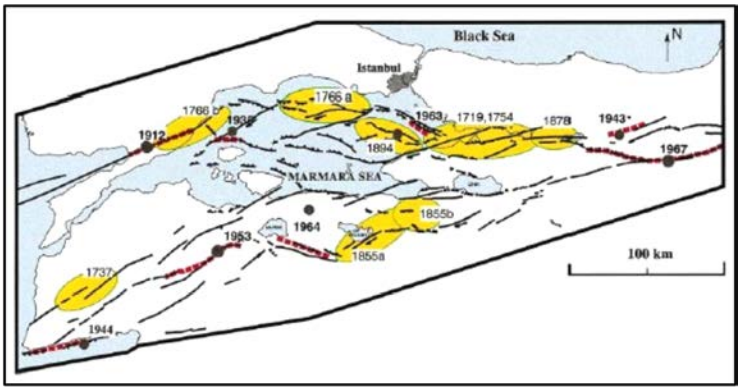
Bölgenin zemin değerlerinin ortaya çıkarılması için farklı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin 2007 yılında yapılan çalışmada, Fatih Camisi'nde yerel zemin etkilerinin incelenmesi amacıyla zemin profili çıkarılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere zemin kayma dalgası hızı 160-400 m/sn arasında değişmektedir (Berilgen, 2007). 2008 yılında yapılan çalışmada, Fatih ilçesinin zemin özellikleri belirlenmiştir. Buna göre, Güngören Formasyonu için kayma dalgası hızı 365±50 m/s 'dir (Şahin, 2008). Yine 2015 yılında yapılan bir çalışmada, Fatih bölgesinde zemin kayma dalgası hızının 300-

600 m/s arasında değişmekte olduğu saptanmıştır (Dikmen vd., 2015). 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. Celaleddin Rumi Türbesi için alınan temel altı numunelerinde, bahçeden alınan numunelere oranla zemin emniyet gerilmesinin %40 arttığı tespit edilmiştir (Şekil 2). Böylelikle tarihi yapılarda sürekli basınç altındaki zemin değerlerinin kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Bayraktar, 2017). 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= $(Vp/Vs)^2$	μ=(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

Fatih Külliyesi'nin Depremselliği



Şekil 3. Marmara Bölgesi'nde Tarihi Büyük Depremler (Mert vd., 2010)

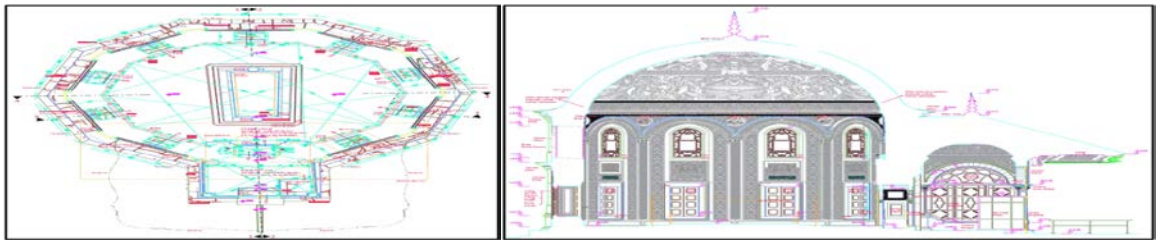
Şekil 3 de görüldüğü üzere Marmara Denizi ve çevresi son 3 yüzyılda 18 adet yıkıcı nitelikte depreme maruz kalmıştır. Bu depremlerden 5 tanesi İstanbul ve çevresinde büyük hasarlar meydana getirmiştir. Çalışmada konu edilen, Fatih Sultan Mehmet tarafından İstanbul'un fethini takip eden onuncu yılda 1463-1470 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 (Beyen,2005, 2017).

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.

