



## FARKLI DUVAR MALZEMELERİNE SAHİP YIĞMA BİR BİNANIN 2007 VE 2018 DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI

Bilal BARAN<sup>1\*</sup>, Kanat Burak BOZDOĞAN<sup>2</sup>, İsmail İsa ATABEY<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Deprem Yönetmeliği,  
Yığma Bina,  
Periyot,  
Duvar Malzemesi,  
Spektrum.*

### Öz

Bu çalışmada Nevşehir ili Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı içerisinde olduğu kabul edilen 2 katlı yığma bir binanın dayanıma göre tasarım, şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım esaslı analizleri, StatiCAD-Yığma paket programı yardımıyla 2007 ve 2018 Türkiye Bina Deprem yönetmelikleri kullanılarak yapılmıştır. Duvarlarda farklı iki malzeme (Tuğla ve Gazbeton) kullanılmasının sonuçlara etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında aynı örnek bina SAP2000 programı kullanılarak analiz edilerek StatiCAD-Yığma ile SAP2000 sonuçlarının uyumluluğu araştırılmıştır. SAP2000 ile analizde duvarlar Shell eleman olarak modellenmiştir. Çalışma sonucunda 2007 Deprem Yönetmeliği ile hesaplanan taban kesme kuvveti TBDY 2018'e göre hesaplanan kesme kuvvetinden tuğla binada %176, gazbeton binada %190 fazla bulunmuştur. TBDY 2018'de ise modal analiz ve ampirik formül ile tespit edilen taban kesme kuvvetlerinde yaklaşık %25 fark tespit edilmiştir.

## COMPARISON OF MASONRY BUILDING CONSTRUCTED FROM DIFFERENT WALL MATERIALS ACCORDING TO 2007 AND 2018 TURKISH EARTHQUAKE CODES

### Keywords

*Earthquake Codes,  
Masonry,  
Period,  
Wall Materials,  
Spectrum.*

### Abstract

In this study, a 2-storey masonry building, which is considered to be in the campus area of Nevşehir Hacı Bektaş Veli University in Nevşehir, was designed according to strength, deformation and design-based analyzes were made using the 2007 and 2018 Turkey Building Earthquake Codes with the help of StatiCAD Masonry package program. The effect of using two different materials (Brick and Aerated Concrete) on the walls on the results was investigated. Within the scope of the study, the same sample building was analyzed using the SAP2000 program and the compatibility of StatiCAD-Masonry and SAP2000 results was investigated. In the analysis with SAP2000, the walls are modeled as Shell elements. As a result of the study, the base shear force calculated with the 2007 Earthquake Code was found to be 176% higher in the brick building and 190% in the aerated concrete building than the shear force calculated according to TBDY 2018. In TBDY 2018, approximately 25% deviation was detected in the base shear forces determined by the modal analysis and empirical formula.

### Alıntı / Cite

Baran, B., Bozdoğan, K.B., Atabey, İ.İ., (2022). Farklı Duvar Malzemelerine Sahip Yığma Bir Binanın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 1066-1075.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Baran, 0000-0002-2568-7035  
K.B. Bozdoğan, 0000-0001-7528-2418  
İ.İ. Atabey, 0000-0002-7026-5579

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	02.09.2021
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	16.05.2022
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	04.06.2022
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.09.2022

\* İlgili yazar / Corresponding author: bilalbaran@nevsehir.edu.tr, +90-384-228-1000

## 1. Giriş (Introduction)

Türkiye dünyanın aktif ve tehlikeli fay hatları üzerinde yer almaktadır. Mevcut yapıların %90'dan fazlası deprem riski altındadır (Amani vd., 2020). 18 Mart 2018 Tarihli ve 30364 Sayılı Resmî Gazete'de yayınlanan 2018 TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) ile deprem bölgesi kavramı terk edilmiş bunun yerine sismik tehlike analizi kavramına geçilmiştir. Bu kavramla birlikte hesaba katılan deprem yüklerinde önemli oranda değişiklikler olmuştur.

Yığma yapılar, taşıyıcı yapı elemanları duvarlar, döşemeler, döşemelerin mesnetlendiği hatıllar ve şerit temellerden oluşan yapılardır. Çeşitli malzemelerden oluşan duvarlar, döşemelerden iletilen düşey ve yatay yükleri şerit temellere iletirler. Türkiye'de yeterince mühendislik hizmeti almamış yığma yapılar mevcuttur. Bu da ülkemizde meydana gelen depremler sonucunda yığma yapılarda büyük hasarlara sebep olmaktadır (Atabey ve Kani, 2014).

Literatürde yığma yapılar ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Çılı (1978), yığma binaların yatay yüklere göre analizi için kullanılabilecek bir yöntem önermiştir. Çalışma kapsamında önerilen yöntemin işlem adımları bir örnek üzerinde adım adım açıklanmıştır.

Atabey ve Kani (2014), yığma bir okul binasını 2007 Deprem Yönetmeliğine göre hem analitik yöntem ile hem de StatiCAD-Yığma paket programı ile performans analizini yapmışlardır. Program ile analitik yöntem sonuçları karşılaştırılmış ve her iki yöntem ile elde edilen sonuçlarda tasarım ve malzeme açısından yetersiz olan bina göçme sınırı performans seviyesinde bulunmuştur.

Oyguç (2017), 2011 Van depremi sonrası yığma yapılarda oluşan hasarları gözlemlemiştir. Düşük kaliteli kerpiç duvar malzemesi kullanımının devrilme sonucu oluşan yığma yapı hasarlarını arttırdığını belirtmiştir.

