



Yığma Bir Seyir Kulesinin Dinamik Analizi

Recep Kadir Pekgökgöz¹, Fatih Avcil^{2*}, Gürkan Baltacı³, M. Arif Gürel⁴

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3083-2241), recepkdir@harran.edu.tr

^{2*} Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6550-550X), favcil@beu.edu.tr

³ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3032-4009), grkanbaltaci@hotmail.com

⁴ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1046-4410), agurel@harran.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 26 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 11 Nisan 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1079565)

ATIF/REFERENCE: Pekgökgöz, R. K., Avcil, F., Baltacı, G. & Gürel, M. A. (2022). Yığma Bir Seyir Kulesinin Dinamik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 455-463.

Öz

Yığma yapı tekniğiyle oluşturulan yapılarda kullanılan malzemeler gevrek davranış göstermektedir. Bu nedenle yığma yapılar özellikle mühendislik hizmeti görmeden inşa edilenleri deprem davranışları açısından iyi olmayan yapı grubuna girmektedir. Bu tür yapılarda kullanılan malzemelerin taşıma kapasitelerinin aşılması durumunda, yapıda ani kırılma ve çatlaklar görülmektedir. Yığma yapı örneklerinden biri de kulelerdir. Seyir kulelerinde, özellikle tarihi olanlarında yaygın olarak yığma ve ahşap taşıyıcı sistemler görülmektedir. Çalışmanın konusunu oluşturan seyir kuleleri gibi yığma tipe sahip yapıların deprem ve rüzgâra karşı davranışlarının bilinmesi ve zayıf bölümlerinin belirlenip dayanımlarının artırılması gerekmektedir. Yığma yapıların deprem karşısındaki davranışı, yetersizlikleri, depreme dayanıklı betonarme binaların tasarımı, hasar görmüş binaların onarımı, güçlendirilmesi vb. konular üzerinde halen araştırmalar sürmektedir. Bu çalışmanın amacı, yığma bir seyir kulesinin dinamik analizinin gerçekleştirilip sonuçlarının değerlendirilmesidir. Araştırma sonuçlarına göre, kuleler gibi narin yığma yapıların basınç dayanımları her ne kadar yüksek olsa da kayma gerilmelerine karşı olan dayanımlarının zayıf kaldığı tespit edilmiştir. Bu tür narin ve yüksek yapıların sünekliklerinin olabildiğince yüksek olması gerekirken düşük sünekliğe sahip yığma yapı tekniğiyle inşa edilmesi durumunda yapıda oluşacak gerilmeler karşılanabilse bile, büyük depremlerde gevrek kırılmalardan kaynaklanan hasarlardan kaçınılamayacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kule, Yığma Yapılar, Dinamik Analiz, Deprem

Dynamic Analysis of a Masonry Observation Tower

Abstract

The materials used in the structures made with the techniques of masonry structure show brittle behavior. For this reason, masonry structures, especially those built without engineering service, are in the group of structures that are not good in terms of earthquake behavior. If the bearing capacities of the materials used in such structures are exceeded, sudden breaks and cracks are observed in the structure. One such example is the towers. In towers, masonry and wooden bearing systems are commonly seen, especially from historical ones. It is necessary to know the behavior of structures such as watchtowers, which are the subject of the study, against earthquake and wind. Also, their weaknesses should be determined and their strength should be increased. Researches on the behavior of masonry structures against earthquakes, their inadequacies, the design of earthquake-resistant reinforced concrete buildings, the repair and strengthening of damaged buildings, etc. are still ongoing. The aim of this study is to investigate the dynamic analysis of a masonry tower and evaluate the results. According to the results of the research, it has been determined that although the compressive strength of slim masonry structures is high, their shear stress resistance remains weak. While the ductility of such slim and tall structures should be as high as possible, it has been observed that even if the stresses that will occur in the structure built with the low ductility masonry technique can be carried, the damage caused by brittle fractures in large earthquakes cannot be avoided.

Keywords: Tower, Masonry Structures, Dynamic Analysis, Earthquake

* Sorumlu Yazar: favcil@beu.edu.tr

1. Giriş

İnsanoğlu tarih boyu barınma, ısınma gibi gereksinimlerini karşılayabilmek amacıyla yapılara ihtiyaç duymuş ve bu ihtiyaç karşısında ilk çağlardan zamanımıza dek günün koşulları ve teknolojileri çerçevesinde birçok değişik malzemeden yararlanarak yaşam alanları inşa etmişlerdir. Günümüzde her ne kadar çelik ve betonarme yapılar en fazla inşa edilen yapı gurubu olsa da, dünyanın çeşitli ülkelerinde yığma yapılar hala inşa edilmektedir. Bu tarz inşa edilmiş yapılar ile ilgili de birçok akademik çalışma bulunmaktadır (Karasin ve Isik, 2016, Hadzima ve ark., 2018, Ertekin, 2020). Işık ve ark. (2018, 2022), tarihi yığma minarelerin yapısal analizlerine yönelik çalışma yapmışlardır. Yığma yapıların deprem gibi sismik yük altındaki davranışı üzerine bazı araştırmalar da vardır (İzol ve ark., 2019, Işık ve ark., 2019, Biçen ve ark., 2020).

