

# Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de Bina Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi İçin Verilen Ampirik Formülün Donatısız Yığma Binalar İçin İrdelenmesi

Burak ÖZŞAHİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kırklareli.

e-posta: burak.ozsahin@klu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6022-8897>

Geliş Tarihi: 20.02.2022

Kabul Tarihi: 07.08.2022

## Öz

Depreme dayanıklı yapı tasarımında binaların doğal titreşim periyodlarının belirlenmesi önemli bir husustur. Binaların doğal titreşim periyodlarının uzun hesaplara gerek olmadan bina türü ve bina yüksekliğine bağlı olarak hızlı bir şekilde elde edilmesi için önerilmiş ampirik formüller çeşitli kaynaklarda ve yönetmeliklerde verilmektedir. Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)’de belirli koşullar altında bina periyod hesabı için önerilen ampirik formül donatısız yığma binalar için irdelenmiştir. Bu amaçla çalışmada Türkiye’deki yığma bina stoğunu temsil edebilecek örnek donatısız yığma bina modellerinin doğal titreşim periyodları, farklı duvar kalınlıkları, kat adedi, kat yüksekliği ve hareketli yük değerleri için analitik olarak ve TBDY 2018’de önerilen ampirik formül ile elde edilmiştir. TBDY 2018’de önerilen ampirik formülle elde edilen periyodlar ile analitik olarak örnek donatısız yığma bina modelleri için elde edilen periyodlar ve farklı deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik formüllerle elde edilen periyodlar karşılaştırılmıştır. Örnek donatısız yığma bina modelleri için TBDY 2018 ampirik periyod formülü kullanılarak hesaplanan deprem yükleri, analitik periyod değerleri kullanılarak hesaplanan deprem yükleri ile karşılaştırılmıştır. Donatısız yığma binalar için TBDY 2018’de verilen ampirik formülle elde edilen periyod değerlerinin, farklı deprem yönetmeliklerinde verilen ampirik formül periyod değerleri ile analitik olarak elde edilen periyod değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

## Anahtar kelimeler

Yığma binalar; Türkiye bina deprem yönetmeliği; Doğal titreşim periyodu; Ampirik periyod formülü

## Examination of the Empirical Formula for Determining the Fundamental Natural Period of Buildings in Turkish Earthquake Code 2018 for Unreinforced Masonry Buildings

## Abstract

Estimation of fundamental natural period of the building is an important issue in earthquake-resistant design. The empirical formulas are suggested by different authors and seismic codes to predict the fundamental natural period of buildings quickly depending on the type and height of building without the need for long calculations. In this study, empirical formula suggested to be applied the fundamental natural period of buildings under certain conditions in Turkish Earthquake Code 2018 (TEC 2018), were examined for unreinforced masonry buildings. For this purpose, the fundamental natural period of unreinforced masonry building models, which can represent the masonry buildings stock in Türkiye, obtained for different wall thickness, number of stories, story heights and moving loads both with analytically and with empirical formulas in TEC 2018. For unreinforced masonry building models, the periods obtained from the empirical formula given in TEC 2018 were compared with the periods obtained analytically and the periods obtained with the empirical formulas given in different earthquake codes. The earthquake loads of the unreinforced masonry building models calculated using the TEC 2018 empirical period formula were compared with the earthquake loads calculated using analytical periods. It has been observed that the fundamental periods obtained with the empirical formula given in TEC 2018 for unreinforced masonry buildings are greater than the fundamental periods obtained analytically and with empirical formulas given in different earthquake codes.

## Keywords

Masonry buildings; Turkish earthquake code; Fundamental periods; Empirical period formula

## 1. Giriş

Binaların doğal titreşim periyodunun belirlenmesi, depreme dayanıklı tasarım ve deprem sırasında bina yapısal davranışının değerlendirilmesinin önemli bir parçasıdır. Bu davranış binanın kütesine, rijitliğine, dayanımına bağlı olup binanın düzensizliği, kat ve açıklık sayısı, binada bulunan çıkmalar, kesit boyutları, binaya etkiyen yüklerin büyüklüğü, donatı oranı ve yapısal elemanlarda meydana gelen çatlaklar gibi birçok yapısal parametreden etkilenir (Draganiç vd. 2010, Crowley and Pinho 2006).

Bina tasarımı için gerekli olan doğal titreşim periyodu ampirik, analitik ve deneysel yöntemler ile elde edilebilir. Deprem yönetmeliklerinde verilen ampirik formüller basittir ancak gerçek bina özelliklerini dikkate almadıkları için çok yaklaşıktırlar. Bunun yanında özdeğer analizi ve Rayleigh yöntemi gibi analitik yöntemler binanın periyodunun etkilendiği bilinen yapısal parametrelerin çoğunu dikkate alabilmektedir. Bununla birlikte analitik yöntemler önemli ölçüde çaba ve uzmanlık gerektirir ve genellikle yapısal analiz yazılımlarına ihtiyaç duyulur (Anintheneni and Dhakal, 2016). Binanın doğal titreşim periyodunu uzun hesaplara gerek kalmaksızın doğrudan veren ampirik formüller, genellikle bina türü, yüksekliği, kat sayısına bağlı olup deprem sırasında ölçülen titreşim periyodları üzerinden regresyon analizi ile elde edilmiştir (Börekçi 2019, Crowley and Pinho 2006).