Smyrou (2017), dört katlı kuşatılmış iki yığma binanın deprem davranışlarını incelemiştir. Analizlerinde Muradiye'de oluşan ve Van Merkez'de beklenen deprem kayıtlarını kullanmıştır. Çalışmada binaların dolgu duvarlı olması durumundaki davranışı ile de karşılaştırmalar yapılmıştır. Kuşatılmış yığma yapıların, aynı özelliklerde dolgu duvarlı olarak modellendiği betonarme yapılara kıyasla dayanımlarının ve çevrimsel enerji sönüm kapasitelerinin sırasıyla %33 ve %46 oranlarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yıldızoğlu ve Can (2018), StatiCAD-Yığma programını kullanarak Bayburt il merkezinde bulunan Korkut Ata Lisesi yığma yapısının 2007 Deprem Yönetmeliği ve 2013 Riskli Yapılar Yönetmeliği hükümlerince performans analizini yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda ele alınan yapının 50 yılda gerçekleşme ihtimali %10 olan depremlerde göçme durumunda olduğunu belirtmişlerdir.

Yıldızlar ve Akçay (2018), tarihi yığma bir binanın güçlendirme işlemleri öncesi mevcut durumunu araştırmışlar ve emniyet seviyesini hızlı durum tespit yöntemi ile incelemişlerdir. Yaptıkları analiz sonuçlarına göre yapının risk durumu açısından "Yüksek Risk" seviyesinde yer aldığını tespit etmişlerdir.

Kumbasaroğlu ve Çelik (2019), çalışmalarında tarihi Yanıkoğlu Cami'sinin analitik modelini oluşturmuşlardır. Eşdeğer deprem yükü hesabı ile yapının 2017 yılında Vakıflar Genel Müdürlüğüne yayımlanan Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzuna göre Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Akçay ve Yıldızlar (2019), tarihi bir yığma yapının taşıyıcı elemanlarından olan duvarlardaki kesit artırımının yapısal maliyet ve emniyetteki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kademeli kesit artırımlarının olduğu 20 adet yığma yapı modeli ve mevcut yapıyı temsil eden 1 adet referans model kullanmışlardır. Yapıya etkiyen yatay yüklerin emniyetle taşınmadığını ve mevcut yapıya 14728 m<sup>3</sup> ile 1670 m<sup>3</sup> aralığında değişen ilave taşıyıcı eleman hacimlerine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Amani vd. (2020) araştırmalarında 1998 ve 2007 yönetmelikleri ile 2018 deprem yönetmeliğini örnek bir yığma bina üzerinde karşılaştırmışlardır. 2007 yönetmeliğine göre inşaa edilen örnek bir bina üzerinden elde ettikleri sonuçlara göre, 2018 yönetmeliğine göre hesaplanan taban kesme kuvvetinin 2007 ve 1998 yönetmeliklerinden sırasıyla %42 ve %77 daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Kuran vd. (2020), TBDY-2018 ve DBYBH-2007 kapsamında yığma binalar ile ilgili hükümleri değerlendirerek karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, TBDY-2018'e göre ivme değeri 0.10 g üzerindeki deprem etkisindeki donatısız yığma bina tasarımı yapmanın mümkün olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmada DBYBH-2007 kapsamında inşa edilen mevcut donatısız yığma binaların birçoğunun TBDY-2018 tasarım kriterleri dikkate alındığında kesme kuvveti güvenliğini sağlamadığı gösterilmiştir.

Tilki vd. (2020), tarihi bir yığma binayı bir vaka çalışması olarak ele almışlardır. Sayısal analizler ile tarihi yığma yapının mevcut durumunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada lineer elastik analizlerde sismik parametreler, TBDY 2018'e göre belirlenmiştir. Analizler sonucunda düzlem içi ve düzlem dışı çatlakların yanı sıra deformasyonların yoğun olduğu bölgelerde güçlendirme çalışmaları yapılması önerilmiştir.

Akgül ve Doğan (2020), Ankara-Altındağ ilçesinde farklı katlara sahip, yığma bina stoğunu temsil edecek, 5 farklı tipteki yığma binanın, StatiCAD-Yığma programı ile deprem risk analizlerini yapmışlar ve elde edilen sonuçları TBDY-2018 kapsamında değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, duvarlardaki boşluk yüzdelerinin, katlardaki malzeme özelliklerinin ve bodrum katlarda toprakla çevrili duvar oranlarının zayıf katın belirlenmesinde en etkin parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Angjeliu vd. (2020), tarihi yığma yapıların yapısal sistem bütünlüğünü, DT (Digital Twin) konseptini geliştirilerek incelemişlerdir. Çalışmada malzeme özelliklerinin seçimi ve inşaat aşamaları dikkate alınarak doğrusal olmayan sonlu eleman modeli ile üç boyutlu geometrik model oluşturulmuştur. Bu prosedür ile sistemin mevcut yapısal koşulları yüksek hassasiyetle değerlendirilmiştir. Sunulan yöntemin önleyici bakım veya pratik müdahaleler için gelecekteki olası hasarların ve binanın yapısal elemanlarının geçmiş hasarlarını anlamak için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Shabdin vd. (2020), mevcut donatısız yığma bir yapının sismik performansını değerlendirmek için sarsma masası deneyi yapmışlardır. Çalışmada, iki farklı davranışa sahip tuğla binaların güçlendirme öncesi ve sonrasında davranışını belirlemek için dinamik deneyler gerçekleştirmişlerdir. İlk modelde, çelik kirişler arasındaki bütünlüğü sağlamak ve rijit diyafram davranışı göstermesi için İran Deprem Yönetmeliğine (Standart-2800) göre çelik kirişler ve çelik çubuklar yerleştirirken diğer modelde esnek diyafram kabulü yapmışlardır. Çalışmada döşemenin diyafram olarak görevini yerine getirmesinin meydana gelen hasar seviyesinin kontrol edilmesi ve yapısal çatlakların sınırlandırılması açısından önemli olduğunu göstermişlerdir.

