

TBDY-2018'DE VERİLEN TASARIM SPEKTRUMLARININ ANITSAL YIĞMA YAPI SİSMİK DAVRANIŞINA ETKİSİ

Fatih AVCİL^{1*}, Ercan IŞIK², Hüseyin BİLGİN³, Hayri Baytan ÖZMEN⁴

¹⁻²Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, 13100, Türkiye

³Epoka Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tiran, 1001, Arnavutluk

⁴Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Uşak, 64300, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 30.12.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 30.03.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1051120

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, 2018 yılında güncellenen Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile kullanılmaya başlanan tasarım spektrumlarının yığma tarzda inşa edilmiş bir minare için etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Aynı deprem bölgesi içerisinde yer alan fakat her bir yerleşim birimi için özel olarak kullanılan tasarım spektrumlarının minare sismik davranışına etkisi araştırılmıştır. Çalışma ile dikkate alınan yedi farklı coğrafik konum için deprem parametreleri ile yatay ve düşey tasarım spektrumları ayrıca karşılaştırılmıştır. Örnek olarak seçilen yığma minarenin taban kesme kuvvetleri, yerdeğiştirme, periyot ve maksimum gerilme değerleri her bir yerleşim birimi için ayrı ayrı yapısal analizler sonucu elde edilmiştir. Çalışma, tasarım spektrumun farklılaşmasının yapısal analizleri önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Bir önceki yönetmelikte bölgesel bazda aynı değerler alan yerleşim birimleri için güncel yönetmelikte tamamen farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şanlıurfa, Ulu Camii Minaresi, Tasarım Spektrumu, Deprem Parametreleri

THE EFFECT OF DESIGN SPECTRA GIVEN IN TBEC-2018 ON SEISMIC BEHAVIOR OF MONUMENTAL MASONRY STRUCTURE

ABSTRACT

Within the scope of this study, the effects of design spectra, which were started to be used with the Turkish Building Earthquake Code updated in 2018, for a masonry minaret were tried to be revealed. The effect of the design spectra, which are located in the same seismic zone but used specifically for each settlement, on the seismic behavior of minarets has been investigated. Seismic parameters, horizontal and vertical spectra were also compared for seven different locations considered in this study. Base shear forces, displacement, period, and maximum stress values of the sample masonry minaret were obtained as a result of structural analyzes for each settlement, respectively. The study revealed that the differentiation in the design spectrum significantly affects the structural analysis. In addition, completely different results were obtained in the current regulation for the settlements that had the same values on a regional basis in the previous regulation.

Keywords: Şanlıurfa, Ulu Camii minaret, design spectra, seismic parameters

1. Giriş

Anıtsal yığma yapılar, insanlığın varoluşundan itibaren insanların ibadet ihtiyaçlarını karşılamak üzere inşa edilmişlerdir. Bu tür yapılar genellikle herhangi bir mühendislik hizmeti almadan bölgesel malzeme ve işçilik kullanılarak dizayn edilmiş ve birçoğu, farklı doğal afetlere karşı direnerek günümüze kadar ulaşmışlardır. Aynı zamanda, bu tür yapılar toplumların mühendislik birikimleri, sanat

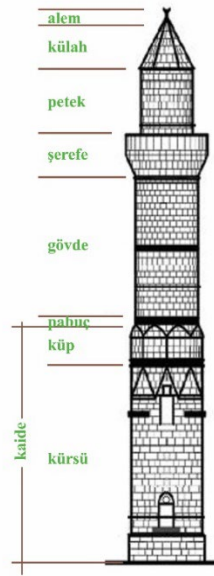
* 1e-posta: favcil@beu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6550-550X> (Sorumlu Yazar)

²e-posta: cisik@beu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8057-065X>

³e-posta: hbilgin@epoka.edu.al ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5261-3939>

⁴e-posta: baytan.ozmen@usak.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6750-8632>

anlayışları ve ekonomik durumlarının da bir göstergesidir [1-3]. Bu tür yığma yapıların içinde farklı inançların sembelleri olan ibadet yapıları ayrı bir öneme sahiptir. İnançlara göre, farklı şekillerde inşa edilen ibadet yapıları ile ilgili farklı disiplinler veya disiplinler arası günümüzde çok sayıda çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu yapılar, geçmiş ile geleceği kuvvetle bağlayan paha biçilemez kültür varlıklarıdır [4]. Dünyanın değişik bölgelerinde yer alan ve kültürel mirasın bir parçası olan tarihsel yapılar ile ilgili çalışma ve araştırmalar gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır [5-7]. Bu bağlamda; San Marco Kilisesi [8], Romanesque Kilisesi [9], Sherith Israel [10], Ben Ezra Sinagogu [11], Oni Sinagogu [12], Apollo Tapınağı [13], Evora Roma Tapınağı [14], Bigali Kale Camisi [15], Kermanşah tarihi camileri [16] ve Gazi Hasan Paşa Camisi [17] ile ilgili yapılan çalışmalar yığma tarzda inşa edilen ibadethanelerin deprem davranışlarının belirlenmesi ile ilgili yapılan bazı çalışmalardır. İslam inancında önemli bir yere sahip olan minareler, genel olarak ezan okunan kule şeklinde inşa edilen yüksek ve ince yapılardır. Yığma, beton, betonarme ve çelik gibi farklı tür malzemeler kullanılarak inşa edilebilmektedir. Minareler, kürsü, pabuç gövde, şerefe, petek, külah ve alemden oluşmaktadır. Bu kısımlar Şekil 1’de örnek bir minare üstünde olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Minarede bulunan kısımlar [18, 19]

Minareler ile ilgili farklı çalışmaların yapılması tarihi ve kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması adına önem arz etmektedir. Yığma tarzda inşa edilmiş ve günümüze kadar sağlam bir şekilde ayakta kalmış bu yapıların deprem davranışı etkisi altındaki davranışları akademinin ilgisini çekmiştir. Dört Ayaklı Minare [20], Kadı Mahmut Cami Minaresi [21], Yivli minare [22], Antalya yığma minareleri [23], Kırklareli Hızırbey camii minaresi [24], Edirnekapı Mimrimah Sultan Cami minaresi [25], Aksaray ilçesinde yer alan yedi farklı minare [26], Bursa Ulu Camii minaresi [27], Sundura Camisinin minaresi [28], Ayasofya Camisinin minareleri [29] ve Yeşil Minare [30] gibi çalışmalar, minareler ile ilgili yapılan bazı çalışmalardır. Bu çalışmalarda farklı sismik analiz yöntemleri kullanılarak minarelerin sismik davranışları ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu çalışmaların birçoğunda deprem etkisi altında yapısal analizler gerçekleştirilirken tasarım spektrumları kullanılmıştır. Tasarım spektrumları farklı ülkelerde farklı şekillerde olabilmekte ve zaman içerisinde teknoloji ve diğer gelişmelerden dolayı değişebilmektedir. Bu bağlamda, Türkiye’de de 2018 yılında hem deprem yönetmeliği hem de deprem tehlike haritaları güncellenmiştir. Türkiye’de farklı tarihlerde on farklı deprem yönetmeliği ve yedi farklı deprem bölgeleri haritası kullanılmıştır.