Yığma yapıların sahip olduğu en büyük dezavantaj ağır, hantal ve gevrek malzemeden inşa edilmiş olmalarıdır. Yapı ağırlığının fazla olması deprem sırasında oluşacak atalet kuvvetlerinin büyük olmasına yol açmaktadır. Bu durum yapı elemanlarının oldukça fazla iç tesirlere maruz kalması anlamına gelir. Bunun yanında yığma yapıların çoğunlukla rijit olmaları esnek yapılar gibi enerji yutma ve esneme becerisine sahip olmaları demektir. Neticede, deprem esnasında ortaya çıkan enerjiyi sönmülendirme kapasitelerinin düşük olmasından dolayı hasar görme ihtimalleri yüksek olmaktadır (Çırak, 2011, Koç, 2016).

Yığma yapılar için kullanılan malzemelerin sünek olmaması nedeniyle mühendislik açısından istenmeyen durumlar görülmekte, taşıma limitinin aşılması durumunda çatlamalara ve ani kırılmalara sebep olmaktadır. Söz konusu nedenlerden dolayı yığma yapılar depreme dayanıklı yapılar olarak değerlendirilmemektedirler. Ancak yığma yapılar deprem açısından tamamen olumsuz yapılar şeklinde düşünülmemelidir. Yönetmelik ve standartlar içeriklerinde uyulması gereken asgari kuralları bulundurlar. Hangi yapı türünde olursa olsun yapılarımızı yönetmelik ve standartlara göre yaparsak sağlam ve güvenilir binalar inşa edebiliriz (Çöğürçü, 2007).

Yığma yapı örneklerinden biri de kulelerdir. Minareler, haberleşme kuleleri, sanayi bacaları, deniz fenerleri, radar kuleleri, seyir kuleleri ve ayaklı su depoları gibi yapılar kule türü yapılar olarak değerlendirilebilir. Bu tip yapılar günümüzde genellikle, betonarme, ön gerilmeli beton ve çelikten imal edilmektedir. Bu yapıların özellikle tarihi olanlarının yaygın olarak yığma (tuğla, kesme taş gibi) malzemelerden inşa edilmiş oldukları görülmektedir (Acar, 2009).

Bu çalışmanın da konusunu oluşturan seyir kuleleri gibi yığma inşa edilen yapıların rüzgâr ve depreme karşı yapı davranışlarının bilinmesi ve gerekiyorsa yapı dayanımlarının artırılması gerekmektedir. Teknolojik ilerlemeler doğrultusunda ön gerilme teknolojilerinden yararlanarak bu tip yapıların dayanımlarının artırılması sağlanabilmektedir (Kökan, 2019)

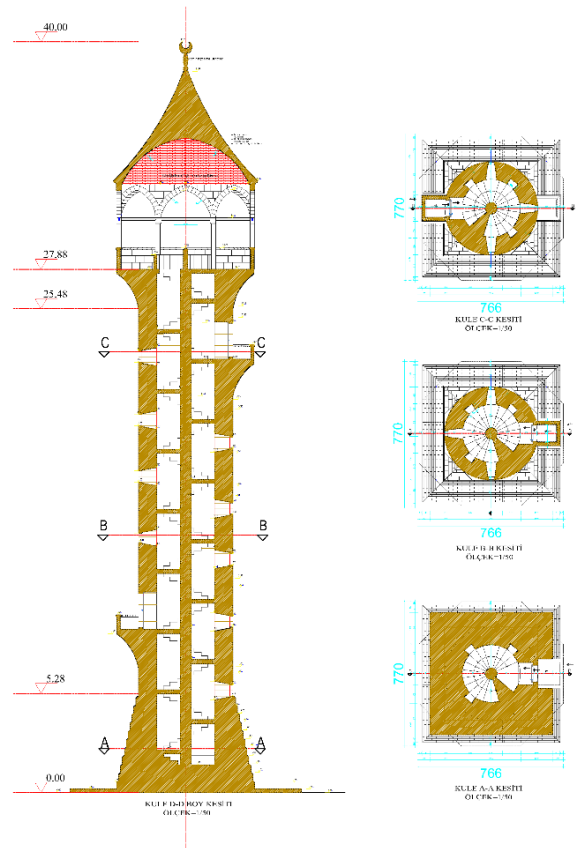
Çelik ve betonarme yapıların yatay ve düşey yüklere maruz olması durumunda nasıl davrandığı, elde edilen tecrübeler neticesinde matematiksel olarak ifade edilebilirken, yığma yapıların düşey ve bilhassa yatay yükler altında davranışını matematiksel olarak ifade etmek daha güçtür. Yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışı, zayıflıkları, depreme dayanıklı güçlendirilmiş binaların tasarımı, hasar görmüş binaların tadilatı

vb. konular üzerinde halen araştırmalar sürmektedir (Bayülke, 1980).

Yukarıda açıklanan hususlar çerçevesinde bu çalışmada yığma yapım tekniğiyle yeni inşa edilecek bir seyir kulesinin dinamik analizi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ele alınan yapı 40 m yüksekliğinde yığma yapı tekniğiyle inşa edilecek bir seyir kulesidir. Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen kulenin boy ve en kesitleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Söz konusu seyir kulesi tabanda 7.70 m x 7.70 m ölçülerinde bir oturma odasına sahip olup, 5.28 m yükseklikten sonra 5.00 m x 5.00 m ölçülerine daralmakta ve 25.48 m yükseklikten sonra yine 7.70 m x 7.70 m ölçülerine doğru genişlemeye başlamaktadır.