Choudhury vd. (2020), farklı açıklıklara sahip üç yığma perde duvar prototipi ile bu duvarların montajı ile oluşturulan tek odalı donatısız yığma binaları incelemişler ve sayısal model sonuçları ile deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada iki farklı sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Birinci model, duvarın basınç ve çekmede ayrı hasar gösterdiğini kabul eden en basit homojen izotropik malzeme modelidir. İkinci model ise, elastik 8 düğüm noktalı ve homojenleştirilmiş arayüzler aracılığıyla tek tek duvarların ve tüm binanın ayrıştırılmasına dayanmaktadır. Çalışma sonucunda ilk yöntemin, yanal yük taşıma kapasitesinin kabul edilebilir tahminlerini sağlasa bile elde edilen hasar kriterleri açısından genellikle deneysel olarak gözlemlenenlere çok yakın olmadığını tespit etmişlerdir. İkinci modelin ise davranışı doğru bir şekilde temsil ettiği ve elde edilen çatlakların deneysel sonuçlara çok yakın olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle ikinci modelin donatısız yığma binaların analizi için güvenilir bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Karalar ve Çavuşlu (2020), tarihi bir yığma yapının performansı değerlendirmişlerdir. Yığma yapıyı StatiCAD yığma programında 3 boyutlu olarak modellemişlerdir. Yaptıkları performans analizi sonucunda 2018 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak güçlendirme yapmışlardır.

Çoban (2021), yığma yapıların TBDY 2018'e göre deprem performansını araştırmıştır. DBYBHY-2007'ye göre Afyonkarahisar'da projelendirilmiş ve yapımı tamamlanmış olan genel yığma yapı stoğunu temsil edecek şekilde 10 adet yığma bina projesini STA4-CAD yardımıyla modellemiş ve analizlerini yapmıştır. Ayrıca çalışmada duvar imalatında kullanılan tuğla ve harcın basınç dayanımlarındaki değişim yönetmelikte belirlenen değerler için incelenmiş ve bunların yapı performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, harç dayanımının duvar dayanımına göre yapı performansı üzerinde daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

Can (2021), 1997-1998 yılları arasında inşa edilen, Zemin + 4 katlı toplam 5 katlı kâgir yapının analizini StatiCAD-Yığma paket programı ile 2018 Deprem Yönetmeliğine göre yapmışlardır. Analiz sonucunda basınç ve kayma gerilmeleri açısından yetersiz kalan duvarlara güçlendirme sıvası önerilerinde bulunulmuştur.

Çaycı ve Eldemir (2021), TBDY 2018 ve DBYBHY 2007'de tanımlanan bina performans seviyelerini karşılaştırılmışlardır. 5 farklı betonarme binayı bilgisayar ortamında modelleyerek statik itme analizi gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda, hasar düzeylerinde iki yönetmelik arasında önemli farklar tespit etmişler ve DBYBHY-2007'e göre performans analizleri gerçekleştirilen yapıların TBDY-2018'e göre yetersiz düzeyde çıkma ihtimalinin olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ise Nevşehir ili Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı içerisinde olduğu varsayılan 2 katlı yığma bir binanın deprem ve performans analizleri, StatiCAD-Yığma paket programı kullanılarak 2007 ve 2018 Deprem yönetmeliğine göre yapılmıştır. Çalışma kapsamında donatısız yığma yapılarda iki farklı duvar malzemesi (Tuğla ve Gazbeton) kullanılması durumunda oluşan deprem kuvvetleri ve performans düzeyleri

karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada yığma binaların çubuk elemanlarla modellenmesinin uygunluğu da araştırılmıştır. Bu amaçla ele alınan bina SAP2000 programı ile kabuk elemanlarla modellenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada malzemenin doğrusal elastik davranış gösterdiği ve geometrik nonlineer etkilerin ihmal edilebilecek mertebede olduğu kabul edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada ele alınan yığma binanın performans analizi StatiCAD-Yığma paket programı ve SAP2000 yardımıyla gerçekleştirilmiştir. StatiCAD-Yığma paket programında eşdeğer çubuk sonlu eleman modeli kullanılmıştır (StatiCAD-Yığma, 2021). Sadece dolu duvar parçaları taşıyıcı olarak kabul edilmiştir. Düşey gerilme kontrolleri deprem durumu için de gerçekleştirilmiştir. Kayma emniyet gerilmesi hesabında depremden kaynaklı ilave normal kuvvetlerde dikkate alınmıştır. SAP2000 ile analizde duvarlar kabuk (shell) eleman olarak modellenmiştir.