(a) (b)

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



(a) (b)

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

KULLANILAN MALZEMELER VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

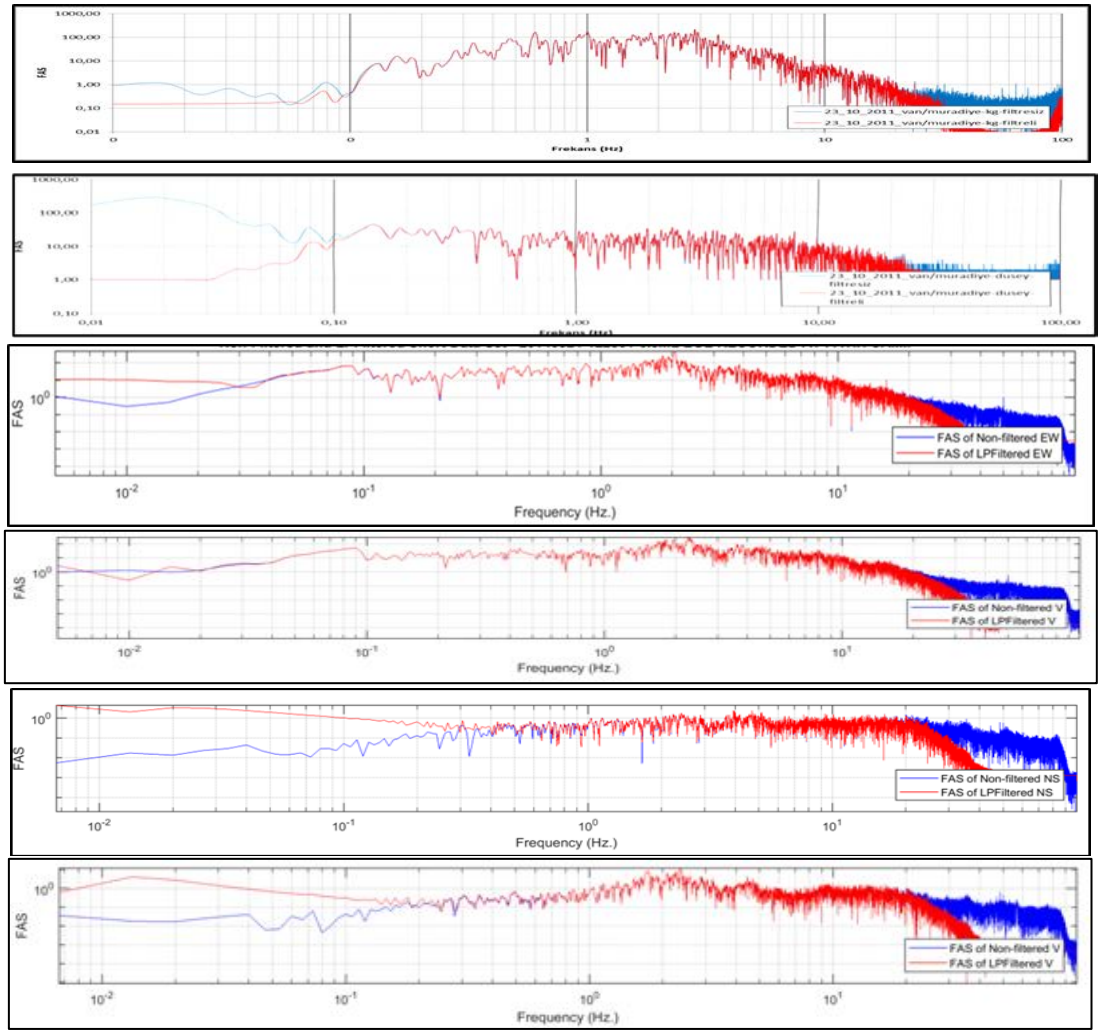
Yapı analizinde kullanılan Sap2000 programında, tüm yapı elemanları kabuk (shell) elemanlarla, zemin tabakaları da üç boyutlu (solid) elemanlar yardımıyla oluşturulmuştur. Zemin özellikleri solid elemanlara, elastisite ve kayma modülü verilerek tariflenmiştir. Fatih camii ana yapısı dışında inşaa edilmiş olan I. Mahmut kütüphane binası zaman içinde önemli yapısal hasarlar almıştır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremiyle mevcut çatlaklar büyüdüğü gibi ilave taşıyıcı özelliği olan taş duvarlar ve taş taş arası harç dolgu çatlakları yayılmıştır. Geçmiş onarımlarda yanlış kullanılmış olan ve yapıya zarar veren çimento sıva tabakaları yapıdan uzaklaştırıldığında (Vakıf Restorasyon Yıllığı, 2013) hasarlı ve soyulmuş olan taşıyıcı duvarların mukavemetinin mevcudu yansıtmak üzere zayıflatılmasına karar verilmiştir. Dönemin yapılarında görülen 2500-3000mPa olan değerler 1000mPa, kütle yoğunluğu genelde izlenen değerlere taş+fırın dolgu tuğla+harç+kenetlerden oluşan bir duvar yapıyı temsilen 22 kN/m^3 ile poisson oranı 0.2 ve ortalama sönüm yüzdesi %5 ile modellenmiştir.Yapının mevcut malzeme özellikleri Tablo 2 de gösterilmiştir.