Şekil 1. Seyir kulesinin boy ve enkesitleri (Figure 1. Height and cross-sections of the observation tower)

Ülkemizin Van ilinde yapılması planlanan seyir kulesinin inşasında bu bölgede bulunan Edremit Traverteni ve Saphan Bazalt malzemeleri kullanılacaktır. Kulenin modellenmesinde Edremit Traverteni, Saphan Bazalt ve Tuğla yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile bunlara uygun harç kabulleriyle model oluşturulmuştur. Yapının 0.00 m - 5.28 m kotları arası Saphan bazalt, 5.28 m - 32.20 m kotları arası Edremit traverteni, kulenin 32.20 m - 40.00 m kotları arasındaki kubbesi ise tuğla malzeme olarak modellenmiştir. Ayrıca kulenin tabanından seyir terasına çıkan iç merdivenler de Edremit traverteni olarak tasarlanmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'nde de belirtildiği üzere sonlu elemanlar yöntemi aracılığıyla yapılacak

çözümlemede, taşıyıcı duvarların modellenmesine göre, mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme veya makro modelleme teknikleri kullanılarak 3 farklı şekilde modelleme yapılabilir (TBDY-2018). Tercih ettiğimiz basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğinde, yatay ve düşey harç derzleri ihmal edilmekte ve genişletilen kargir birimler ortalama ara yüzey çizgileriyle birbirinden ayrılarak modelleme yapılmaktadır.

Kule modellenirken SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır (SAP2000, 2002). Modelde 32 adet çubuk (frame), 24 adet kabuk (shell) ve 7341 adet katı (solid) eleman mevcuttur. SAP2000 programında modellenen seyir kulesi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Seyir kulesinin SAP2000 programındaki modellemesi
(Figure 2. Modeling of the observation tower in the SAP2000 program)

Tablo 1’de kulede kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir. Oluşturulan yığma duvar birimlerinin özellikleri, kullanılan bu malzeme özelliklerinden yola çıkılarak TBDY-2018, Bölüm 11 aracılığıyla belirlenmiştir.

Tablo 1. Malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Table 1. Physical and mechanical properties of materials)

Malzeme ismi	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı
Edremit Traverten	20.1	31,60	14480	0.30
Saphan Bazalt	26.3	142,76	47630	0.25
Tuğla	17.0	6,60	6085	0.30

Yukarıdaki basınç dayanımları doğrultusunda, TBDY-2018’deki ilgili tablo esas alınarak, inşa edilecek yığma seyir kulesinin karakteristik kargir birim basınç dayanımı $f_k = 5.50$ MPa olarak belirlenmiştir.

TBDY-2018’de belirtildiği üzere yığma duvarların karakteristik kayma dayanımları f_{vk} aşağıda verilen ve yönetmelikte Denk 11.1 olarak ifade edilen bağlantıyla belirlenmiştir.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d \leq 0.10 f_b \quad \text{Denk. 1}$$

Denk. 1’deki bağıntıda f_{vko} TBDY-2018’de belirtilen duvarların başlangıç kesme dayanımlarıdır. Bu çalışma için f_{vko} değerinin, TBDY-2018’e göre kargir birimin doğal veya yapma taş ve kullanılan harcın M1-M2 sınıfında olması durumunda 0,10 MPa olarak alınması gerektiği belirtilmiştir. Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan düşey basınç gerilmesini yani analiz neticesinde seçilen duvar kesitinde oluşan normal gerilme σ_d olarak ifade edilmiştir. Hesap basınç dayanımı f_b ise f_k değerinin, kule için 2 olan malzeme katsayısı γ_m ile bölünmesiyle elde edilmiştir.

Tüm bu veriler aracılığı ile analiz sonrasında elemanlarda oluşan basınç gerilmeleri neticesinde elemanın dayanacağı kayma gerilmeleri söz konusu bağıntı ile hesap edilmiş ve çalışmaya eklenmiştir.

Oluşturulan taşıyıcı duvarların modelde kullanılan elastisite modülleri TBDY-2018, 11.2.13 maddesinde belirtildiği üzere yapısal çözümlemede $750.f_k$ değerine eşit alınmıştır.

Seyir kulesinin deprem analizlerinde TBDY-2018 esas alınmıştır. Bu yönetmelikle birlikte deprem haritalarının ve deprem hesabının güncellenmiş olması nedeniyle yapılacak yeni yapılar spektral ivmelerin belirlenebilmesi için enlem ve boylam belirtmek gerekliliği bilinmektedir. Van Tuşba belediyesi bölgenin turizm potansiyelini artırmak amacıyla Geleneksel Van Evleri projesi kapsamında bölgede geleneksel Van evleri yapım projesini yürürlüğe koymuştur. Proje kapsamında evler inşa edilmiş ve bir seyir kulesinin yapılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle kulenin konumuna ait enlem ve boylam değerleri bu bölgede alınmıştır.