### 2.1. TBDY 2018 ve DBHBYH 2007'nin Yığma Yapılarla İlgili Temel Maddelerin Karşılaştırılması (Comparison of TBDY 2018 and DBHBYH 2007 in Terms of Masonry Structures)

2007 deprem yönetmeliğinde emniyet gerilmeleri yöntemi kullanılırken yürürlükte olan TBDY 2018'de taşıma gücü yöntemi kullanıldığından DBYBHY-2007'de kullanılan duvar basınç emniyet gerilmesi ( $f_{em}$ ) ve duvar kayma emniyet gerilmesi ( $\tau_{em}$ ) parametrelerine karşılık olarak, TBDY 2018'de yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı  $f_k$ , duvar karakteristik kesme dayanımı  $f_{vk}$  ve duvarların tasarım dayanımları belirleyen  $\gamma_m$ ,  $\gamma_s$  malzeme katsayıları (dayanım azaltma katsayıları) kullanılmaktadır (DBYBHY, 2007; TBDY, 2018). Bu çalışmada donatısız yığma bina analizi yapıldığından, TBDY 2018'de belirtildiği üzere gazbetonda  $\gamma_m$  1.75, tuğlada 2.0 kabul edilmiştir.

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad (1)$$

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_d \leq 0.10 f_b \quad (2)$$

Karakteristik başlangıç kesme dayanımı ( $f_{vko}$ ), TBDY 2018 'de Tablo 11.3'te verilen değerler doğrultusunda hesaba katılmıştır.  $E_{duv}$  değeri yapısal çözümleme için  $750 f_k$ , duvar kayma modülü ( $G_{duv}$ ) ise elastisite modülünün %40'ı olarak alınmıştır. Eşdeğer çubuk yöntemi ile yapılan analizlerde, dikdörtgen kesitli bir duvar parçası için elastik yatay rijitlik her iki ucun ankastre olduğu kabulü ile (3) nolu denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$k_{duv} = \frac{1}{\left(\frac{H^3}{12E_{duv}I} + \frac{H}{1.2G_{duv}A}\right)} \quad (3)$$

Burada dolu duvar parçasının yatay en kesit alanı "A", dolu duvar parçasının atalet momenti "I", döşeme üst kotundan döşeme (varsa hatıl) alt kotuna kadar olan uzunluğu "H" ile gösterilmektedir.

Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda (3) nolu denklemin TBDY 2018' de yazım hatası sonucu yanlış yazıldığı sonucuna varılmıştır. Kuran vd. tarafından yapılan çalışmada da bu yazım hatası ifade edilmiştir (Kuran vd., 2020). Literatürden bilindiği üzere (3) nolu denklemin doğru şekli aşağıdaki şekilde olmalıdır.

$$k_{duv} = \frac{1}{\left(\frac{H^3}{12E_{duv}I} + \frac{1.2H}{G_{duv}A}\right)} \quad (4)$$

TBDY 2018 ile yapılan analizlerde taşıyıcı duvar etkin rijitlikleri brüt rijitliklerin %50'si kadar azaltılmıştır.

Staticad ile analiz yaparken (3) nolu bağıntının yanlış yazımından kaynaklanan hatanın yaklaşık olarak giderilmesi için eğilme etkisinin ihmal edilmesi sonucu duvar etkin rijitlikleri 0.694 katsayısı ile çarpılmıştır.

TBDY 2018 hükümlerinde kesme kuvveti etkisindeki tuğla ve gaz beton kullanılan donatısız yığma yapılar için minimum efektif duvar kalınlığı 240 mm, DBHBYH 2007'de ise aynı tür yapılar için 200 mm olarak belirlenmiştir.

DBHBYH 2007'de Yığma binalarda her bir katın yüksekliği için döşeme üstünden döşeme üstüne en çok 3.0 m sınırı koyulmuşken, TBDY 2018 Tablo 11.4'te maksimum efektif duvar yüksekliğinin efektif duvar kalınlığı oranı  $\max(h_{ef} / t_{ef})$  ile belirtilmiştir. Tuğla ve gaz beton kullanılan donatısız yığma yapıları için bu oran 12 olarak verilmiştir. Yönetmeliklerdeki taşıyıcı duvarların en büyük desteklenmemiş uzunluğu aynıdır.

DBHBYH 2007’de  $S(T_1) = 2.5$  ve  $R_a(T_1) = 2.0$  olarak tanımlanmış ve bu değerlere bağlı olarak  $S_{ae}(T)$  ivme değeri yığma yapının periyodundan bağımsız olarak sabit tanımlanmışken, TBDY 2018’de Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi ( $S_{ae}(T)$ ) ve Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ ) yapının periyoduna bağlı olarak değişmektedir.

## 2.2 Yığma Bina Performans Düzeyleri (Masonry Building Performance Levels)

TBDY 2018-Madde 3.4’te Bina Performans Düzeyleri, deprem etkisi altında Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi, Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi, Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi, Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi olarak belirlenmiştir.

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmemesi veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde olması durumu “Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi”, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyi “Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi”, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan, onarılması mümkün olan hasar düzeyi “Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi”, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelen binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenen düzey “Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi” olarak tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