Tablo 2. Yığma yapıya ait mevcut malzeme özellikleri

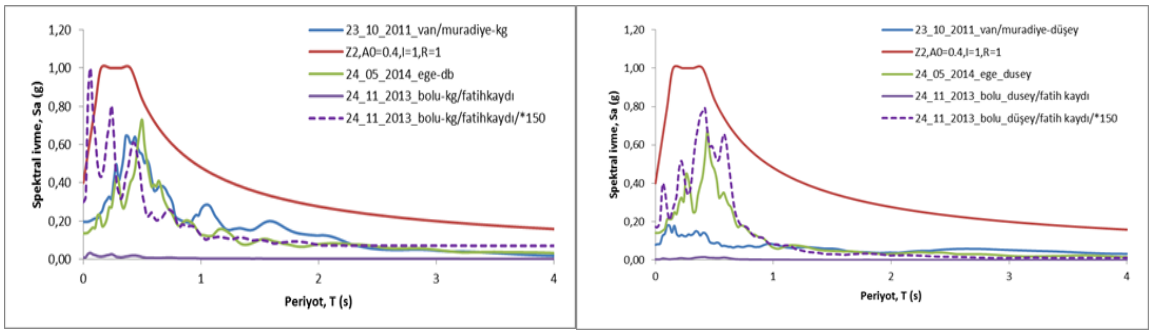
Malzeme	ElastisiteModulü	Ɣ	Poisson oranı
	(kN/m^2)	(kN/m^3)	μ
Kubbe,Kemerler ve Pandantifler(tuğla)	1.000.000	18	0.2
Duvar(almaşık)	1.000.000	22	0.2

Günümüzde sadece şiddetli depremin yapılarda yıkıcı tesirler oluşturduğu düşünülmektedir. Zaman ve frekans içeriklerinin an be an değiştiği depremin enerji bileşeninin farklı frekansa yada frekans

bandına yığılması mümkündür. Bu sebepten ötürü 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-Ulumescitdepreminin 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.



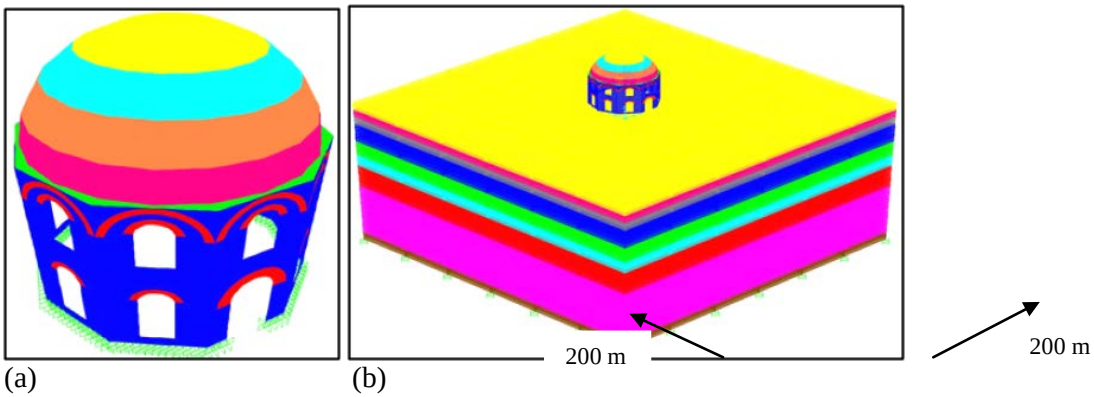
Şekil 6. Sırasıyla van, ege ve bolu depremlerine ait fourier genlik spektrumları (yatay ve düşey bileşen)