Deprem ve inşaat mühendisliği alanındaki bilimsel ve teknolojik gelişmeler, depreme dayanıklı yapı tasarım kurallarında zaman içerisinde yenilenme, ekleme ve güncelleme ihtiyacını kaçınılmaz kılmaktadır [31-33]. Türkiye’de de on farklı tarihte bu işlemler gerçekleştirilmiş ve 2018 yılında Türkiye

Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) [34] adını almıştır. Yeni yönetmelikteki önemli değişimlerden biri bölgesel bazda deprem parametreleri hesabı yerine her bir coğrafi konuma özel hesaplamanın kullanılması olmuştur [35,36]. Bu bağlamda bir önceki yönetmelikte aynı deprem bölgesi içerisinde yer alan tüm yerleşim birimlerinde tek bir spektrum eğrisi kullanılmakta idi. Ancak güncel yönetmelik ile her bir coğrafi konuma özgü tasarım spektrumları kullanılmaya başlanmıştır. Bu açıdan yapıların tasarım ve değerlendirilmesi de bir anlamda coğrafi konuma bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Özellikle güncel deprem yönetmeliğinde bu ve benzeri değişimler deprem bölgeleme haritasında da değişimi zorunlu kılmıştır. Türkiye’de yedi farklı tarihte deprem haritası yenilenmiş olup son harita 2018 yılında Türkiye Deprem Tehlike haritası olarak yürürlüğe girmiştir. Son harita dışındaki tüm haritalar bölgesel risk tabanlı hazırlanmıştır. Gelişen bilgi altyapısı, teknoloji ve hesaplama yöntemleri, güncellenen deprem katalogları, daha güvenilir sismolojik verilerin elde edilmesi, coğrafi konuma özgü tasarım spektrumlarının kullanılmaya başlanması ve 2012 yılında Türkiye Diri fay haritasının yenilenmesi, bu haritanın son halini almasına gerekçe olmuştur. Bu harita ile deprem bölgesi kavramı ortadan kaldırılmış coğrafi konuma özgü deprem tehlikesi kullanılmaya başlanmıştır [37-41]. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan yığma minare için yapısal analizler gerçekleştirilirken Türkiye’de yer alan yedi farklı coğrafi bölgede yer alan ve bir önceki deprem bölgeleri haritasında aynı deprem bölgesinde yer alan yedi farklı yerleşim birimi dikkate alınmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. İncelenen Yığma Minare

Minareler genel olarak camilere bitişik ve yakın bir bölgede ayrı olarak inşa edilen, namaz zamanının geldiğini duyurmak için ezan okunan kule şeklinde yüksek ve ince yapılardır. Tarihi süreçte yığma yapı olarak taş vd. malzemelerden inşa edilirken günümüzde beton, betonarme ve çelik gibi farklı malzemeler kullanarak da inşa edilmektedirler. Bu çalışma kapsamında Şanlıurfa ilinde yer alan ve yığma tarzda inşa edilen Ulu Camii Minaresi örnek olarak seçilmiştir. Minarenin ait olduğu Ulu Camii’nin 1170-1175 yıllarında Zengiler tarafından yaptırıldığı tahmin edilmektedir. Yapı ilin en eski camilerinden olup, değişik yıllarda onarım görmüştür [42,43]. Daha önceleri sinagog ve kilise olarak kullanılmış olup günümüzde cami olarak kullanılmaktadır. Minareye çevrilen çan kulesi, caminin kuzeydoğu cephesinde, bahçe içerisinde olup, sekizgen iri gövdeli bir forma sahiptir. Minare yöresel olarak elde edilen Urfa kesme taşı kullanılarak inşa edilmiştir [44,45]. Minareye bir saat eklenerek saat kulesine dönüştürülmüş olup ilin ilk ve tek saat kulesi görevini de görmektedir [43,45]. Bu minareye ait görseller Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Şanlıurfa Ulu Camii Minaresine ait görseller [42, 46, 47]

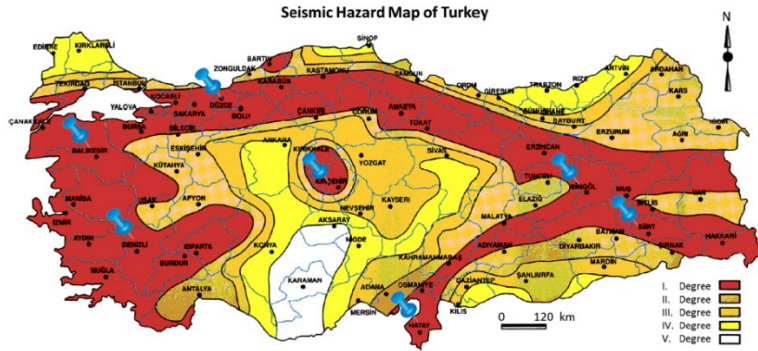
İncelenen minare için malzeme özellikleri belirlenirken Pekgökgöz vd., (2018) [42], tarafından yapılan çalışmadan faydalanılmıştır. Bu çalışma ile kullanılan taşın özellikleri ultrasonik test cihazı ile belirlenmiştir. Bu taşın Elastisite modülü (E) ve birim hacim ağırlık (γ) değerleri tüm yapılarda tek bir değer olarak alınmıştır. Kullanılan malzemeye ait özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Malzeme özellikleri [42]

Minare	Birim hacim ağırlık (kN/m^3)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson oranı
Şanlıurfa Ulu Camii	17.6	11144	0.3

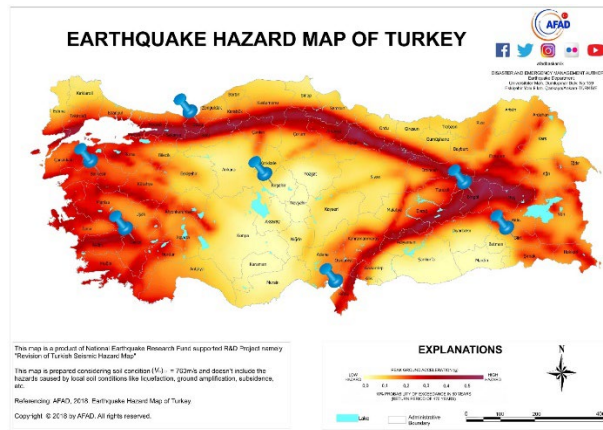
2.2. Seçilen Yerleşim Birimleri için Deprem Parametreleri