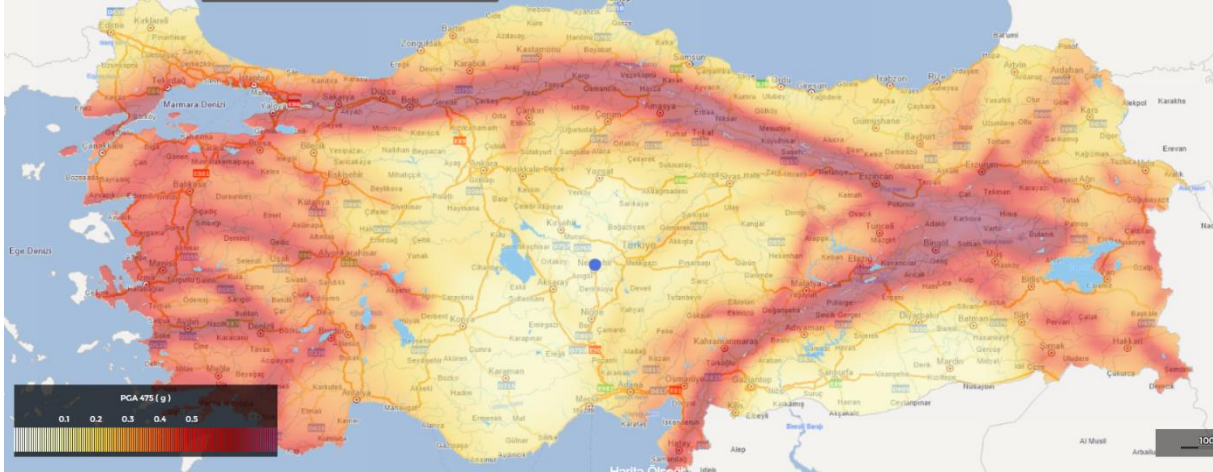
TBDY 2018 Madde 3.5.1.2’ de belirtildiği üzere yığma, hafif çelik ve ahşap binaların, DD-2 deprem yer hareketini etkisinde Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini sağlaması gerekmektedir.

DBYBHY 2007 Madde 7.7.6’ya göre ise yığma binanın iki doğrultudaki tüm duvarlarının kesme kapasitesi deprem etkileri altında yeterli ise, bina Hemen Kullanım Performans Düzeyini sağlamaktadır. Katların herhangi birinde deprem doğrultusunda bu koşulu sağlamayan duvarların kat kesme kuvvetine katkısı %20’nin altında ise binanın Can Güvenliği Performans Düzeyinde olduğu ve bu durumların haricinde binanın Göçme Durumunda olduğu kabul edilmektedir.

## 3. Ele Alınan Yığma Binanın Özellikleri (Features of the Masonry Building Considered)

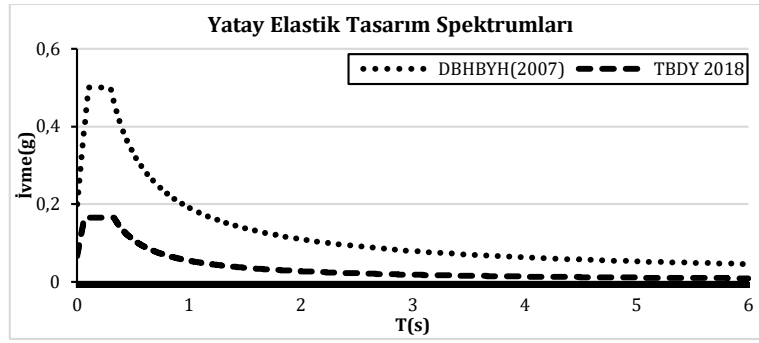
### 3.1 Konum (Location)

Mevcut yapı stoğunu temsil ettiği kabul edilen donatısız yığma binanın konumu Nevşehir ili Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı içerisinde (Enlem/Boylam: 38.679077° / 34.741209°) kabul edilmiştir. Şekil 1’de yapının harita üzerinde konumu gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Kampüs Alanının Konumu (Location of Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Campus Area)(AFAD, 2018)

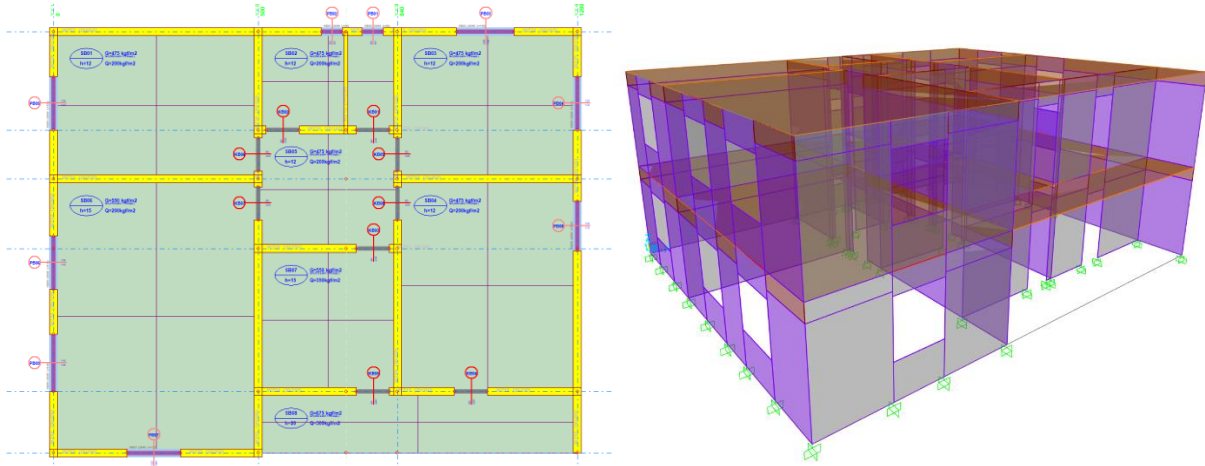
Nevşehir ili Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı konumu (Enlem/Boylam: 38.679077° / 34.741209°) için 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri uyarınca Yatay Elastik Tasarım Spektrumları hesaplanarak Şekil 2’de gösterilmiştir. Çalışmada zemin sınıfı 2007 deprem yönetmeliği için Z1 ve 2018 deprem yönetmeliği için ZA olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 2. 2007 ve 2018 Deprem yönetmeliklerine göre Nevşehir ili için Yatay Elastik tasarım Spektrumlarının karşılaştırılması (Comparison of Horizontal Elastic Design Spectra for Nevşehir according to the 2007 and 2018 Earthquake codes)