(a) Yatay (b) Düşey

Şekil 7. Spektral ivme-periyot ilişkisi

SAYISALLAŞTIRILMIŞ ÇALIŞMA

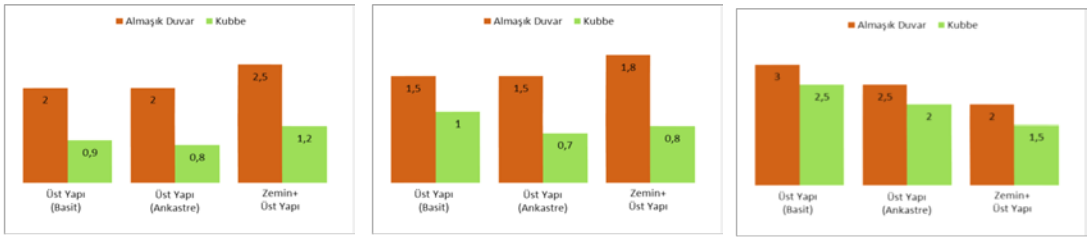


Şekil 8. Fatih Türbesi Sonlu Eleman Modeli, ankastre mesnetli (a), zemin modellenmiş (b)

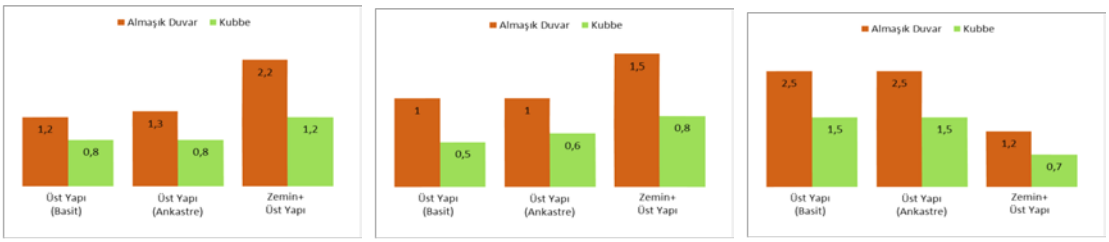
Tablo 3. Bina bilgileri

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

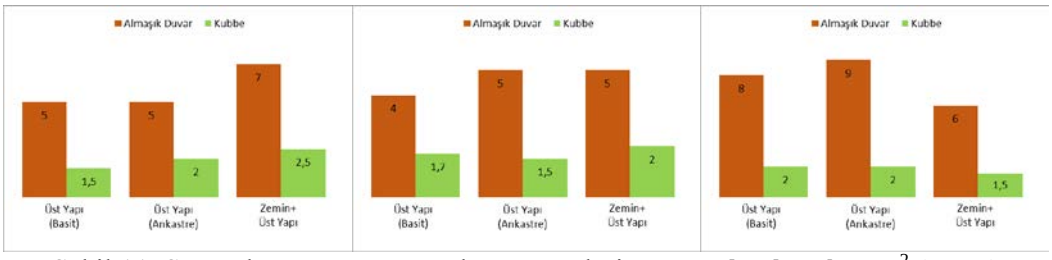
Şekil 8 de görüldüğü gibi farklı zemin ve yapı elemanları ayrı renklerle gösterilmiştir. Zemin meshleri yapı altında sıklaştırılmış, yapıdan uzaklaştıkça 5x5 m, daha sonra 10x10 m olarak seyrekleştirilmiştir. Z2 sınıfı bir zeminin bulunduğu bölgenin zemin sönüm katsayısı %5 olarak kabul edilmiştir. Bütün mesnet şartlarında aynı zemin özellikleri kullanılarak sonuçlardaki etkisi tartışma dışında tutulmaya çalışılmıştır. Çalışmanın amacı gereği tarihi yapılarda yapı-zemin modelinin kazanımı ve mesnet etkisi zeminin çok değişebilen sönüm özelliğiyle kompleks hale getirilmemeye çalışılmıştır. Taban kayasından yüzeye doğru yayılan kayma dalgalarının yayılımı olarak lineer zemin davranışı olduğu öngörülmüş ve zeminde oluşabilecek kalıcı deformasyonlar mesnet şartlarının sonuçlarını tartışılır hale getireceğinden bu çalışmaya dahil edilmemiştir. Farklı mesnetlenme türlerine göre farklı depremler altında, sadece yatay deprem yükünün etkimesi ile yatay+düşey deprem yükünün etkimesi durumuna ait sonuçlar Şekil 9-10-…-19-20 de karşılaştırılmıştır.