Çalışma kapsamında tasarım spektrumlarının yığma minarelerin sismik davranışına etkisini ortaya koymak adına; Türkiye’de yer alan yedi farklı coğrafik bölgeden bir önceki deprem bölgesi haritasında aynı deprem bölgesinde yer alan Balıkesir (Marmara Bölgesi), Bingöl (Doğu Anadolu Bölgesi), Denizli (Ege Bölgesi), Siirt (Güneydoğu Anadolu Bölgesi), Düzce (Karadeniz Bölgesi), Kırşehir (İç Anadolu Bölgesi) ve Hatay (Akdeniz Bölgesi) il merkezlerinden rastgele birer coğrafik konum seçilmiştir. Seçilen konumların bir önceki deprem bölgeleri haritasında gösterimi Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Seçilen yerleşim birimleri [48]

Harita üzerinde görüleceği üzere seçilen tüm yerleşim birimleri 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Güncel deprem tehlike haritası üzerinde gösterim ise Şekil 4’te yapılmıştır.



Şekil 4. Seçilen yerleşim birimlerinin güncel deprem tehlike haritası üzerinde gösterimi [49]

Herhangi bir coğrafi konuma ait deprem parametreleri güncel deprem yönetmeliği ile geliştirilen Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması ile elde edilebilmektedir [34, 49]. Bu uygulama kullanılarak parametre değerleri farklı yer hareket düzeylerine göre hesaplanmıştır. Dört farklı deprem yer hareket düzeyi ve yerel zemin sınıfı da olarak TBDY-2018’de belirtilen ZC zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Bu çalışma kapsamında seçilen her bir coğrafik konum için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı, yerel zemin etki katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları ile yatay ve düşey elastik spektrum eğrisi için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmanın bu kısmında dikkate alınan yer hareket düzeyleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Deprem yer hareket düzeyleri [34]

Deprem Düzeyi	Tekrarlanma periyodu (Yıl)	50 yılda aşılma olasılığı	Tanım
DD-1	2475	2%	En büyük yer hareket düzeyi
DD-2	475	10%	Standart tasarım yer hareket düzeyi
DD-3	72	50%	Sık yer hareket düzeyi
DD-4	43	68%	Servis yer hareket düzeyi

Seçilen yerleşimler için farklı aşılma olasılıkları için elde edilen en yüksek yer ivmesi (PGA) ve en yüksek yer hızı (PGV) değerleri Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Farklı yer hareket düzeyleri için PGA ve PGV değerleri

İl	Pik Yer İvmesi (g)-PGA				Pik Yer Hızı (cm/s)-PGV			
	50 yılda aşılma olasılığı				50 yılda aşılma olasılığı			
	2%	10%	50%	68%	2%	10%	50%	68%
Balıkesir	0.719	0.372	0.140	0.100	43.665	21.597	8.240	6.046
Bingöl	1.137	0.654	0.274	0.179	77.063	43.265	15.616	9.618
Denizli	0.852	0.471	0.191	0.140	50.296	26.864	10.125	7.336
Siirt	0.460	0.247	0.094	0.065	24.368	12.973	5.483	4.026
Düzce	0.944	0.562	0.202	0.117	62.548	36.647	12.571	6.732
Kırşehir	0.185	0.087	0.031	0.022	11.049	5.740	2.282	1.676
Hatay	0.868	0.444	0.147	0.099	55.517	27.491	8.318	5.584

Seçilen yerleşimlerin farklı deprem yer hareketi seviyeleri için kısa periyotlu harita spektral ivme katsayısı (S_s) ile 1.0s periyodu için harita spektral ivme katsayısının (S_1) TEHMIWA kullanılarak karşılaştırılması Çizelge 4’te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Çalışmada dikkate alınan yerleşim birimleri için S_s ve S_1 değerleri

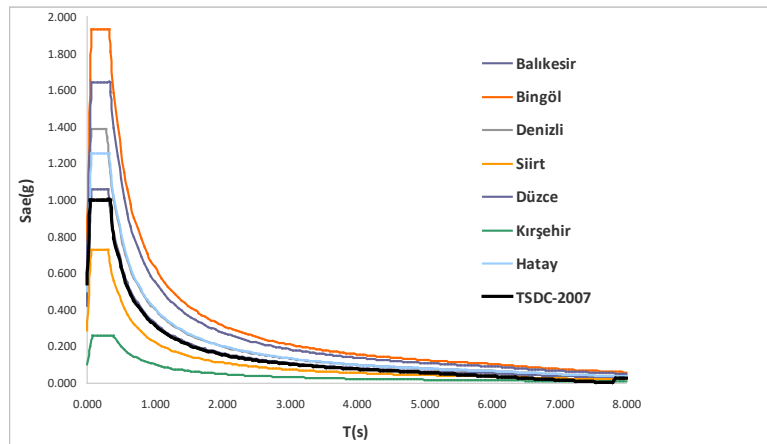
İl	S_s				S_1			
	50 yılda aşılma olasılığı				50 yılda aşılma olasılığı			
	2%	10%	50%	68%	2%	10%	50%	68%
Balıkesir	1.740	0.880	0.323	0.229	0.440	0.219	0.088	0.065
Bingöl	2.876	1.608	0.642	0.423	0.804	0.422	0.155	0.095
Denizli	2.160	1.154	0.446	0.322	0.524	0.268	0.102	0.075
Siirt	1.113	0.573	0.215	0.151	0.274	0.150	0.063	0.046
Düzce	2.410	1.369	0.471	0.267	0.656	0.371	0.125	0.068
Kırşehir	0.433	0.200	0.070	0.050	0.131	0.068	0.027	0.019
Hatay	2.119	1.046	0.332	0.224	0.577	0.273	0.084	0.057

DBYYBHY-2007 [50] ve TBDY-2018'e [34] göre 50 yılda %10 aşılma olasılığı bulunan tasarım depreminin (DD-2) spektral ivme katsayıları ve zemin rezonans periyotları Çizelge 5'te gösterilmiştir. Son iki kod için karşılaştırma yapmak için her iki yönetmelikte yer alan yer hareketi seviyesi seçilmiştir.