### 3.2 Tasarım Parametreleri (Design Parameters)

Çalışma kapsamında ele alınan bina, bodrumsuz ve zemin+1. kattan oluşan 2 katlı bir yapıdır. Kat yükseklikleri 2.8 m, duvar kalınlıkları 200 mm ve yatay hatlıların kesitleri 200\*400 mm'dir. Efektif kat yükseklikleri ve duvar kalınlıkları DBYBHY 2007 koşullarını sağlar iken; TBDY 2018 şartlarını sağlayamamaktadır. Ele alınan binanın DBYBHY 2007'ye uygun yapıldığı kabul edilerek TBDY 2018'e göre performans analizi irdelenmiştir. Çalışmada TBDY 2018 kapsamında dayanıma ve performansa göre analizler, 20 cm'lik duvar kalınlığı için yapılmıştır. Tüm yığma binaların betonarme döşeme kalınlıkları eşittir. Döşemeler her bina için 120-150-200 mm kalınlıklarında tasarlanmıştır. Donatısız yığma binanın betonarme bileşenlerinde beton sınıfı C25 alınmıştır. Betonarme döşemelerin rijit diyafram davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Donatısız yığma bina yönetmeliklerde belirtilen "kapsamlı bilgi düzeyi"ndedir. Binanın kat planı ve 3 boyutu Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Donatısız Yığma Yapı Planı ve 3 Boyut (Unreinforced Masonry Building Plan, 3D)

Duvar malzemesi olarak kullanılan tuğla ve gazbetonun her iki yönetmelikte belirlenmiş olan malzeme özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Duvar Malzeme Özellikleri (Wall Material Properties)

Duvar Malzemesi	Düşey Delikli Tuğla (boşluk oranı<%35)		Gazbeton	
	DBYBHY 2007	TBDY 2018	DBYBHY 2007	TBDY 2018
<b>Parametreler</b>				
$E_{duv}$ [MPa]	3810	3810	2325	2325
BHA [N/m <sup>3</sup> ]	14710	14710	9316	9316
$f_{em}, f_k$ [MPa]	1	5.08	0.6	3.1
$\tau_{em}, f_{vko}$ [MPa]	0.25	0.3	0.15	0.3
$\gamma_m$	-	2	-	1.75

$E_{duv}$ : Duvar Elastisite Modülü [MPa], BHA: Birim Hacim Ağırlığı [N/m<sup>3</sup>],  $f_{em}$ : Duvar Basınç Emniyet Gerilmesi (DBYBHY 2007) [MPa],  $\tau_{em}$ : Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi, (DBYBHY 2007) [MPa],  $f_k$ : Yığma Duvar Karakteristik Basınç Dayanımı (TBDY 2018) [MPa],  $f_{vko}$ : Karakteristik Kayma Dayanımı (TBDY 2018) [MPa],  $\gamma_m$ : Duvar Malzemesi Güvenlik Sayısı (TBDY 2018) [boyutsuz]

Deprem ve performans analizi için gerekli olan parametreler ise Tablo 2 'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Deprem ve Performans Analiz Parametreleri (Earthquake and Performance Analysis Parameters)

Parametreler	DBYBHY-2007	TBDY-2018
Konum	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Kampüsü	
Deprem Bölgesi	3	Enlem/Boylam: 38.679077° / 34.741209°
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	-	DD-2
Yer İvmesi	$A_0=0.20$ g	PGA = 0.090 g
Yerel Zemin Sınıfı	Z1	ZA
Spektrum Katsayısı(S(T))	2.5(sabit)	-
Spektral İvme Katsayısı(A(T))	$A(T) = A_0 S(T)I$	-
Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi [g] ( $S_{ae}(T)$ )	$S_{ae}(T) = A(T)g$ =0.5g (sabit)	Bina hakim periyoduna göre değişken
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı ( $S_S$ )	-	0.207
1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı ( $S_I$ )	-	0.068
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı ( $S_{DS}$ )	-	0.166
1.0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı ( $S_{DI}$ )	-	0.054
$T_A$	0.10 s	0.066 s
$T_B$	0.30 s	0.329 s
Bina Kullanım Sınıfları (BKS)	-	3
Bina Önem Katsayısı ( $I$ )	1	1
Dayanım Fazlalığı Katsayısı ( $D$ )	-	1.5
Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)	-	4
Bina Yükseklik Sınıfları (BYS)	-	8
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ )	-	2.5
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ )	2.0 (sabit)	$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B$ $R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B$

### 3.3 Analiz Sonuçları (Analysis Results)

Çalışma kapsamında analiz edilen donatısız yığma binanın deprem analizi eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır. Ele alınan binada Tuğla ve gazbeton kullanılması durumunda StatiCad kullanılarak hesaplanan ağırlıkları Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Donatısız Yığma Bina Ağırlıkları (Weight of Unreinforced Masonry Building)