Sönümsüz elastik bir sistemin serbest titreşimi sırasında toplam enerjisinin herhangi bir zaman anında değişmediği prensibine dayanan, binaların doğal titreşim periyodu hesabında yaygın olarak kullanılan Rayleigh yöntemi hakkında ayrıntılı bilgiye Leissa (2005) ve Nassani (2014) kaynaklarından ulaşılabilir.

Mevcut binaların doğal frekans, hakim periyod, mod şekilleri ve sönüm oranı gibi dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi için çevresel titreşim analiz yöntemi kullanılmaktadır. Deneysel analiz yöntemi olan çevresel titreşim analiz yönteminde çevresel etkinin binada oluşturduğu titreşimler ivmeölçerlerle ölçülüp, toplandıktan sonra elde edilen sinyaller frekans ve zaman

ortamında işlenerek binaya ait dinamik karakteristikler bulunmaktadır. Çevresel titreşim analizi hakkında ayrıntılı bilgiye Aldemir vd. (2017), Aldemir vd. (2018), Aras vd. (2020), Güneş ve Anıl (2017) kaynaklarından ulaşılabilir.

Düzensizlik içermeyen veya çok az düzensizliğe sahip, yüksekliği az, çok karmaşık olmayan binaların deprem yükü hesabında kullanılan eşdeğer deprem yükü yöntemine göre binaya etkiyecek deprem yükü, binanın doğal titreşim periyodu ya da birinci mod periyodu ile direkt ilgili olup, bu tür binalar tek serbestlik dereceli olarak kabul edilebilir (Börekçi 2019, Aksoylu ve Arslan 2019a). Yüksekliği fazla olmayan düzenli binalara etkiyecek deprem yükünün hesabında, binanın doğal titreşim periyoduna bağlı olarak belirlenen bina tasarım ivme değeri ile binanın kütlesi çarpılır. Binaya etkiyecek deprem yükü periyodun bir fonksiyonu olup, deprem yükünün belirli bir doğrulukta hesaplanabilmesi, bina periyodunun belirli bir doğrulukta elde edilmesine bağlıdır (Aksoylu ve Arslan 2019a).

Depreme dayanıklı yapı analizi ve tasarımı, her ülkenin kendi koşullarına göre hazırlanan deprem yönetmelikleri ile sağlanmaktadır. Deprem yönetmelikleri, deprem mühendisliği alanında, bilim ve teknolojiye gelişmeler göz önüne alınarak zaman zaman revize edilmekte veya yenilenmektedir (İncetaş ve Tanrıku 2002). Türkiye'de TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte artık yeni yapılacak binaların tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesinde bu yönetmeliğin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. TBDY 2018 ile birlikte bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımına ilişkin DBYBHY 2007'ye göre yeni kural değişiklikleri yürürlüğe girmiştir (TBDY 2018, DBYBHY 2007). TBDY 2018'de diğer bina türlerinde olduğu gibi yığma binaların deprem hesabında, kullanılan spektral ivme, deprem yükü azaltma katsayısı gibi parametreler ve malzeme hesap değerlerinde önemli değişiklikler olmuştur (Kuran vd. 2020).

TBDY 2018'de belirli şartlar altında bina periyodunun belirlenmesinde ampirik periyot formülünün kullanılabileceği belirtilmektedir. DBYBHY 2007'de olmayan ampirik periyot formülü

TBDY 2018'de belirtilen şartların sağlanması durumunda Rayleigh periyod hesabı yerine kullanılabilir. Binaların deprem yükü hesabında oldukça önemli olan bina periyodu için önerilen ampirik formülün uygulanabilir olup olmadığına yönelik inceleme ve çalışmaların yapılması oldukça önemlidir (Aksoylu ve Arslan 2019b). Literatür incelendiğinde TBDY 2018, TBDY 2018 ile DBYBHY 2007'ün karşılaştırılması ile ilgili sınırlı sayıda çalışma (Aksoylu ve Arslan 2021, Kuran vd. 2020, Tunç ve Tanafer 2016, Özşahin 2021a, Aksoylu vd. 2020, Özşahin 2021b, Koçer vd. 2018, Özkat ve Kuruşçu, 2019, Amani vd. 2020, Sucuoğlu 2019) yapılmış olmasına rağmen TBDY 2018 ampirik periyod formülü ile bina periyod hesabıyla ilgili çalışmaların yok denecek kadar az (Aksoylu ve Arslan 2019a, Aksoylu ve Arslan 2019b) olduğu ve bu çalışmalarda betonarme çerçeve ve betonarme perdeli çerçeve bina periyodlarının ampirik periyod formülü ile hesabı incelenmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki yığma bina stoğunu temsil ettiği düşünülen donatısız yığma bina örneklerinin doğal titreşim periyodu Rayleigh yöntemi ve TBDY 2018'de önerilen ampirik formülle elde edilerek, TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün depreme dayanıklı donatısız yığma bina tasarımı için bir başlangıç varsayımı olarak yeterli olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı TBDY 2018'de belirli şartların sağlanması durumunda kullanılması önerilen ampirik periyod formülünün Rayleigh periyod formülüne göre değişimini inceleyerek ampirik formül periyod değerinin ne derece güvenilir ve ekonomik çözüme yönelik olduğunun tartışılmasıdır. Bunun için donatısız yığma bina örneklerinin doğal titreşim periyodları, farklı duvar kalınlıkları, kat adetleri, kat yükseklikleri ve hareketli yük değerleri için analitik modelde Rayleigh yöntemiyle ve TBDY 2018 ampirik formülü ile elde edilmiş, TBDY 2018 ampirik formül periyodu, Rayleigh yöntemi ve diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarıyla karşılaştırılarak TBDY 2018 ampirik periyod formülünün uygunluğu donatısız yığma binalar için araştırılmıştır. TBDY 2018 ampirik formülü periyod değerleri, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYBHY 1998), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