Kule için DD-2 deprem düzeyi tasarım depremi olarak belirlenmiş ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından düzenlenmiş olan “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Deprem Uygulaması” (TDTH, 2018) kullanılarak söz konusu enlem ve boylama göre parametreler belirlenmiş ve SAP2000 programına spektrumlar tanımlanmıştır. Seyir kulesi tasarım depremi parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

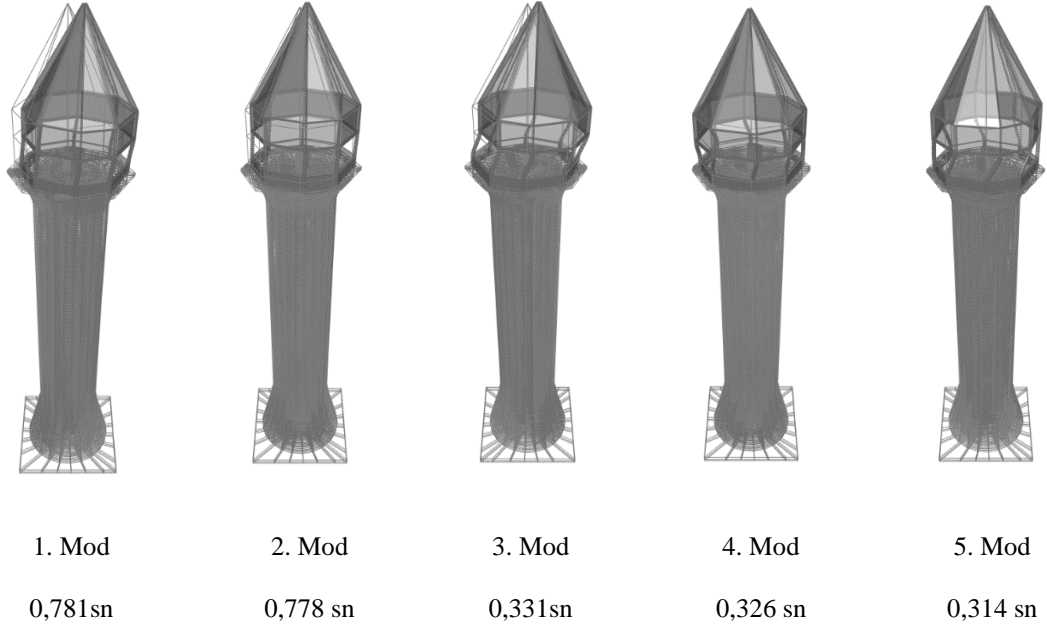
Tablo 2. Seyir kulesi tasarım depremi parametreleri (Table 2. Observation tower design earthquake parameters)

Raporun Ait Olduğu Yapı	Seyir Kulesi
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Yerel Zemin Sınıfı	ZB
Enlem	38.548686 °
Boylam	43.334920 °
S_s	0.717
S_1	0.178

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Seyir kulesinde materyal ve yöntem bölümünde anlatıldığı üzere modelleme ve analiz parametreleri belirlenmiştir. Yapı için TBDY-2018 doğrultusunda yönetmeliğin öngördüğü yük kombinasyonları oluşturulmuştur. Bu yük kombinasyonlarıyla birleştirilen analiz sonuçları tablolar aracılığıyla

değerlendirilmiştir. Kule simetrik bir geometriye sahip olduğundan, modal analiz sonucu belirlenen bir doğrultudaki ilk beş moda ait mod şekilleri ve periyot değerleri Şekil 3’de gösterilmiştir.

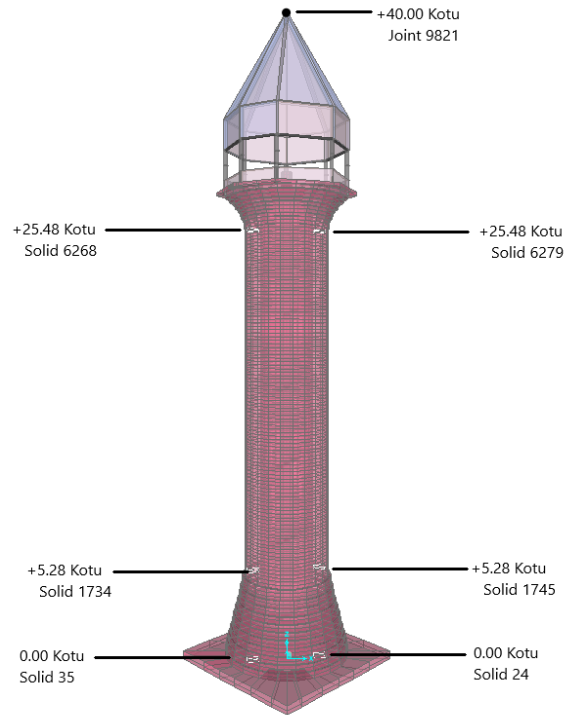


Şekil 3. Yapıya ait ilk beş mod şekli ve periyot değerleri (Figure 3. The first five mode shapes and periods of the structure)

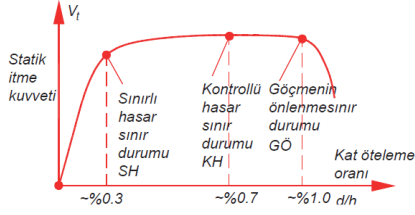
Tanımlanan kombinasyonlar ve yapılan analizlerin değerlendirilmesi açısından seyir kulesinde gerilmelerin kontrol edileceği Şekil 4’de gösterilen üç ayrı kritik kesit belirlenmiştir. Bunlardan ilki temel seviyesindeki 2 adet katı eleman, diğeri kulenin temelden sonra kesit daralmasının başladığı +5,28 m kotundaki 2 adet katı eleman ve sonuncusu ise seyir terasının altında +25,48 m kotunda kesitin genişlemeye başladığı noktadaki 2 adet katı eleman olarak alınmıştır. Bu elemanlarda normal ve kayma gerilmeleri kontrolü yapılırken, kulenin tepe noktası olan 9821 nolu düğüm noktasında öteleme kontrolleri yapılmıştır.