	Tuğla	Gazbeton
Toplam Ağırlık	2856.38 kN	2487.36 kN

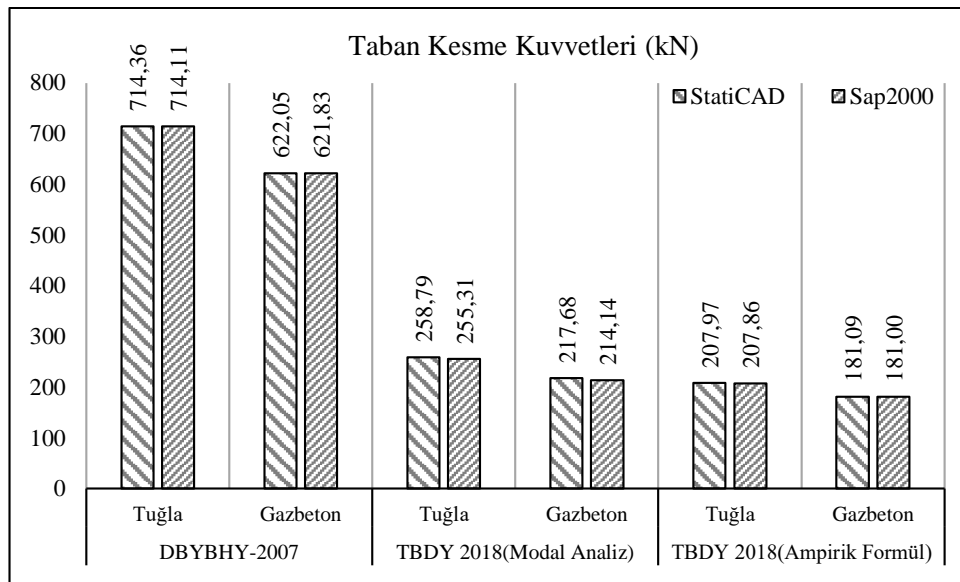
Tablo 3'te görüldüğü üzere duvarlarda Tuğla yerine Gazbeton kullanılması durumunda bina ağırlığı yaklaşık %13 azalmıştır.

Tuğla ve gazbeton kullanılan donatısız yığma binanın modal analiz sonucunda hesaplanan bina hakim periyot değerleri Tablo 4'te verilmiştir. SAP 2000 ile analizlerde, duvarlar kabuk (Shell) eleman ile modellenmiştir. StatiCAD-Yığma paket programında ise eşdeğer çubuk sonlu eleman modeli kullanılmıştır (StatiCAD-Yığma, 2021).

**Tablo 4.** TBDY 2018'e göre Donatısız Yığma Bina Hakim Periyotları (s) (Unreinforced Masonry Building Fundamental Periods According to 2018 TBDY)

	Tuğla	Gazbeton
<b>StatiCAD</b>	0.11	0.13
<b>SAP2000</b>	0.09	0.11

TBDY 2018'de yer alan ampirik bağıntı ile ise hakim periyot 0.255 sn bulunmuştur. Farklı yönetmeliklere, kullanılan duvar malzemesine ve analiz programlarına göre eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Malzeme, Yönetmelik ve Programlara göre taban kesme kuvvetleri (Base shear forces according to Materials and Codes)

Burada hesapların daha iyi anlaşılabilmesi için 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre Taban kesme kuvvetlerinin hesabı Tuğla duvar için gösterilmiştir.

Tuğla duvar malzemesi kullanılması durumunda DBYBHY 2007'ye göre Taban kesme kuvveti hesabı gösterilmiştir.

$$V_t = \frac{A_0 * I * S(T)}{R_a} * W = \frac{0.2 * 1 * 2.5}{2} * 2856.38 = 714.1kN$$

TBDY 2018'e göre analiz için öncelikle yük azaltma katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Burada ampirik bağıntıdan hesaplanan periyota göre çözümler gösterilmiştir.

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) * \frac{T}{T_B} = 1.5 + \left(\frac{2.5}{1} - 1.5\right) * \frac{0.255}{0.329} = 2.275$$

Ampirik bağıntı sonucu hesaplanan hakim periyot  $T_A$  ile  $T_B$  arasında olduğu için  $S_{ae}$ ,  $S_{DS}$ 'e eşittir. Buradan TBDY 2018'e göre Taban kesme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_t = \frac{S_{ae}}{R_a} * m_t = \frac{0.166 * 9.81}{2.275} * 291.27 \cong 208.5kN$$



Ele alınan yığma binanın performans analizi DBYBHY-2007 ve TBDY 2018'e göre yapılmıştır. DBYBHY-2007 'ye göre binanın Tuğla ve Gazbeton için hemen kullanım performans düzeyinde olduğu buna karşın ise TBDY 2018'e göre ise Tuğla ve Gazbeton için Sınırlı Hasar Performans düzeyinde olduğu bulunmuştur.

#### 4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüs alanı içerisinde 2 katlı ve farklı duvar malzemeleri (Tuğla ve Gazbeton) kullanılarak inşa edildiği kabul edilen yığma bir binanın deprem ve performans analizleri, StatiCAD-Yığma paket programı ve Sap2000 yardımıyla 2007 ve 2018 Deprem yönetmeliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. StatiCAD-Yığma paket programı ve SAP2000 programında yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla StatiCAD-Yığma programının da kullanmış olduğu eşdeğer çubuk modelinin yığma binalarının davranışını yeterli doğrulukta temsil ettiği söylenebilir. Performans analizi sonucunda DBYBHY-2007'ye göre binanın Tuğla ve Gazbeton için Hemen Kullanım Performans düzeyinde olduğu buna karşın ise TBDY 2018'e göre ise Tuğla ve Gazbeton için Sınırlı Hasar Performans düzeyinde olduğu bulunmuştur. Duvarlarda Gazbeton ile Tuğla malzemesinin kullanılması karşılaştırılacak olursa beklendiği üzere Gazbeton kullanılması durumunda bina ağırlığı azalmakta ve buna bağlı olarak taban kesme kuvveti düşmektedir. 2007 Deprem Yönetmeliği ile hesaplanan taban kesme kuvvetleri TBDY 2018'e göre hesaplanan kesme kuvvetinden tuğla malzeme kullanılan binada %176, gazbeton kullanılan binada %190 fazla bulunmuştur. TBDY 2018 kapsamında modal analiz ve ampirik formüllerle yapılan periyot hesaplarında gazbeton binada %110, tuğla binada %155 fark çıkmaktadır. Her iki durumda periyotlar, yatak elastik tepki spektrumlarının ivmeye duyarlı bölgesinde olsa bile TBDY 2018'de değişken Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı ( $R_d$ ) nedeniyle modal analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetinin ampirik formüle göre gazbeton binada %20, tuğla binada ise %24 fazla olduğu tespit edilmiştir.