(DBYBHY 2007), Avrupa Birliği Yönetmeliği Eurocode 8, Amerikan Yönetmeliği ASCE 7-16 ve UBC 97, Kore Yönetmeliği AİK 2009, İran Yönetmeliği ICPSRDB 2007, İsrail Yönetmeliği SI 413 ve Kanada Yönetmeliği NBCC 2010 ampirik formül periyod değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda farklı zemin sınıfları için örnek donatısız yığma bina modellerinin TBDY 2018 ampirik periyod formülü kullanılarak hesaplanan deprem yükleri, analitik periyod değerleri kullanılarak hesaplanan deprem yükleri ile karşılaştırılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1 Literatürde Önerilen Ampirik Doğal Titreşim Periyodu Formülleri**

Eşdeğer deprem yükü yönteminde binaya etki eden deprem yükleri binanın 1. doğal titreşim moduna ait periyoda bağlı olarak belirlenmektedir. Bu sebeple güvenilir sismik analiz, tasarım ve değerlendirme için gerçekçi bina periyodunu belirlemek oldukça önemlidir. Deprem etkisi altında bir yapının göstereceği davranış yapının kütleline, dayanımına ve rijitliğine bağlı olup, yapı düzensizliği, kat ve açıklık sayısı, kesit boyutları, dolgu duvar özellikleri, yapıya etkiyen yüklerin büyüklüğü, donatı oranı ve kesitlerde meydana gelen çatlaklardan etkilenir (Draganiç vd. 2010, Crowley and Pinho 2006). Tüm bu etmenler dikkate alındığında periyod hesabı zorlaştığı için deprem yönetmeliklerinde periyod hesabı için yaklaşık yöntemler verilmektedir. Deprem yönetmeliklerinde gerçek periyod değerlerine oldukça yakın sonuçlar veren, Rayleigh yöntemi olarak bilinen periyod formülleri kullanılmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde ve çeşitli kaynaklarda binaların doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için önerilen yaklaşık ampirik formüller, genellikle bina yüksekliği, bina türü ve kat adetine bağlıdır. Deprem yönetmeliklerinde yaygın olarak karşımıza çıkan, Rayleigh yöntemine dayalı olarak oluşturulmuş yarı deneysel ampirik periyod formülünün genel hali Denklem 1'de verilmiştir. Denklem 1'de,  $\alpha$  ve  $x$  yapı türü ve malzemesine bağlı katsayı,  $H$  ise bina yüksekliğidir.

$$T = \alpha \cdot H^x \quad (1)$$

Çalışma kapsamında donatısız yığma binalar için TBDY 2018'de önerilen ampirik doğal titreşim periyod formülü örnek yığma bina modelleri için irdelendiğinden Çizelge 1'de TBDY 2018 ve diğer deprem yönetmeliklerinde binalar için önerilen ampirik periyod formülleri özet olarak verilmiştir. Türkiye'de uzun yıllar yürürlükte kalan, TBDY 2018

ile birlikte yürürlükten kalkmış olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) ile Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998 (ABYBHY 1998)'de önerilmiş olan ampirik periyod formülleri de karşılaştırmada fikir vermesi açısından incelenmiştir.