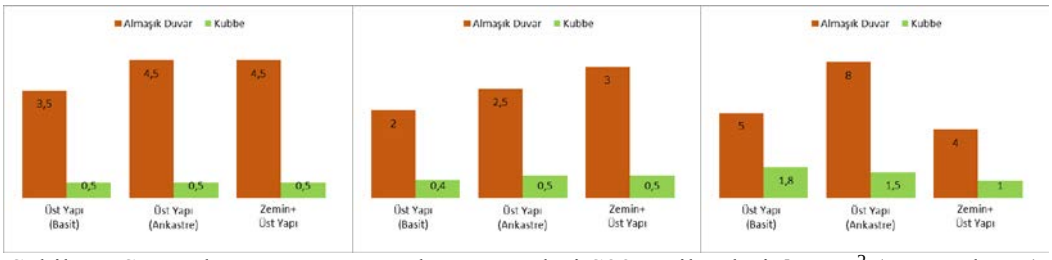
Şekil 9. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri S11 gerilmeleri, kg/cm^2 (yatay)



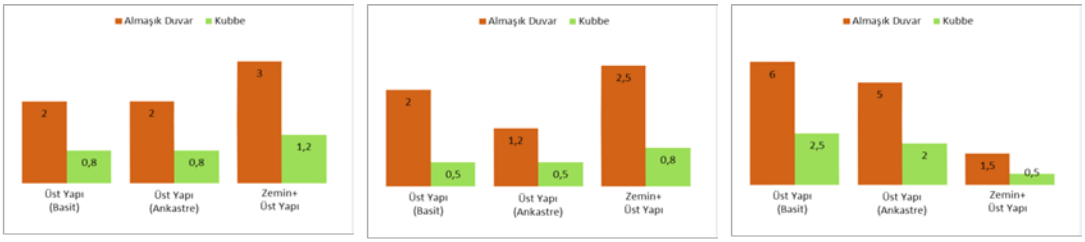
Şekil 10. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri S11 gerilmeleri, kg/cm^2 (yatay+düşey)



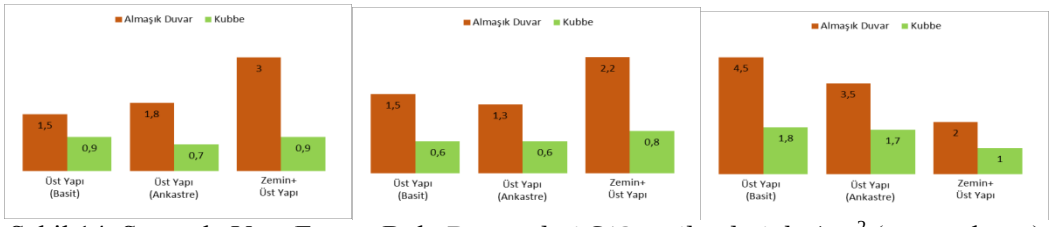
Şekil 11. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri S22 gerilmeleri, kg/cm^2 (yatay)



Şekil 12. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri S22 gerilmeleri, kg/cm^2 (yatay+düşey)



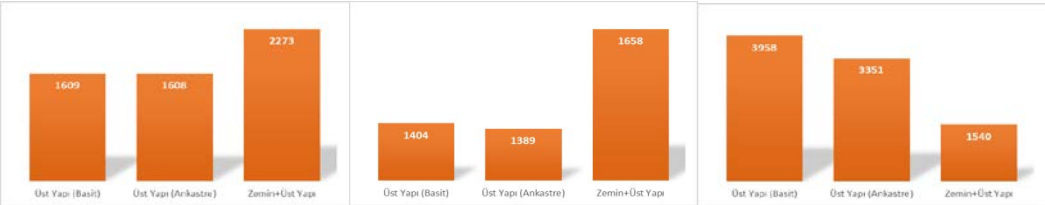
Şekil 13. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri S12 gerilmeleri, kg/cm^2 (yatay)



Şekil 14. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri S12 gerilmeleri, kg/cm^2 (yatay+düşey)