TBDY 2018'de Madde 4.7.3.3'te "*DTS = 1, 1a, 2, 2a ve BYS 6 ≥ olan binalarda ve DTS = 3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda hakim doğal titreşim periyodu, 4.7.3.1'den hesaplanmaksızın, doğrudan 4.7.3.4'te verilen ampirik  $T_pA$  periyodu olarak alınabilir.*" ifadesi geçmektedir. Bu maddeye göre çalışmamıza konu olan yapının DTS=4 olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yapıya etki ettirilen taban kesme kuvvetinde yaklaşık %25'lik bir sapma meydana gelebilmektedir. 4.7.3.4'te verilen ampirik denklemde yığma binalar için  $C_t$  katsayısı 0.07 olarak verilmektedir. Taban kesme kuvvetindeki farklılık gözetildiğinde  $C_t$  katsayısının yığma yapılar için tekrar değerlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca eşdeğer çubuk yöntemi ile yapılan analizlerde, TBDY 2018'de yer alan elastik yatay rijitlik bağıntısındaki yanlış yazımın düzeltilmesi önerilmektedir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar (References)

- Akçay, C., Yıldızlar B., 2019. Yığma Yapılarda Güçlendirmenin Maliyet ve Yapısal Emniyet Açısından Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 34-39.
- Akgül M., Doğan O., 2020. Altındağ/Ankara Özelinde Tipik Yığma Binaların Deprem Risklerinin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi. Engineering Sciences (NWSAENS), 15:1-14.
- Amani A., Sağıroğlu S., Doğangün A., 2020. Örnek bir yığma bina üzerinde 1998, 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerinin karşılaştırmalı olarak irdelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25, 13-26.
- Angjeliu G., Coronelli D., Cardani G., 2020. Development of the simulation model for Digital Twin applications in historical masonry buildings: The integration between numerical and experimental reality. Computers & Structures, 238: 106282.
- Atabey İ. İ., Kanit R., 2014. Yığma Bir Okul Binasının Deprem Performans Analizi. Selcuk University Journal of Engineering Sciences, 13(1), 1-11.
- Can Ö., 2021. 5 Katlı Yığma Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Önerileri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(2), 689-701.
- Choudhury T., Milani G., Kaushik H. B., 2020. Experimental and numerical analyses of unreinforced masonry wall components and building. Construction and Building Materials, 257: 119599.
- CSI. 2016. Sap2000: Structural Analysis Program, Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures - Computers and Structures Inc., USA.
- Çaycı, B. T., Eldemir, O., 2021. TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 Deprem Yönetmelikleri Performans Seviyelerinin Karşılaştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1386-1397.
- Çılı, F., 1978. Yığma yapıların yatay yüklere göre hesabı. Deprem Araştırma Bülteni, 22, 7-25.
- Çoban G., 2021. Mevcut Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin 2018'e Göre İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- DBYBHY (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığından: Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 6.3.2007/26454, 2007
- Karalar M., Çavuşlu M., 2020. Tarihi Rombaki Yığma Yapısının Performans Değerlendirmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(1), 226-247.

- Kumbasaroğlu A., Çelik A. 2019. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Kullanılarak Tarihi Bir Yığma Yapının Sismik Performans Düzeyinin Belirlenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(3), 1590-1600.
- Kuran F., Misir I. S., Aldemir Ö., Tuna E., Firat S., 2020. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Yığma Yapılar Bölümü Üzerine Bir Değerlendirme ve Donatısız Yığma Bina Örnekleri için Karşılaştırmalı Analiz. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 2: 47-60.
- Oyguç R. A., 2017. 2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılarda gözlemlenen hasarlar. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 296-315.
- Shabdin M., Attari N. K. A., Zargaran M., 2020. Shaking table study on the seismic performance of an Iranian traditional Un-Reinforced Masonry (URM) building. *Structures*, 27: 424-439.
- Smyrou E, 2017. Kuşatılmış yığma yapıların deprem davranışı: 2011 Van depremi örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(3), 453-461.
- StatiCAD-Yığma, 2021. <http://www.staticad-yigma.com/>
- TBDY 2018, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", (2018)
- Tilki E., Veliöđlu A., Sayın B., 2020. A case study on numerical simulation of a historical masonry building. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 3(4), 289-294.
- Türkiye Deprem Tehlike Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, (2018)
- Yıldızlar B., Akçay C., 2018. Tarihi eser yapıların emniyet seviyesinin belirlenmesi: Bir durum çalışması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 504-510.
- Yıldızoğlu H., Can Ö., 2018. Yığma Binalarda Deprem Performansının Belirlenmesi (Bayburt Korkut Ata Lisesi Örneđi). *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 372-380.