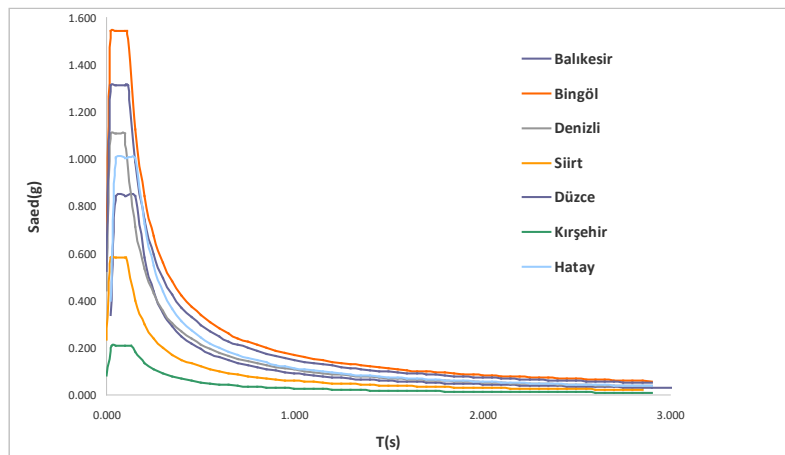
Çizelge 5. Tasarım spektral ivme katsayılarının karşılaştırılması

DD-2	Spectral Acceleration Coefficients				Yatay				Düşey			
	Tüm zeminler				ZC							
İl	DBYBHY-2007		TBDY-2018		DBYBHY-2007		TBDY-2018		DBYBHY-2007		TBDY-2018	
	S_{DS}	$0.40S_{DS}$	S_{DS}	$0.40S_{DS}$	T_A	T_B	T_A	T_B	T_{AD}	T_{BD}	T_{AD}	T_{BD}
Balıkesir	1	0.4	1.056	0.422	0.15	0.60	0.062	0.311	Bu yönetmelikte yoktur.		0.021	0.104
Bingöl	1	0.4	1.930	0.772	0.15	0.60	0.066	0.328		0.022	0.109	
Denizli	1	0.4	1.385	0.554	0.15	0.60	0.058	0.290		0.019	0.097	
Siirt	1	0.4	0.728	0.291	0.15	0.60	0.062	0.309		0.021	0.103	
Düzce	1	0.4	1.643	0.657	0.15	0.60	0.068	0.339		0.023	0.131	
Kırşehir	1	0.4	0.260	0.104	0.15	0.60	0.078	0.392		0.026	0.131	
Hatay	1	0.4	1.255	0.502	0.15	0.60	0.065	0.326		0.022	0.109	

Seçilen yerleşimler için ZC zemin sınıfı dikkate alınarak elde edilen yatay ve düşey tasarım spektrumlarının karşılaştırması sırasıyla Şekil 5 ve 6'da ayrı ayrı verilmiştir.



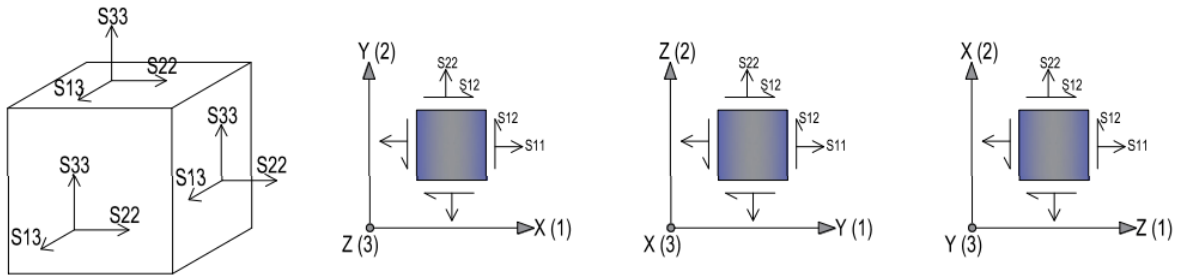
Şekil 5. Yerleşim birimleri için yatay elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması



Şekil 6. Yerleşim birimleri için düşey elastik tasarım spektrumlarının karşılaştırılması

2.3. Yapısal Analiz Sonuçları

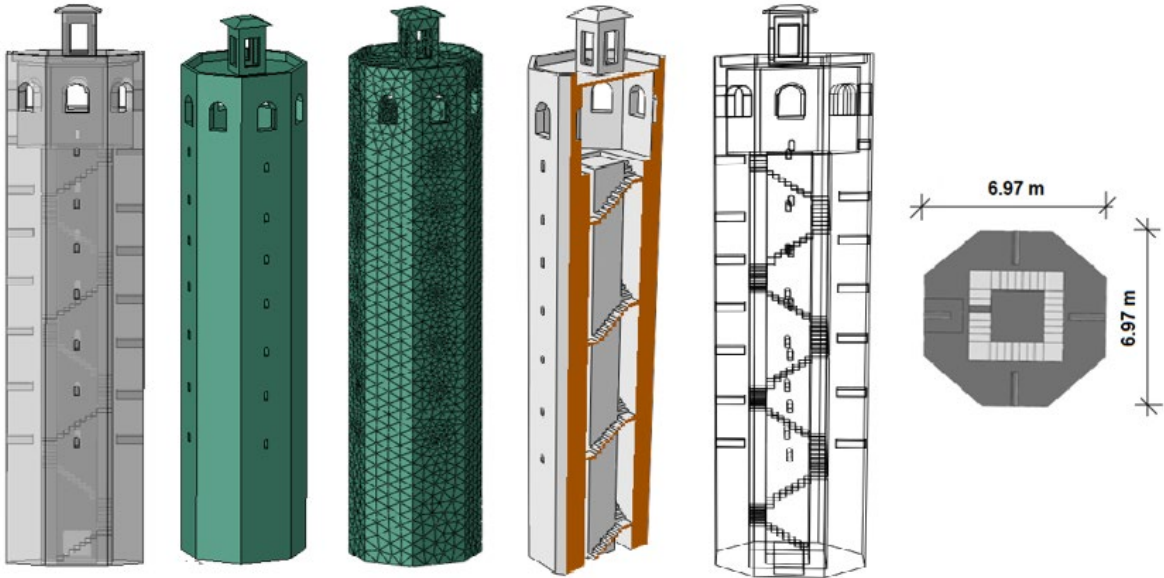
Günümüzün modern mühendislik yapılarının hesap ve tasarımı için sonuçların entegre bir şekilde uygulama projelerine aktarılmasını sağlayan, veri aktarımını kolaylaştıran, bir çok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Yığma tarzda inşa edilmiş yapıların taşıyıcı sistemleri günümüzün modern mühendislik yapılarından farklılık göstermektedir. Bu nedenden dolayı bu tür yapıların yapısal analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntemde ilk aşama, incelenecek yapının sayısal modelinin oluşturulmasıdır. Sayısal modelleme, farklı malzemelerden üretilmiş ve değişken kesit geometrisine sahip taşıyıcı sistem elemanlarının mekaniğin temel kurallarına göre doğru ve uyumlu bir şekilde matematiksel terimlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Yığma yapılarda sonlu eleman ile sayısal modelleme oldukça çok hesaplamalı bir işlemi gerektirmektedir [51, 52]. Sonlu elemanlar kullanılarak oluşturulan yapısal modellerde kullanılan elemanların işaret uyumları ve yön kabulleri, sayısal modellemenin yapıldığı yazılımın [53] öngördüğü kabullere bağlı olarak Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. İşaret uyumu ve yön kabulleri