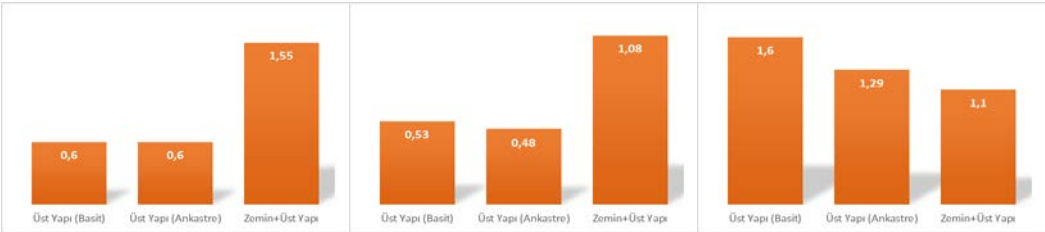
Şekil 15. Sırasıyla Van/yatay ve Van/yatay+düşey Depremlerine Göre Yapı Periyotları, s

Şekil 16. Sırasıyla Van/yatay ve Van/yatay+düşey Depremlerine Göre Modal Kütle Katılım Oranları,%

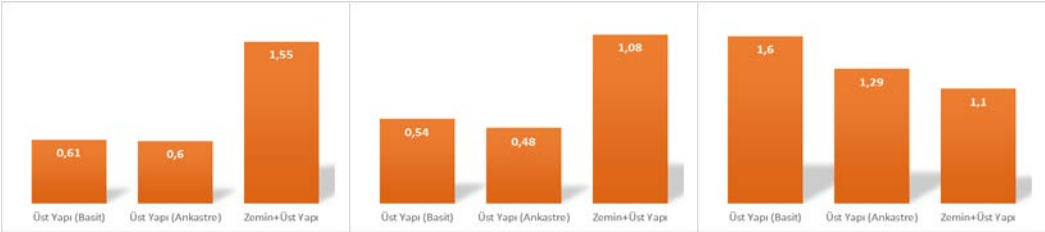


Şekil 17. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri Taban Kesme Kuvvetleri, kN (yatay)

Şekil 18. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri Taban Kesme Kuvvetleri, kN (yatay+düşey)



Şekil 19. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri Tepe Deplasmanları, cm (yatay)



Şekil 20. Sırasıyla Van, Ege ve Bolu Depremleri Tepe Deplasmanları, cm (yatay+düşey)

SONUÇ

Yapılan çalışmada, kullanılan sonlu eleman yazılımının sunduğu lineer elastik, homojen ve izotropik malzeme davranışı içinde Fatih camii zemin yapısının tanımlanan özellikleri için analizler yürütülmüş ve sonuçları tartışılmıştır. Bu sonuçlar ışığında,mevcut tarihi yapıların zemine bağlantısının ankastre veya basit mesnet olarak düşünülmesinin önemli ölçüde farklar getirmediği görülmüştür. Ancak zemin tabakalarının modele katılmasıyla sonuçların değişkenlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Düşey ivmenin hesaba katıldığı durumlarda, modal kıstasların önemli ölçüde etkilenmediği fakat elemanların üzerine oluşan gerilmelerin değişkenlik gösterebildiği gözlemlenmiştir. Farklı frekans içeriğine sahip depremler, yerel zemin koşullarından dolayı etkilerini büyütüp küçültebilmektedir. Analizlerde kullanan kayıtlarda Van depremi için yatay bileşenin frekans genliği düşeye göre daha büyüktür. Ege depreminde ise yatay ve düşey bileşenin frekans genlikleri birbirine benzemektedir. Bolu depreminde ise düşey deprem frekansının genliği yatay deprem frekansının genliğinden büyüktür. Yatay bileşenin baskın veya düşey bileşenle uyumlu olan depremlerde, yapı-zemin modelli örnekte yapıya gelen deprem tesirleri artmıştır. Düşey depremin baskın olduğu depremde ise bu tesirler azalmıştır. Yapı elemanları açısından düşünüldüğünde, yatay depremin etkin olduğu Van ve Ege depremlerinde, basınç gerilmelerinin önemli değişikliğe uğramaması nedeniyle almaşık duvar ve kubbelerde oluşan çekme,basınç ve kayma gerilmeleri gerek yatay gerekse yatay+düşey depremin beraber etkimesi durumunda benzer sonuçları üretmiştir. Fakat düşey depremin etkin olduğu Bolu depreminde ise düşey ivme etkisiyle değişen basınç gerilmeleri dolayısıyla, çekme ve kayma gerilmelerinde artma ve azalmalar gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, tarihi yapılarda zemin modellemesinin yapılması, değişik