Modelleme ve analizleri gerçekleştirilen yığma yapıda oluşan normal ve kayma gerilmeleri ile öteleme kontrollerinin hangi kriterler üzerinden değerlendirilmesinin belirlenmesi önemli bir gerekliliktir. Bu doğrultuda “Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu” (TYDRYK, 2017). Çalışmamızda yararlandığımız bir diğer kaynak eser olmuştur. Kılavuzun 6. bölümü, yapısal modelleme ve değerlendirme ana başlığında, deprem etkisi altında yapısal güvenlik olarak değerlendirmenin nasıl yapılması gerekliliği tanımlanmıştır.

Adı geçen kılavuzda belirli deprem etkisindeki yapılar için yapısal performans düzeyleri Şekil 5’de görüldüğü üzere; a) Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi, b) Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi ve c) Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi olarak ayrı ayrı tanımlanmıştır.



Şekil 4. Seyir kulesinde kontrol edilen kritik kesitler ve eleman numaraları (Figure 4. Critical section and element number checked in the observation tower)



Şekil 5. Statik itme eğrisi ve sınır durumları (Figure 5. Push-over curve and boundary conditions)

Kılavuz yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımında “hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi; orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması; şiddetli depremlerde ise, kontrollü hasarın sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması” öngörülmektedir

Tüm bu kriterler altında TYDRYK’da belirtilen sınır değer kabulleri Tablo 3’de verilmiştir. Bu tabloda SH performan düzeyi için doğrusal hesap, KH ve GÖ performans düzeyleri için ise doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden birisinin kullanılmasının yeterli olduğu belirtilmiştir. Bu hesap yöntemlerinden birisinin seçilmesi durumunda sağlanması gereken en küçük sınır değerler gösterilmiştir.

Tablo 3. Performans düzeyleri ile ilgili hesap yöntemleri ve gerilme, şekil değiştirme sınırları (Table 3. Calculation methods related to performance levels and limits of stress and strain)

Performans düzeyi	Hesap yöntemi ve sınırlar
Sınırlı hasar sınır durumu (SH)	1. Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor; a) Düşey yük ve azaltılmamış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap değerleri aşılmıyor. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 0,3 sınırını aşmıyor.
Kontrollü hasar sınır durumu (KH)	1. Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor. a) Düşey yük ve $R_a \leq 3$ ile azaltılmış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımları aşılmıyor. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 0,7 sınırını aşmıyor. 2. Doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılıyor; a) Öteleme oranı % 0,7 sınırının aşmıyor. b) Malzemelerin şekil değiştirme kapasiteleri aşılmıyor.
Göçme öncesi sınır durumu (GÖ)	1. Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor; a) Düşey yük ve $R_a \leq 3$ ile azaltılmış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımları belirli bir oranda (~1,5 katı) aşılabılır. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 1 sınırını aşmıyor. 2. Doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılıyor. a) Öteleme oranı % 1 sınırını aşmıyor. b) Malzemelerin şekil değiştirme kapasiteleri sınırlı oranda (~1,2 katı) aşılabılır.

Seyir kulesi yeni inşa edilecek bir yapıdır. Bu nedenle TBDY-2018 yönetmeliği deprem hesabı için tasarım depremi olarak da adlandırılan DD-2’ nin seçilmesini istemektedir. Kulenin DD-2 tasarım depremi kabulüyle yapılan analizleri neticesinde oluşan gerilmeler ile malzemenin karakteristik özelliklerinden yola çıkılarak bulunan (taşınabilecek) maksimum gerilmeler Tablo 4 ve Tablo 5’de kıyaslanmıştır.

Tablo 4. Azaltılmamış deprem etkisi altında tasarım depremi gerilme kontrolleri (Table 4. Design earthquake stress controls under unreduced seismic action)

SINIRLI HASAR DURUMU DD-2 DEPREMİ R=1,0 D=1,0								
Taban Kesiti	Kot	KAT	Oluşan En Büyük Normal Gerilme σ (MPa)		Normal Emniyet Gerilmesi σ_{em} (MPa)	Oluşan En Büyük Kayma Gerilmesi τ (MPa)		Kayma Emniyet Gerilmesi τ_{em} (MPa)
0.00	24	KAT	0,69	✓	2,25	0,051	✓	0,275
	35	KAT	0,71	✓	2,25	0,029	✓	0,275
Geçiş Kesiti +5.28	1734	KAT	0,28	✓	2,25	0,037	✓	0,275
	1745	KAT	0,31	✓	2,25	0,046	✓	0,275
Üst Seyir Altı +25.48	6268	KAT	0,25	✓	2,25	0,044	✓	0,275
	6279	KAT	0,24	✓	2,25	0,039	✓	0,275