**Çizelge 1.** Deprem yönetmeliklerinde donatısız yığma binaların periyod hesabı için verilen ampirik formüller

Ülke	Yönetmelik	Ampirik Formül	Ampirik Formüldeki Katsayılar ve Açıklamalar
Türkiye	ABYBHY 1998	$T_1 = C_t \cdot H_N^{3/4}$	Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde $H_N \leq 25$ m koşulunu sağlayan binalar ile üçüncü ve dördüncü deprem bölgelerinde eşdeğer deprem yükünün uygulandığı binalarda kullanılabilir.  $H_N$ : Tabii zemin üzerinden itibaren toplam bina yüksekliği, $C_t=0,05$ (Donatısız Yığma Binalar için)'dir.
Türkiye	DBYBHY 2007	$T_1 = 0,1 \cdot N$	Bodrum katlar hariç katsayısı $N > 13$ olan binalarda kullanılabilir.  $N$ : Bodrum katlar hariç binanın kat sayısıdır.
Türkiye	TBDY 2018	$T_{PA} = C_t \cdot H_N^{3/4}$	Deprem tasarım sınıfı $DTS=1, 1a, 2, 2a$ , bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 6$ olan binalarda ve deprem tasarım sınıfı $DTS=3, 3a, 4, 4a$ olan tüm binalarda kullanılabilir.  $H_N$ : Bina tabanından itibaren ölçülen bina yüksekliği, $C_t=0,07$ (Donatısız Yığma Binalar için)'dir.
Avrupa Birliği	EC8-Eurocode 8	$T = C_t \cdot H^{3/4}$	Yüksekliği 40 m'ye kadar olan binalarda kullanılabilir.  $H$ : temelden veya rijit bodrum kat seviyesinden itibaren binanın toplam yüksekliği, $C_t=0,05$ (Donatısız Yığma Binalar için)'dir.
Amerika Birleşik Devletleri	ASCE 7-16	$T_a = 0,1 \cdot N$ $T_a = C_t \cdot H_N^x$	Bina kat sayısının $N < 12$ olan binalarda kullanılabilir.  $N$ : Bodrum katlar hariç binanın kat sayısı, $H_N$ : Temelden veya rijit bodrum kat seviyesinden itibaren binanın toplam yüksekliği, $C_t=0,0488$ ve $x=0,75$ (Donatısız yığma binalarda)'dir.
Amerika Birleşik Devletleri	UBC 97	$T = C_t \cdot H_N^{3/4}$	$H_N$ : Temelden veya rijit bodrum kat seviyesinden itibaren binanın toplam yüksekliği, $C_t=0,0488$ (Donatısız Yığma Binalar için)
Kore	AIK 2009	$T_a = 0,1 \cdot N$ $T_a = C_t \cdot h_n^{3/4}$	Bina kat sayısının $N < 12$ olan binalarda kullanılabilir.  $N$ : bodrum katlar hariç binanın kat sayısı, $h_n$ : Bina tabanından itibaren bina yüksekliği, $C_t=0,049$ (Donatısız Yığma Binalar için)'dur.
İran	ICPSRDB 2007	$T = 0,05 \cdot H^{3/4}$	$H$ : Temel seviyesinden itibaren toplam bina yüksekliğidir.  Binada çatı katı bulunması durumunda çatı katının ağırlığı normal kat ağırlığının %25'inden fazla ise çatı katı yüksekliği toplam bina yüksekliğine ( $H$ ) eklenecektir.
İsrail	SI 413	$T = 0,05 \cdot H^{3/4}$	$H$ : Temel seviyesinden itibaren toplam bina yüksekliğidir.
Kanada	NBCC 2010	$T_a = 0,05 \cdot h_n^{3/4}$	$h_n$ : Toplam bina yüksekliğidir.

## 2.2 Analitik Çalışma

Bu çalışmada, farklı duvar kalınlığı, kat adeti, kat yüksekliği ve hareketli yük değerlerine sahip örnek donatısız yığma bina modellerinin doğal titreşim periyodları Çizelge 1'de verilen TBDY 2018 ampirik formülü, diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik formülleri ve Denklem 2'de verilen TBDY 2018 Rayleigh periyod formülü kullanılarak elde edilip, karşılaştırılmıştır.

$$T_p^{(x)} = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot d_{fi}^{(x)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(x)} \cdot d_{fi}^{(x)}} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Denklem 2'de  $m_i$ :  $i$ 'inci katın toplam kütlesi,  $d_{fi}$ :  $i$ 'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yer değiştirme,  $F_{fi}$ :  $i$ 'inci kata etki ettirilen fiktif yüküdür.

TBDY 2018'de DTS=1, 1a, 2, 2a ve BYS≥6 olan binalarda ve DTS=3, 3a, 4, 4a olan binaların tamamında hakim doğal titreşim periyodunun doğrudan  $T_{PA}$ , ampirik periyodu olarak alınabileceği belirtilmektedir.

TBDY 2018'de yığma binalar, donatısız yığma binalar, donatılı yığma binalar, kuşatılmış yığma binalar ve donatılı panel sistemli binalar olarak 4'e ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında Türkiye'de yaygın uygulaması olan donatısız yığma binalar incelenmiştir. Literatürde binaların doğal titreşim periyodunu doğrudan elde etmek için önerilen ampirik formüller binanın kat adeti ile bina yüksekliğinin bir fonksiyonu olduğu için çalışmada farklı kat planı ve açıklıklara sahip örnek donatısız yığma bina modellerinde kat adeti 1-2, kat yüksekliği 2.80-2.90-3.00-3.10-3.20m, duvar kalınlığı 240-260-280-300mm ve hareketli yük değeri 2.0-3.5 kN/m<sup>2</sup> olarak değiştirilmiştir (Çizelge 2).