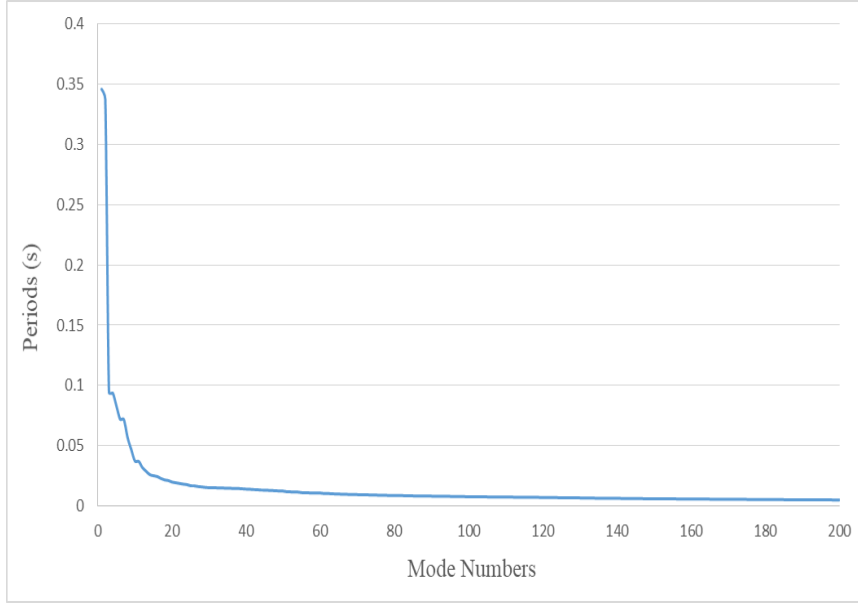
Şekil 6’da belirtildiği üzere; S11: (x) yönünde düşey gerilme, S22: (y) yönünde düşey gerilme, S33: (z) yönünde düşey gerilme, (S12 = S21): x-y düzleminde kayma gerilme ifade etmektedir.

Çalışmada dikkate alınan Şanlıurfa Ulu Camii minaresinin yapısal analize esas olan boyutlandırılması ve yazılım programında elde edilen sonlu eleman modeline ait görseller Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. İncelenen minareye ait boyutlar, oluşturulan minare modeli ve kesiti

ABAQUS programı [53] ile modelleme yapılırken merdivenler dikkate alınmış ve ağ sisteminde ve birleşim bölgelerinde oluşacak muhtemel problemlerden kaçınmak için dış duvar ile birlikte çizimi yapılmıştır. Yapı modelinde ağ tipi olarak quadratic tetrahedral elements (C3D10) seçilmiştir. Yığma minare toplamda 32436 elemandan (number of elements) 53120 düğüm noktasından (number of nodes) oluşmuştur. Minareye ait doğal titreşim periyodları özdeğer analiz sonucu eklenmiştir. Farklı modlarda elde edilen doğal titreşim periyod grafiksel olarak Şekil 9’da gösterilmiştir.



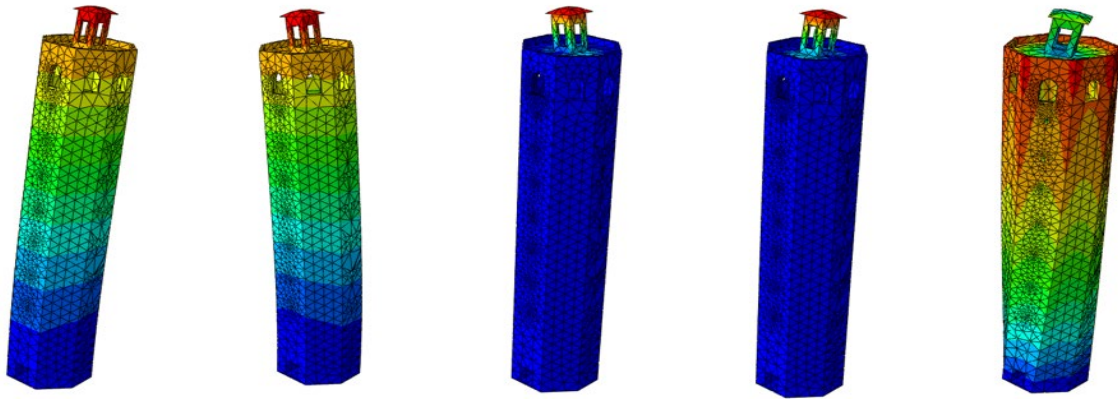
Şekil 9. Minare için farklı modlar için doğal titreşim periyotları

İncelenen minareye ait ilk on mod için elde edilen periyot ve frekans değerleri Tablo 5’te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Minare modeli için elde edilen frekans ve periyotlar

Mode Number	Frequency (Hz)	Period (s)
1	2.89121	0.345876
2	2.96421	0.337358
3	10.5911	0.094419
4	10.6529	0.093871
5	12.0341	0.083097
6	13.8602	0.072149
7	13.92	0.071839
8	17.5468	0.056990
9	21.3232	0.046897
10	26.7491	0.037384

Ulu Cami minaresinin yazılım programında analiz gerçekleştirilirken elde edilen mod şekilleri de Şekil 10’da gösterilmiştir. Burulmanın gerçekleştiği ilk 5 mod dikkate alınmıştır.