Tablo 5. Azaltılmış deprem etkisi altında tasarım depremi gerilme kontrolleri (Table 5. Design earthquake stress controls under reduced seismic action)

KONTROLLÜ HASAR DURUMU DD-2 DEPREMİ R=2,5 D=1,5								
Taban Kesiti	Kot	KAT	Oluşan En Büyük Normal Gerilme σ (MPa)		Normal Emniyet Gerilmesi σ_{em} (MPa)	Oluşan En Büyük Kayma Gerilmesi τ (MPa)		Kayma Emniyet Gerilmesi τ_{em} (MPa)
0.00	24	KAT	0,36	✓	2,25	0,032	✓	0,275
	35	KAT	0,40	✓	2,25	0,015	✓	0,275
Geçiş Kesiti +5.28	1734	KAT	0,14	✓	2,25	0,018	✓	0,275
	1745	KAT	0,15	✓	2,25	0,023	✓	0,275
Üst Seyir Altı +25.48	6268	KAT	0,16	✓	2,25	0,027	✓	0,275
	6279	KAT	0,15	✓	2,25	0,024	✓	0,275

Görüldüğü üzere doğrusal hesap yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde SH kontrolleri yapılırken düşey yük ve azaltılmamış öngörülen DD-2 düzeyi deprem etkisinde hesap dayanım sınır değerleri kontrol edilmiş ve bu sınır değerlerin aşılmadığı anlaşılmıştır.

Ayrıca yine doğrusal hesap yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde bu defa KH durum kontrolleri yapılırken düşey yük ve azaltılmış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanım sınır değerleri kontrol edilmiş ve bu sınır değerlerin de aşılmadığı anlaşılmıştır. DD-2 depreminde oluşan gerilmeler KH sınır durumunda aşılmadığından, aynı deprem koşullarında GÖ sınır durum değerlendirmesinin yapılmasına gerek olmadığı anlaşılmıştır.

Değerlendirilme yapılması gereken bir diğer önemli hususun da yapıda oluşan yerdeğiştirme değerlerinin, sınır yerdeğiştirme değerleri ile karşılaştırılması olduğu açıktır. Doğrusal hesap yöntemiyle azaltılmamış deprem etkisindeki analiz sonucunda hesaplanan yerdeğiştirme değeri ve buna

karşılık gelen sınır değerler Tablo 6'da gösterilmiştir. Sınır değerler TYDRYK'den alınmıştır. Ötelenme oranı analiz neticesinde belirlenen yerdeğiştirme miktarının kulenin yüksekliğine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Benzer şekilde sınır yerdeğiştirme miktarı ise sınır ötelenme oranının kule yüksekliği ile çarpılmasıyla belirlenmiştir. Analiz neticesinde belirlenen yerdeğiştirme miktarının ve buna bağlı olarak hesaplanan ötelenme oranının SH için belirlenen ötelenme oranını sağlamadığı, fakat KH ve GÖ ötelenme oranlarını sağladığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlar TBDY-2018'de açıklanan DD-2 düzeyinde deprem için Normal Performans hedefi olarak öngörülen KH performans düzeyinin sağlandığını göstermiştir. Benzer bir sonuca, TYDRYK'de inşa edilecek kulenin ulusal öneme sahip bir yapı olarak kabul edilmesi durumunda DD-2 için KH performans düzeyinin sağlanmasının yeterli görüldüğü anlaşılmaktadır.

Tablo 6. Tasarım depremi öteleme kontrolleri (Table 6. Design earthquake drift controls)

Kritik Kesit Kot ve İsimleri		Deprem Düzeyi	Oluşan En Büyük Yerdeğiştirme miktarı (mm)	Oluşan En Büyük Ötelenme Oranı (%)	Sınırlı Hasar Ötelenme Oranı < %0,3		Kontrollü Hasar Sınır Oranı < %0,7		Göçme Öncesi Ötelenme Oranı < %1	
Tepe Noktası	9821	DD-2	142	0,35	120 mm	✘	280 mm	✓	400 mm	✓

Seyir kulesinin dinamik analizi incelenirken tasarım depremlerinin haricinde, gerçek deprem kayıtları da kullanılarak yapılan analizler neticesinde zaman tanım alanında değerlendirmeler de yapılmıştır. Zaman tanım alanında

değerlendirmelerin yapılabilmesi için kullanılan gerçek depremlerin özellikleri Tablo 7'de verilmiştir. Deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz sonuçları da Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri (Table 7. Characteristics of earthquake records used in the analysis)

Deprem	İstasyon	Tarih	Bileşke	Büyüklik M_s	En Büyük Zemin İvmesi (g)	En Büyük Zemin Hızı (cm/s)	En Büyük Zemin Yer Değiştirmesi (cm)
Düzce	Düzce	12.11.1999	180°	7,5	0,310	58,90	44,20
Elcentro	El Centro	19.05.1940	050°	6,5	0,170	47,50	31,10
Erzincan	Erzincan	13.03.1992	KG	6,7	0,520	84,00	27,70
Kobe	Kobe City	16.01.1995	000°	7,2	0,820	81,30	17,70
Kocaeli	Yarımca	17.08.1999	060°	7,5	0,270	65,70	57,20