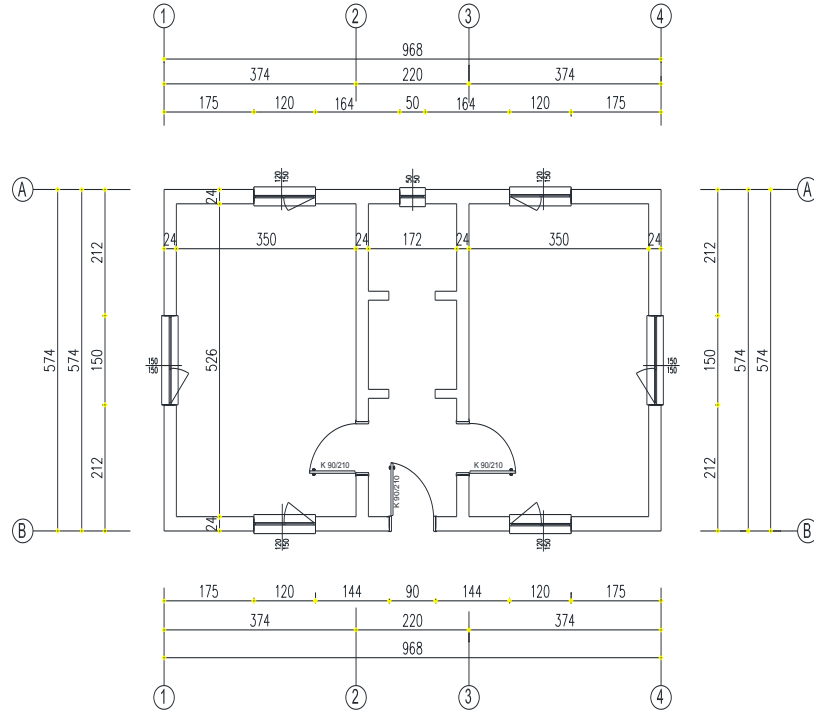
Çalışma kapsamında zemin sınıflarını belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmadığı için Türkiye Deprem Tehlike Haritası 2019 (TDTH 2019) spektral değerlerinin belirlenmesinde en sert zeminden en yumuşak zemine kadar zemin koşulları dikkate alınarak, deprem yer hareketi düzeyi DD2 için örnek donatısız yığma binaların eşdeğer deprem

yükleri hesaplanmıştır. TBDY 2018 ampirik periyod formülü ve Rayleigh yöntemi ile analitik olarak bulunan periyod değerleri kullanılarak örnek donatısız yığma bina modellerinin farklı zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri karşılaştırılmıştır.

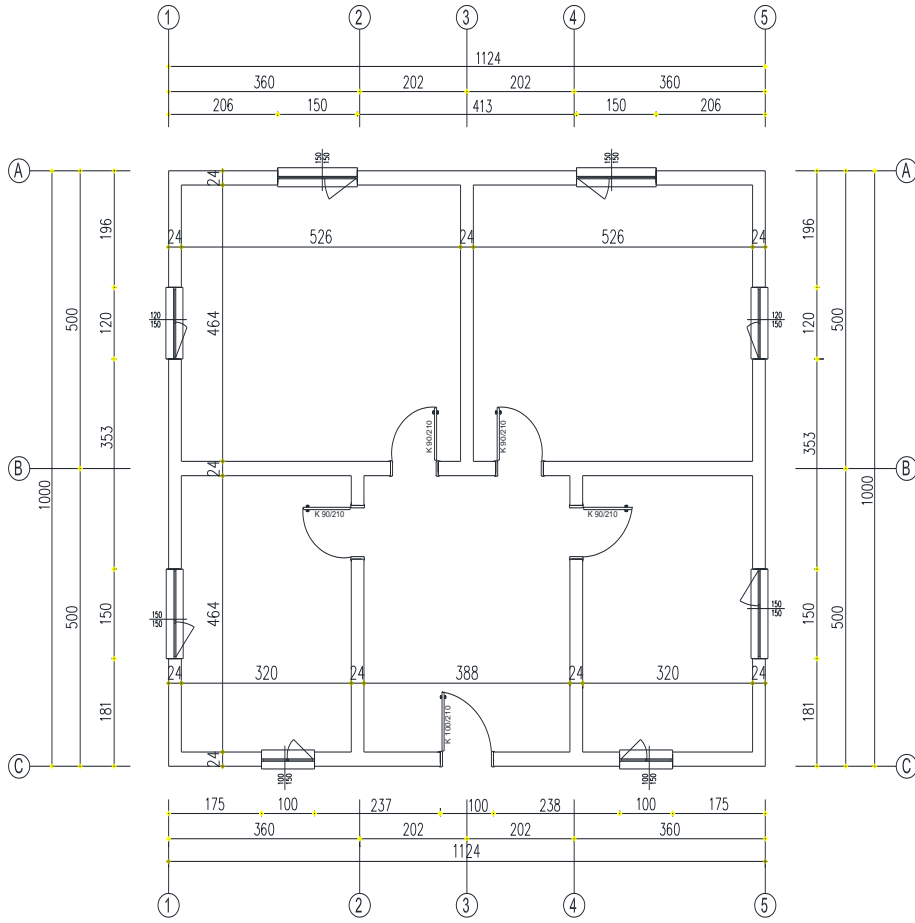
Çalışma kapsamında incelenen örnek donatısız yığma bina modellerinin kat planları Şekil 1-4'de verilmiştir. Şekil 1-4'de verilen örnek donatısız yığma bina modellerinin tasarımı TS 498, TS 500 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre yapılmıştır. Örnek donatısız yığma bina modellerinin tasarımında dikkate alınan tasarım parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Donatısız yığma bina modellerinin tasarım parametreleri