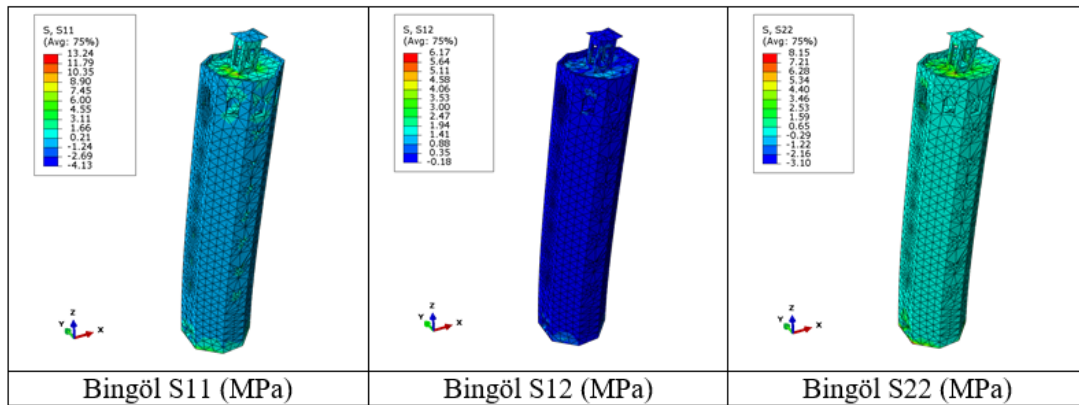
Şekil 10. Minarenin mod şekilleri

Yapısal analizlerdeki gerilme hesaplamaları için hareketli yük, sabit yük ve deprem yükleri dikkate alınmıştır. Sabit yük hesaplamaları malzeme özelliklerine göre kullanılan yazılım programı tarafından yapılmıştır. Her bir lokasyon için İnteraktif Web Deprem Uygulaması üzerinden elde edilen tasarım spektrumları kullanılarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Abaqus tepki spektrumu analizi, minarenin belirli bir taban hareketine karşı tepe tepkisini (yer değiştirme, gerilme ve taban kesme kuvveti) tahmin etmek için kullanılır. Farklı yerleşim birimleri için elde edilen sonuç değerleri karşılaştırılması Çizelge 6’da gösterilmiştir.

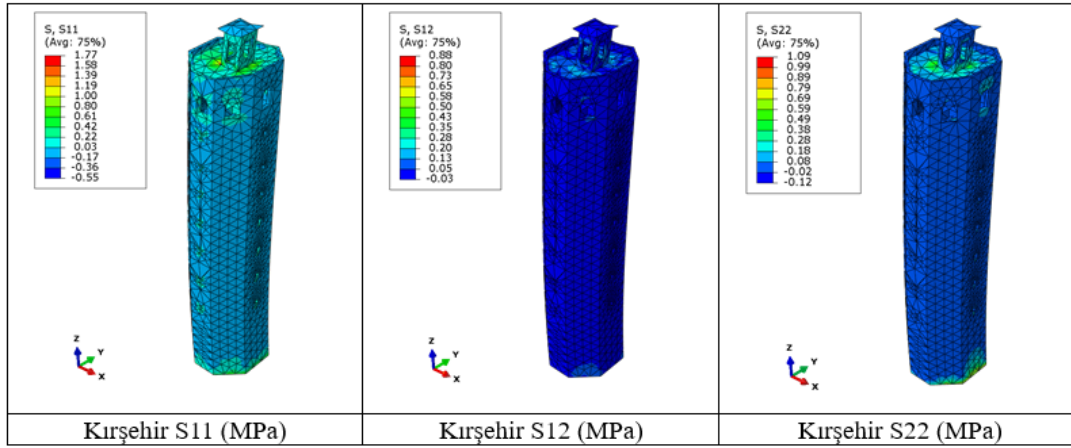
Çizelge 6. Farklı yerleşim birimleri için elde edilen sonuç değerlerinin karşılaştırılması

İl	Yerdeğiştirme (mm)	Taban kesme kuvveti (N)	S11 (N/mm ²)	S12 (N/mm ²)	S22 (N/mm ²)
Bingöl	114.56	2.25x10 ⁷	13.24	6.17	8.15
Balıkesir	59.84	1.18x10 ⁷	7.18	3.23	4.43
Denizli	73.35	1.45x10 ⁷	9.32	3.97	5.75
Siirt	40.99	8.08x10 ⁶	4.95	2.21	3.05
Düzce	101.16	1.98x10 ⁷	11.35	5.44	6.75
Kırşehir	16.34	3.19x10 ⁶	1.77	0.88	1.09
Hatay	74.49	1.46x10 ⁷	8.61	4.01	5.30
TSDC-2007	62.85	1.23x10 ⁷	6.94	3.38	4.20

En büyük PGA değerine sahip Bingöl ili için oluşan gerilmeler Şekil 11’de, en düşük PGA değerine sahip Kırşehir için Ulu Cami minaresinde meydana gelen gerilmeler ise Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Bingöl ili için oluşan gerilmeler



Şekil 12. Kırşehir ili için oluşan gerilmeler

Çalışmaya esas olan minarenin yapısal özellikleri değişmediğinden dikkate alınan tüm iller için doğal titreşim periyodu ve frekans değerleri aynı değerleri almıştır. En büyük çekme gerilme değerleri minarenin Bingöl ilinde olması durumu için elde edilirken en düşük değerler Kırşehir için elde edilmiştir. PGA değeri yüksek, tasarım spektrum genliğinin büyük olması oluşan gerilmeleri de doğrudan etkilemiştir. Bu durum basınç ve kayma gerilmeleri için geçerli olmuştur. Aynı şekilde yerdeğiştirme değerleri en yüksek değerini Bingöl, en düşük değerini ise Kırşehir ili için almıştır. Elde edilen tüm değerler Türkiye’de doğal taşlar için yürürlükte olan ve doğal taşlar - Ham bloklar – özelliklerin yer aldığı TS EN 1467’yer alan minimum basınç, çekme ve kayma gerilme değerlerinden oldukça küçük çıkmıştır. Buna göre minimum güvenli basınç gerilmesi 35MPa’dır [54, 55]. Dolayısı ile minarelerin tamamında oluşan değerler bu değer altında elde edilmiştir. Ayrıca püskürük taşlar için eğilmede en düşük çekme dayanımı 8 MPa kullanılabilir. Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri dikkate alınarak kayma gerilme dayanımı 17.50MPa olarak seçilebilir [55]. Analiz sonuçlarından bulunan maksimum çekme, basınç ve kayma gerilmelerinin yapı tarafından emniyetli bir şekilde karşılandığını göstermektedir. Bu sonuç da, yapının süreç içerisinde ayakta kalması ile uyum içerisindedir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, dünyanın bilinen en eski kültür yapılar topluluğunun yer aldığı Göbeklitepe’nin yer aldığı Şanlıurfa ilinin en eski camilerinden biri olan Ulu Cami minaresi farklı yerleşim birimleri için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu minarelerin zaman içerisinde birçok olumsuz etkiye maruz kalması, bu minarelerdeki yapı teknolojileri ve deprem davranışlarını daha önemli bir hale getirmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye’de kullanılan son iki deprem yönetmeliğinde öngörülen tasarım spektrumların kullanılması durumunda bu minarenin sismik davranışı makro modelleme tekniği kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir yerleşim birimi için taban kesme kuvveti, yerdeğiştirme, çekme, basınç ve kayma gerilmelerinin yanı sıra tüm yerleşim birimleri için deprem parametreleri elde edilmiştir. Ayrıca yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları elde edilerek tüm sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı yükleme durumları içinde benzer sonuçlar elde edileceğinden, çalışmada tek bir yükleme durumu dikkate alınmıştır. Genel olarak maksimum gerilme değerleri minarenin geçiş bölgelerinde oluşmuştur. Oluşan bu gerilme değerlerinin minare tarafından karşılanabileceği belirlenmiştir. Bu da minarelerin inşa edildiği dönemdeki mühendislik bilgi ve birikimlerini bir kez daha ortaya koymuştur. Anıtsal yığma yapılar ile ilgili kurum/kuruluşlar yapısal bağlamda, bu tür yapıları takip ederek gerekli mühendislik müdahalelerinin zamanında yapılmasını sağlamalıdır. Bu açıdan günümüze kadar ilgili kamu kurum ve kuruluşları gerekli iş ve işlemleri