frekans içeriğine sahip depremlerin ve düşey ivmenin hesaplara dahil edilmesi hesap sonuçlarını oldukça farklı noktalara taşımaktadır. Yapının zeminiyle beraber modellenmesinin daha doğru olduğu görülmektedir. Yapı sağlığı izleme sistemleriyle elde edilen tarihi yapı çalışmalarında mevcut yapıların mod şekilllerinin nümerik modelde tam yansıtılamamaktadır. Model kalibrasyonu kaçınılmaz olarak uygulanmalıdır.Ayrıca Rumi türbesinde görüldüğü üzere yapılacak olan zemin etütlerinde, zemin modellemesini daha doğru yapabilmek adına yapıların beden duvarlarının altından numune alınmasına dikkat edilmelidir. 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 veya daha büyük açıklıklı yapıların irdelenmesi, farklı özellikteki depremlerin hesaplara katılması, zemin içindeki temel duvarlarının da hesaba katılması, zemin tabakalarındaki yansımaların da hesaba katılması gibi durumlar başka bir çalışmanın konusu olabilir.

Teşekkür
Yapısal analizler için gerekli olan deprem kayıtlarının kullanılmasına olanak sağlayan Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Bölümü akademisyenlerinden Prof. Dr. Erdal Şafak ve Prof. Dr. Eser Çaktı'yateşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Mert A, Fahjan Y, Pınar A, Hurchings L (2010) ''Strong Ground Motion Synthesis For A Rupture On Princes' Island Fault Using Empirical Green's Functions'', 14ECEE, Ohrid, Makedonya, 30Ağustos-03 Eylül

Bayraktar A (2017) Depremin Faydaları (Basımda), Beta Yayınevi, İstanbul

Berilgen M (2007) ''Evaluation of local site effects on earthquake damage of Fatih Mosque'', *Engineering Geology*, 91:2, 240-253

Beyen K (2005) ''Fatih Camii Yapısal Davranışının ve Dinamik Özelliklerinin Çevrel Ölçüm Verileri Işığında Tanımlanması'', *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart

Beyen K (2017) ''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*, 32:2, 403-415

CSI SAP2000 (2013). Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures 15.2.1., Computers and Structures, Inc., Berkeley, California

DBYBHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara

Dikmen U, Edinliler A, Pınar A (2015) ''Northern Aegean Earthquake (Mw=6.9): Observations at three seismic downhole arrays in Istanbul'', *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 77, 321-336

Eren G, Beyen K (2015) ''Düşey Deprem Etkisinde Tipik Bir Binada Gözlenen Performansin Tartişilmasi'', 8UDMK, İstanbul, Türkiye, 11-14 Mayıs

Güler K, Sağlamer A, Celep Z, Pakdamar F (2004) ''Structural And Earthquake Response Analysis Of The Little Hagia Sofhia Mosque'', Vancouver, Canada, 1-6 August

Güllü H (2015) ''Tarihi Bir Köprünün Zemin-Yapı Etkileşiminin İrdelenmesi'', 5TEGGGDS, Erzurum, Türkiye, 1-3 Ekim

Loli M, Anastasopoulos I, Gazetas G, Cattari S, Abbati D, Lagomarsino S (2012) ''Response of Historic Masonry Structures to Tectonic Ground Displacements'', 15WCEE, Lizbon, Portekiz, 24-28 Eylül

Mola F, Vitaliani R (1995) ''Analysis, diagnosis and preservation of ancient monuments: the St. Mark's Basilica in Venice'' 1. CIMNE, Barselona, İspanya, 166–188

Sayar C (1976) ''The Geology of the Golden Horn (Haliç) and Surrounding Region: Bosphorus University'', *National Symposium on the Golden Horn*, 355-374

Şahin M (2008) İstanbul Fatih İlçesi Zemin Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

T.C. Başbakanlık Vakıflar İstanbul 1.Bölge Müdürlüğü, İstanbul http://istanbulavrupa.vgm.gov.tr

Vakıf Restorasyon Yıllığı-Sayı 7 (2013) Fatih Camii ve I. Mahmut Kütüphanesi Proje Değerlendirme ve Uygulamaları''