Tablo 8. Deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz gerilme sonuçları ve sınır değerler (Table 8. Analysis stress results and limit values using earthquake acceleration records)

Kritik Kesit Kot ve İsimleri		Deprem Kaydı	Oluşan Normal Gerilme σ (MPa)	Normal Emniyet Gerilmesi σ_{em} (MPa)	Oluşan Kayma Gerilmesi τ (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi τ_{em} (MPa)			
Taban Kesiti 0.00 Kotu	24	KATI	DUZCE	0,495	✓	2,25	0,015	✓	0,275
	24	KATI	ELCENTRO	0,365	✓	2,25	0,018	✓	0,275
	24	KATI	ERZINCAN	0,583	✓	2,25	0,018	✓	0,275
	24	KATI	KOBE	1,534	✓	2,25	0,046	✓	0,275
	24	KATI	YARIMCA	0,562	✓	2,25	0,017	✓	0,275
Taban Kesiti 0.00 Kotu	35	KATI	DUZCE	0,405	✓	2,25	0,014	✓	0,275
	35	KATI	ELCENTRO	0,345	✓	2,25	0,016	✓	0,275
	35	KATI	ERZINCAN	0,605	✓	2,25	0,043	✓	0,275
	35	KATI	KOBE	1,454	✓	2,25	0,043	✓	0,275
	35	KATI	YARIMCA	0,427	✓	2,25	0,016	✓	0,275
Geçiş Kesiti +5.28 Kotu	1734	KATI	DUZCE	0,169	✓	2,25	0,031	✓	0,275
	1734	KATI	ELCENTRO	0,138	✓	2,25	0,024	✓	0,275
	1734	KATI	ERZINCAN	0,253	✓	2,25	0,039	✓	0,275
	1734	KATI	KOBE	0,619	✓	2,25	0,100	✓	0,275
	1734	KATI	YARIMCA	0,176	✓	2,25	0,036	✓	0,275
Geçiş Kesiti +5.28 Kotu	1745	KATI	DUZCE	0,187	✓	2,25	0,037	✓	0,275
	1745	KATI	ELCENTRO	0,141	✓	2,25	0,028	✓	0,275
	1745	KATI	ERZINCAN	0,224	✓	2,25	0,045	✓	0,275
	1745	KATI	KOBE	0,593	✓	2,25	0,012	✓	0,275
	1745	KATI	YARIMCA	0,217	✓	2,25	0,043	✓	0,275
Üst Seyir Altı +25.48 Kotu	6268	KATI	DUZCE	0,104	✓	2,25	0,012	✓	0,275
	6268	KATI	ELCENTRO	0,078	✓	2,25	0,010	✓	0,275
	6268	KATI	ERZINCAN	0,093	✓	2,25	0,011	✓	0,275
	6268	KATI	KOBE	0,186	✓	2,25	0,025	✓	0,275
	6268	KATI	YARIMCA	0,069	✓	2,25	0,010	✓	0,275
Üst Seyir Altı +25.48 Kotu	6279	KATI	DUZCE	0,071	✓	2,25	0,017	✓	0,275
	6279	KATI	ELCENTRO	0,053	✓	2,25	0,014	✓	0,275
	6279	KATI	ERZINCAN	0,049	✓	2,25	0,014	✓	0,275
	6279	KATI	KOBE	0,137	✓	2,25	0,034	✓	0,275
	6279	KATI	YARIMCA	0,047	✓	2,25	0,013	✓	0,275

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal analiz sonuçlarını değerlendirdiğimizde, seyir kulesinde basınç ve kayma gerilmelerinin yine aşılmadığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte tasarım depremi (DD-2) ile ivme kayıtlarıyla oluşturulan deprem sonuçlarını kıyasladığımızda zaman tanım alanında karşılaşılan gerilmelerin daha büyük olduğu görülmüştür.

Zaman tanım alanı değerlendirme sonuçlarında seçilen kritik kesit gerilmelerinin sınır değerleri aşmaması önemli bir hususken, öteleme kontrollerinin de yapılması gerekmektedir. Bu nedenle ivme kayıtlarıyla yapılan doğrusal analiz öteleme sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz öteleme sonuçları ve sınır değerler (Table 9. Analysis drift results and limit values using earthquake acceleration records)

Kritik Kesit Kot ve İsimleri	Deprem Kaydı	Oluşam En Büyük Yerdeğiştirme Miktarı (mm)	Sınırlı Hasar Ötelenme Oranı <%0,3		Kontrollü Hasar Sınır Oranı < %0,7		Göçme Öncesi Ötelenme Oranı < %1		
			SH Sınır Yerdeğ. Miktarı (mm)		KH Sınır Yerdeğ. Miktarı (mm)		GÖ Sınır Yerdeğ. Miktarı (mm)		
Tepe Noktası	9821	DUZCE	204	120	×	280	✓	400	✓
Tepe Noktası	9821	ELCENTRO	147	120	×	280	✓	400	✓
Tepe Noktası	9821	ERZINCAN	229	120	×	280	✓	400	✓
Tepe Noktası	9821	KOBE	593	120	×	280	×	400	×
Tepe Noktası	9821	YARIMCA	228	120	×	280	✓	400	✓

Tasarım depreminde de olduğu gibi seçilen deprem kayıtlarından alınan analiz sonuçlarına bakıldığında SH durumunda sağlanması istenilen öteleme sınır değerlerinin aşıldığı belirlenmiştir.