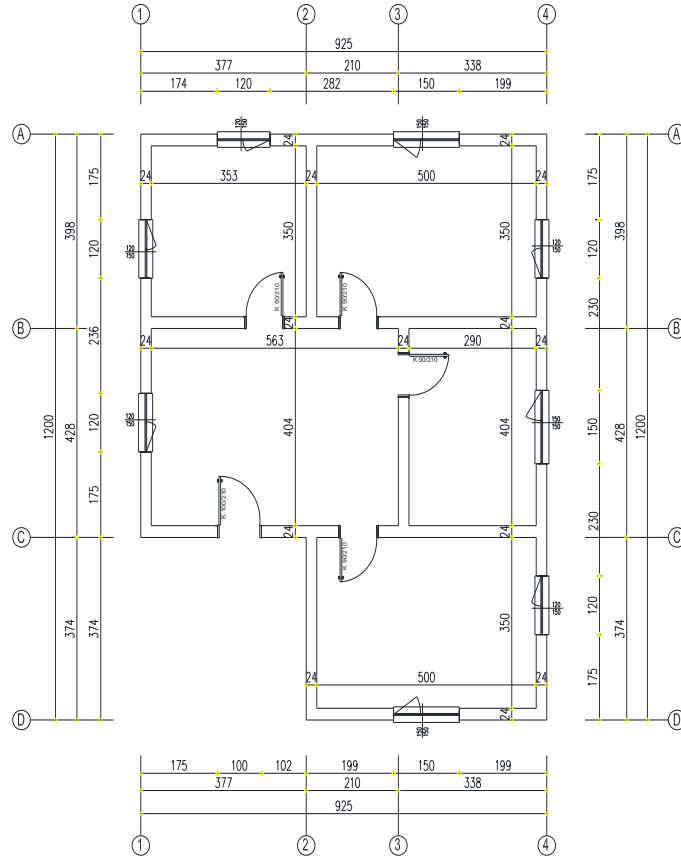
Parametre	YBM1, YBM2, YBM3, YBM4
Bina Türü	Donatısız Yığma Bina
Kat Sayısı (N)	Değişken (1 katlı veya 2 katlı)
Kat Yüksekliği ( $h_{kat}$ )	Değişken (2,80-2,90-3,00-3,10-3,20 m)
Bina Yüksekliği ( $H_N$ )	Değişken (Kat sayısı ve kat yüksekliğine bağlı) ≤7m
Duvar Kalınlığı ( $t_{duv}$ )	Değişken (240-260-280-300 mm)
Bina Hareketli Yüğü (Q)	Değişken (2,0 kN/m <sup>2</sup> -3,5 kN/m <sup>2</sup> )
Hatıl Boyutu	$t_{duv} \times 400$ mm
Döşeme Türü ve Boyutları	Kirişli plak döşeme (Odalarda 120mm, Balkonda 150mm)
Beton Sınıfı	C25/30
Çelik Sınıfı	S420
Bina Önem Katsayısı (I)	1,0
Deprem Yüğü Eksantrisitesi	%5
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	0,3
Deprem Yer Hareket Düzeyi (DD)	DD-2
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	$S_{DS}$ 'ye bağlı olarak değişmektedir.
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	8 ( $H_N \leq 7$ m)
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	2,5
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	1,5
Spektral İvme Katsayıları ( $S_s, S_i$ )	Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH)'dan okunmuştur.
En Büyük Yer İvmesi (PGA)	ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE
Yerel Zemin Sınıfı	Tuğla
Kargir Birim Cinsi	15 kN/m <sup>3</sup>
Kargir Birim Ağırlığı	Grup 1
Kargir Birim Basınç Dayanımı ( $f_b$ )	10 N/mm <sup>2</sup>
Harç Sınıfı	Genel Amaçlı Harç
Harç Basınç Dayanımı ( $f_m$ )	M2.5-M9
Duvar Karakteristik Basınç Dayanımı ( $f_k$ )	3,6 N/mm <sup>2</sup>
Duvar Başlangıç Kesme Dayanımı ( $f_{vko}$ )	0,20 N/mm <sup>2</sup>
Duvar Elastisite Modülü (E)	2700 N/mm <sup>2</sup> (E=750.f <sub>k</sub> )
Duvar Kayma Modülü (G)	1080 N/mm <sup>2</sup> (G=0.4E)