yapılarak bu minarenin özgünlüğü korumuştur. Bu tür iş ve işlemlerin süreklilik arz etmesi minarelerin sonraki nesillere aktarılabilmesi adına çok önem arz etmektedir.

Bir önceki deprem bölgeleri haritasında aynı deprem bölgesinde yer alan yedi farklı konum için elde edilen deprem parametreleri, tasarım spektrumları ve yapısal analiz sonucu elde edilen tüm değerler, güncel yönetmelik için farklı değerler almıştır. Güncel deprem yönetmeliği için Bingöl, Denizli, Düzce ve Hatay illeri için elde edilen yapısal sonuçlar bir önceki yönetmeliğe göre daha yüksek değerler alırken, Balıkesir, Siirt ve Kırşehir için daha düşük değerler almıştır. Bu da coğrafik konuma özgü tasarım spektrumlarının önemini açıkça ortaya koymaktadır. En yüksek değerler Bingöl için elde edilirken en düşük değerler Kırşehir ili için elde edilmiştir. Tasarım spektrumlarının genliğinin ve PGA değerinin değişimi elde yapısal sonuçları da bunlar bağlı olarak önemli ölçüde değiştirmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda minare için birleşim malzeme özelliklerinin de belirlenmesi ile mikro modelleme kullanılarak yapısal analizler gerçekleştirilebilir. Ayrıca zaman tanım alanında analizler kullanılarak sismik davranışlarının belirlenmesi de katkı sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1] Bilgin, H. (2015). Typological classification of churches constructed during post-Byzantine period in Albania. *Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning* 2015; 3:1-15.
- [2] Hadzima-Nyarko, M., Ademovic, N., Pavic, G., Sipos, T.K. Strengthening techniques for masonry structures of cultural heritage according to recent Croatian provisions. *Earthquakes and Structures* 2018; 15: 473-485.
- [3] Isik, E., Antep, B., Buyuksarac, A., & Isik, M. F. (2019). Observation of behavior of the Ahlat Gravestones (Turkey) at seismic risk and their recognition by QR code. *Structural Engineering and Mechanics* 2019; 72; 643-652.
- [4] Bilgin, H., Ramadani, F. (2021). Numerical study to assess the structural behavior of the Bajrakli Mosque (Western Kosovo). *Advances in Civil Engineering* 2021; 4620916: 1-17.
- [5] Cosgun, T., Sayin, B., Gunes, B., Osman Avşar, A., Şengün, R., Gümüşdağ, G. (2020). Rehabilitation of historical ruined castles based on field study and laboratory analyses: The case of Bigalı Castle in Turkey. *Revista de la construcción* 2020; 19; 52-67.
- [6] Özbay, A.Ö., Karapinar, I.S. Tarihi bölgelerdeki yığma yapıların deprem güvenliği ön değerlendirmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 2021; 11; 1-11.
- [7] Pavić, G., Hadzima-Nyarko, M., Plaščak, I., Pavić, S. Seismic vulnerability assessment of historical unreinforced masonry buildings in Osijek using capacity spectrum method. *Acta Physica Polonica A* 2019;135: 1138-1141.
- [8] Endo, Y., Pelà, L., Roca, P., Da Porto, F., Modena, C. Comparison of seismic analysis methods applied to a historical church struck by 2009 L'Aquila earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2015; 13: 3749-3778.
- [9] Betti, M., Vignoli, A. Modelling and analysis of a Romanesque church under earthquake loading: Assessment of seismic resistance. *Engineering Structures* 2008; 30: 352-367.
- [10] Paret, T.F., Freeman, S.A., Searer, G. R., Hachem, M., Gilmartin, U. M. Using traditional and innovative approaches in the seismic evaluation and strengthening of a historic unreinforced masonry synagogue. *Engineering Structures* 2008; 30: 2114-2126.
- [11] Hemeda, S. Geotechnical and geophysical investigation techniques in Ben Ezra Synagogue in Old Cairo area, Egypt. *Heritage Science* 2019; 7: 1-15.