KH ve GÖ sınır durumlarında ise Kobe gibi büyük bir depremde öteleme sınırlarının aşıldığı fakat diğer depremlerde öteleme sınır koşullarının sağlandığı görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneri

Günümüz inşaat teknolojisiyle birlikte yapı malzemeleri her ne kadar değişmekte olsa da hem mevcut tarihi yapıların değerlendirilmesi hem de tarihi dokuya uygun yeni yığma yapıların yapılabilmesi amacıyla, doğal taşlarla yığma yapı oluşturma tekniğini de gelişime açık tutmak gerektiği düşünülmektedir.

Söz konusu çalışmanın içeriğini belirleyen seyir kulesinin yığma yapı tekniğiyle tasarlanması ile yığma yapı davranışının daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır. Çalışmada ele alınan seyir kulesinin yığma yapı olmasıyla birlikte, yüksek yapı olması da minare, kule tipi yüksek yapıların deprem davranışlarını aydınlatma konusunda da fikir sunmaktadır.

TBDY-2018 doğrultusunda oluşturulan tasarım depremi ve meydana gelmiş çeşitli depremlerin kayıtlarının kullanılmasıyla
e-ISSN: 2148-2683

dinamik analiz sonuçlarının değerlendirildiği bu çalışmanın yığma yapı tekniğiyle inşa edilmiş yüksek yapıların deprem davranışlarının anlaşılması konusunda faydalı olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak yığma yapı tekniğiyle oluşturulan yapıların basınç dayanımları yüksek olsada, kayma dayanımlarının düşük olması bu tür yapıları deprem gibi dinamik yükler karşısında zayıf kılmaktadır. Bu nedenle yığma yapıları yönetmeliklerde verilen kurallara göre yapmanın önemli olduğu açıktır.

Ayrıca yığma yapı tekniği ile inşa edilen yüksek kule tipi yapılarda yerdeğiştirme sınır değerinin büyük depremlerde aşıldığı görüldüğünden, tepe yerdeğiştirme miktarını azaltacak araştırmaların yapılmasının faydalı olacağı ifade edilebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda İnşaat Müh. Gürkan BALTACI tarafından tamamlanan “Yığma Bir Seyir Kulesinin Dinamik Analizi” adlı yüksek lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Yazarlar çalışmanın mimari tasarımını gerçekleştiren Dr. Öğr. Üyesi Şahabettin ÖZTÜRK’e ve katkılarından ötürü İnşaat Mühendisi Dünder ERÖRS’e teşekkür ederler.

Kaynakça

- Acar, R. (2009). Anıtsal Kule Türü Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi Ve Alternatif Sistemlerin Geliştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Bayülke, N. (1980). Yığma Yapılar. T.C. İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- Biçen, V. S., Işık, E., Arkan, E., & Ulu, A. E. (2020). A study on determination of regional earthquake risk distribution of masonry structures. *ArtGRID-Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 2(2), 74-86.
- Çırak, İ. F. (2011). Yığma yapılarda oluşan hasarlar, nedenleri ve öneriler. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 3(2), 55-60.
- Çöğür, M. T. (2007). Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi. (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Ertekin, B. (2020). Mevcut bir yığma yapının sismik performansının belirlenmesi ve güçlendirme yöntemi (Master's thesis, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Hadzima-Nyarko, M., Ademovic, N., Pavic, G., & Sipos, T. K. (2018). Strengthening techniques for masonry structures of cultural heritage according to recent Croatian provisions. *Earthquakes and Structures*, 15(5), 473-485.
- Işık, E., & Antep, B. (2018). Ahlat İlçesinde Yer Alan Tarihi Yığma Minarenin Yapısal Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1):46-56.
- Işık, E., Antep, B., Büyüksaraç, A., & Işık, M. F. (2019). Observation of behavior of the Ahlat Gravestones (TURKEY) at seismic risk and their recognition by QR code. *Structural Engineering and Mechanics, An Int'l Journal*, 72(5), 643-652.
- Işık, E., Harirchian, E., Arkan, E., Avcil, F., & Günay, M. (2022). Structural Analysis of Five Historical Minarets in Bitlis (Turkey). *Buildings*, 12(2), 159.
- İzol, R., Gürel, M. A., Pekgökgöz, R. K., & Avcil, F. (2019). Out-of-plane seismic resistance of high masonry walls having rectangular buttresses. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2), 1007-1023.
- Karasin, I. B., & Isik, E. (2016). Protection of Ten-Eyed Bridge in Diyarbakır. *Budownictwo i Architektura*, 15(1), 87-94.
- Koç, V. (2016). Depreme Maruz Kalmış Yığma ve Kırsal Yapı Davranışlarının İncelenerek Yığma Yapı Yapımında Dikkat Edilmesi Gereken Kuralların Derlenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (1): 36-57.
- Kökan, H. (2019). Ard Çekmeli Radye Temeller İle Betonarme Radye Temellerin Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- SAP2000. Computers and Structures Inc., (2002). Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures, Berkeley, California
- Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu (TYDRYK), (2017), Vakıflar Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TBDY-2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete; 30364, Ankara, Türkiye.

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması TDTH (2018), <https://tdth.afad.gov.tr/>, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.