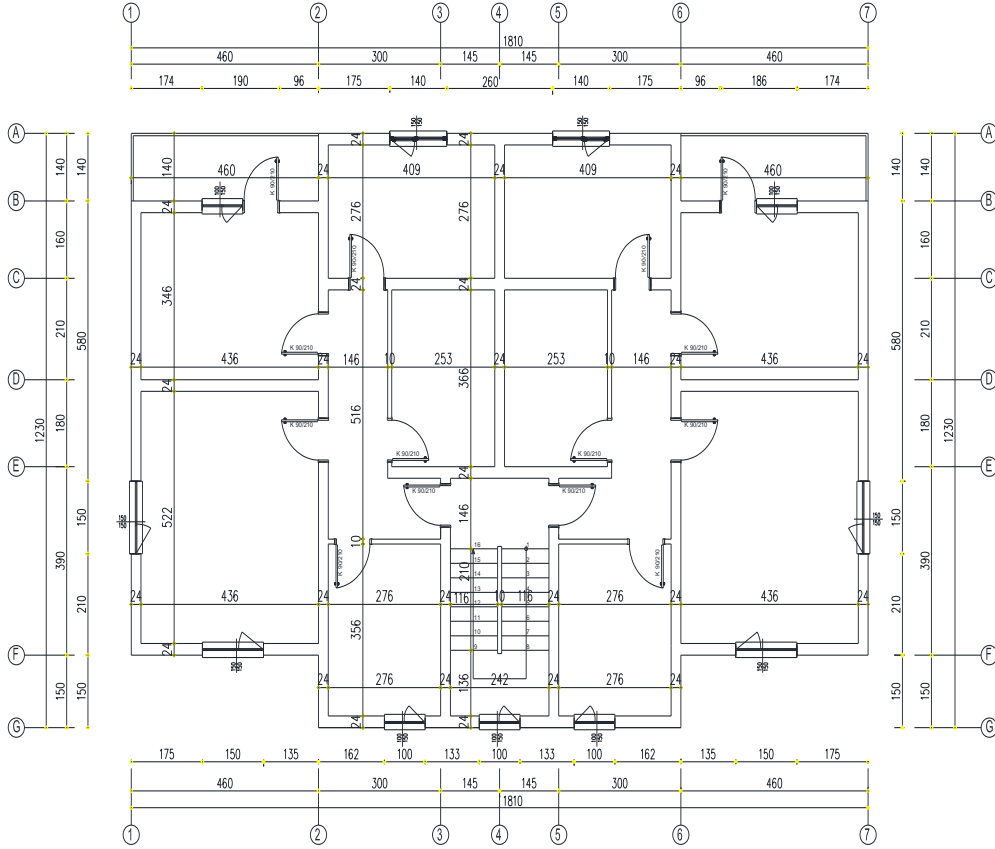
Şekil 1. Örnek donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1) kat planı (ölçeksiz)



Şekil 2. Örnek donatısız yığma bina modeli 2 (YBM2) kat planı (ölçeksiz)



Şekil 3. Örnek donatısız yağma bina modeli 3 (YBM3) kat planı (ölçeksiz)

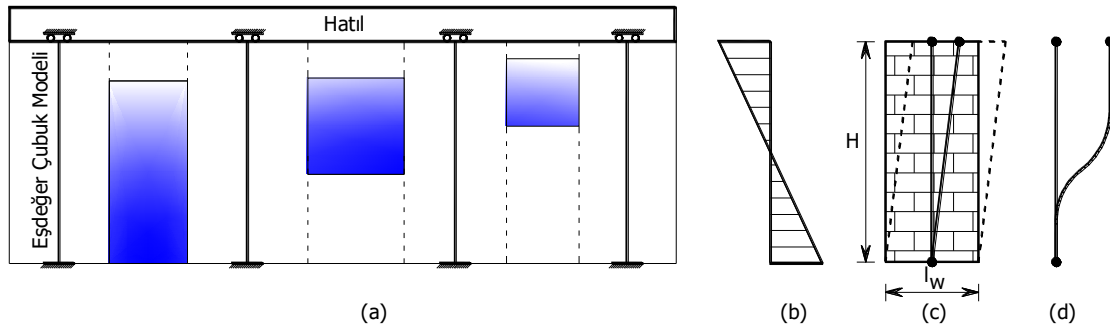


Şekil 4. Örnek donatısız yağma bina modeli 4 (YBM4) kat planı (ölçeksiz)

### 3. Bulgular

TBDY 2018'e göre yığma binalarda yapısal çözümleme, sonlu elemanlar veya eşdeğer çubuk yöntemlerinden biri kullanılarak yapılabilir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacak çözümlemede, taşıyıcı duvarlar ayrıntılı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme veya makro modelleme teknikleri kullanılarak modellenebilir. Eşdeğer çubuk yöntemi kullanılarak yapılacak çözümlemede, yığma duvarların rijitliği

kayma ve eğilme deformasyonları dikkate alınarak hesaplanacaktır. Çalışmada yapısal çözümlemede eşdeğer çubuk yöntemi kullanılmıştır. Duvar serbest yüksekliği (H), döşeme üst kotundan döşeme (varsa hatıl) alt kotuna kadar olan mesafe ve duvar uzunlukları ( $l_w$ ), boşluklar arasında duvar parçasının uzunluğu olarak alınmıştır. Dikdörtgen kesitli bir duvar parçası için elastik rijitlik her iki ucun ankastre olduğu kabulü ile eğilme ve kayma rijitlikleri dikkate alınarak (tam boy modeli) Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır (TBDY 2018; RYTEİE 2019) (Şekil 5).