- [12] Danieli, M., Aronchik, A. Case study: the strengthening and seismic safety of the Oni synagogue in Georgia. *Structures Under Shock and Impact 2014*; XIII: 141, 455.
- [13] Papastamatiou, D., Psycharis, L. Seismic response of classical monuments-a numerical perspective developed at the Temple of Apollo in Bassae, Greece. *Terra Nova 1993*; 5: 591-601.
- [14] Oliveira, D.V., Greechi, G., McCall, A., Noh, J., Speer, E., Tohidi, M. Seismic analysis of the Roman temple of Evora, Portugal. In: *15th World Conference on Earthquake Engineering. Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica 2012*; 1-10
- [15] Gunes, B., Cosgun, T., Sayin, B., Ceylan, O., Mangir, A., Gumusdag, G. Seismic assessment of a reconstructed historic masonry structure: A case study on the ruins of Bigali castle mosque built in the early 1800s. *Journal of Building Engineering 2021*; 39: 102240.
- [16] Biglari, M., D'Amato, M., Formisano, A. Rapid seismic vulnerability and risk assessment of Kermanshah historic mosques. *The Open Civil Engineering Journal 2021*; 15: 135-148.
- [17] Karantoni, F.V., Dimakopoulou, D. Displacement-based assessment of the Gazi Hasan Pasha mosque in Kos island (GR) under the 2017 M6. 6 earthquake and Eurocode 8, with proposals for upgrading. *Bulletin of Earthquake Engineering 2021*; 19: 1213-1230.
- [18] Günay, M. Bitlis'te beş minaresinin yapısal analizi, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2021.
- [19] Işık, E., Harirchian, E., Arkan, E., Avcil, F., Günay, M. Structural analysis of five historical minarets in Bitlis (Turkey). *Buildings 2022*; 12:159.
- [20] Uğurlu, M. A., Günaslan, S.E., Karaşin, A. Dört Ayaklı Minare'nin modellenmesi ve yapısal analizi. *DÜMF Mühendislik Dergisi 2017*; 8: 413-422.
- [21] Işık, E., Antep B. Ahlat ilçesinde yer alan tarihi yığma minarenin yapısal analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2018*; 7: 46-56.
- [22] Çelik, L.F. Yivli minarenin depreme karşı dayanıklılığının araştırılması, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [23] Usta, P. Assessment of seismic behavior of historic masonry minarets in Antalya, Turkey. *Case Studies in Construction Materials 2021*; 15: e00665.
- [24] Kiliç, İ., Bozdoğan, K.B., Aydın, S., Gök, S.G., Gündoğan, S. Kule tipi yapıların dinamik davranışının belirlenmesi: Kırklareli Hızırbey camii minaresi. *Politeknik Dergisi 2020*; 23: 19-26.
- [25] Çaktı, E., Saygılı, Ö., Görk, S., Zengin, E., Oliveira, C.S., Lemos, J.V. Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii minaresinin deprem davranışı. *Restorasyon Yıllığı Dergisi 2013*; 6: 33-40.
- [26] Ural, A., Çelik, T. Tek şerefeli yığma minarelerin deprem davranışı ve dinamik analizi. *Aksaray University Journal of Science and Engineering 2018*; 2: 13-27.
- [27] Mutlu, Ö., Şahin, A. Investigating the effect of modeling approaches on earthquake behavior of historical masonry minarets-Bursa Grand Mosque case study. *Sigma 2016*; 7: 123-136.
- [28] Bayraktar, A., Çalık, İ., Türker, T., 2013. Restorasyon sonrası tarihi Sundura Camisi ve minaresinin çevresel titreşim testi yöntemiyle dinamik özelliklerinin belirlenmesi. *Restorasyon Yıllığı Dergisi 2013*; 6: 53-62.
- [29] Çarhoğlu, A.I., Usta, P., Korkmaz, K.A. Ayasofya örneğinde tarihi minare yapılarının sismik davranışının incelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi 2013*; 5: 36-43.
- [30] Döven, M.S., Serhatoğlu, C., Kaplan, O., Livaoglu, R. Kütahya Yeşil minarenin kapalı ve açık şerefeli dinamik davranışlarının karşılaştırılması. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler 2018*; 6: 192-203.
- [31] Işık, E. A comparative study on the structural performance of an RC building based on updated seismic design codes: case of Turkey. *Challenge 2021*; 7: 123-134.
- [32] Aksoylu, C., Mobark, A., Hakan Arslan, M., Hakkı Erkan, İ. A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la construcción 2020*; 19: 282-305.
- [33] Ozmen, H.B. A view on how to mitigate earthquake damages in Turkey from a civil engineering perspective. *Research on Engineering Structures and Materials 2021*; 7: 1-11.
- [34] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

- [35] Işık, E., Harirchian, E., Bilgin, H., Jadhav, K. The effect of material strength and discontinuity in RC structures according to different site-specific design spectra. *Research on Engineering Structures and Materials* 2021; 7: 413-430.
- [36] Peker, F.Ü., Işık, E. TBDY-2018'deki yerel zemin koşullarının çelik yapı deprem davranışına etkisi üzerine bir çalışma. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2021; 10: 1125-1139.
- [37] Akkar, S., Kale, Ö., Yakut, A., Ceken, U. Ground-motion characterization for the probabilistic seismic hazard assessment in Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2018; 16: 3439-3463.
- [38] Akkar, S., Eroğlu, Azak, T., Çan, T., Çeken, U., Demircioğlu, M.B., Duman, T., Zülfikar, Ö. Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi. AFAD, Proje No: UDAP-Ç-13-06, 2014.
- [39] Çeken, U., Dalyan, İ., Kılıç, N., Köksal, T.S., Tekin, B.M. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. 4. In *Proceedings of the International Earthquake Engineering and Seismology Conference, 2017, Bucharest, Romania.*
- [40] Karaşin, İ.B., Işık, E., Demirci, A., Aydın, M.C. Coğrafi konuma özel tasarım spektrumlarının betonarme yapı performansına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2020; 11: 1319-1330.
- [41] Özmen B. Türkiye deprem bölgeleri haritalarının tarihsel gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 2012; 55: 43-55.
- [42] Pekgökgöz, R.K., İzol, G., Avcil, F., Gürel, M.A. Şanlıurfa Ulu Cami Minaresi yapı taşının elastisite modülünün ultrasonik test cihazı kullanılarak belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2018; 3: 35-45.
- [43] Şanlıurfa Valiliği, Şanlıurfa Kültür ve Turizm Rehberi, Şanlıurfa Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları:5 Şanlıurfa İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Atatürk Bulvarı No:49 2016, Şanlıurfa
- [44] Elpe, E. Konum olarak camiden ayrı minareler. *Akra Kültür Sanat ve Edebiyat Dergisi* 2021; 9: 191-214.
- [45] Şanlıurfa Valiliği, Kültür ve İnançlar Diyarı Şanlıurfa, Şanlıurfa Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları Şehir Kitaplığı Dizisi:26, 2018.
- [46] <http://www.sanlıurfa.gov.tr/camiler> (Erişim tarihi:09 Kasım 2021)
- [47] <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/sanlıurfa/gezilecekyer/ulu-camii-1>(Erişim tarihi:11 Kasım 2021).
- [48] Gunes, O. Turkey's grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years. *Case Studies in Construction Materials* 2015; 2: 18-34.
- [49] Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/>, 2018
- [50] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007.
- [51] Giordano, A., Mele, E., De Luca, A. Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study. *Engineering Structures*, 2002; 24: 1057-1069.
- [52] Akan, A. E., Başok, G. Ç., Er, A., Örmecioglu, H. T., Koçak, S. Z., Cosgun, T., Uzdil, O., Sayin, B. Seismic evaluation of a renovated wooden hypostyle structure: A case study on a mosque designed with the combination of Asian and Byzantine styles in the Seljuk era (14th century AD). *Journal of Building Engineering* 2021; 103112.
- [53] Abaqus, G. Abaqus 6.11. Dassault Systemes Simulia Corporation, Providence, RI, USA.2011.
- [54] TS EN 1467 Doğal Taş-Ham Bloklar-Özellikleri, Türk Standardı, Nisan 2012
- [55] Kuruşcu, A.O. Yığma duvar ve temellerde doğrusal olmayan modelleme. *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2012, İstanbul.