**Şekil 5:** Yığma bina davranışı a) Eşdeğer çubuk (tam boy) modeli b) Moment diyagramı c) Kayma ötelenmesi d) Eğilme ötelenmesi

$$k_{duv} = \frac{1}{\frac{H^3}{12E_{duv}I} + \frac{1,2H}{G_{duv}A}} \quad (3)$$

ABYBHY 1998 ve DBYBHY 2007'de tasarım için periyod hesaplarında kesitlerde meydana gelen çatlama dikkate alınmazken, TBDY 2018'de taşıyıcı sistem elemanlarının türüne göre değişik oranlarda çatlama ve rijitlik kayıpları önerilmektedir. Çatlama ve rijitlik kayıplarının dikkate alınması bina periyodunda, dolayısıyla tasarım deprem yükünde ve deplasmanlarında değişime neden olmaktadır. TBDY 2018'e göre örnek donatısız yığma bina modellerinin taşıyıcı duvar etkin rijitlikleri, brüt rijitliklerin %50'si kadar azaltılarak belirlenmiştir. Çalışmada incelenen örnek donatısız yığma bina modellerinin periyodları, Çizelge 2'de verilen farklı kat adeti, kat yüksekliği, duvar kalınlığı ve hareketli yük değerleri ayrı ayrı, toplamda 320 model için analitik olarak Rayleigh yöntemi ile bulunmuştur. Analitik olarak bulunan periyod değerlerinin tamamının verilmesi durumunda çalışmanın sayfa sayısı çok artacağı için örnek olması açısından 1 katlı donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1) için bulunan

periyod değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3'te verilen örnek donatısız yığma bina modeli periyodları, incelenen donatısız yığma bina (duvar) boyutları X ve Y doğrultularında birbirinden farklı olduğu için her iki doğrultu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çizelge 3'te örnek donatısız yığma bina model adlarının kısaltmalarında M harfinin yanındaki sayı model numarasını, K harfinin yanındaki sayı kat adetini, D harfinin yanındaki sayı cm cinsinden duvar kalınlığını, H harfinin yanındaki sayı m cinsinden kat yüksekliğini, ikinci H harfinin yanındaki sayı kN/m<sup>2</sup> cinsinden hareketli yükü ifade etmektedir. Örneğin M1K1D24H2.8H2.0 model kısaltması duvar kalınlığı 24 cm, yüksekliği 2.80 m, hareketli yükü 2.0 kN/m<sup>2</sup> olan 1 katlı 1 nolu donatısız yığma bina modelini belirtmektedir.

Çalışmada örnek donatısız yığma bina modellerinin tamamında kat yüksekliği, bina yüksekliği, bina düşey yüklerindeki artışla birlikte periyodların arttığı, duvar kalınlığı ile duvar boyundaki (binanın rijitliğindeki) artışla birlikte periyodların azaldığı görülmüştür (Çizelge 3).

TBDY 2018'e göre donatısız yığma binaların, bina yükseklik sınırı  $BYS=8$  olup, deprem tasarım sınıfı



DTS=1, 1a, 2, 2a için bina yüksekliği  $H_N \leq 7.00$  m ve  
DTS= 3, 3a, 4, 4a için bina yüksekliği  $H_N \leq 10.50$  m'dir.  
Bu sebeple donatısız yığma binalar genellikle düşük

periyotlu olup, çalışma kapsamında incelenen örnek  
donatısız yığma bina modellerinin periyotları 0.08-  
0.20 s arasında değişmektedir (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** 1 katlı donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1) TBDY 2018 doğal titreşim periyotları

Model Adı	Kat Sayısı (N)	Kat Yüksekliği ( $h_{kat}$ ) m	Bina Yüksekliği ( $H_N$ ) m	Duvar Kalınlığı ( $t_{duv}$ ) mm	Hareketli Yük (Q) $kN/m^2$	Rayleigh Yöntemi	
						$T_x$ s	$T_y$ s
M1K1D24H2.8H2.0	1	2.8	2.8	240	2.0	0.085	0.064
M1K1D26H2.8H2.0	1	2.8	2.8	260	2.0	0.083	0.063
M1K1D28H2.8H2.0	1	2.8	2.8	280	2.0	0.082	0.062
M1K1D30H2.8H2.0	1	2.8	2.8	300	2.0	0.081	0.061
M1K1D24H2.8H3.5	1	2.8	2.8	240	3.5	0.086	0.065
M1K1D26H2.8H3.5	1	2.8	2.8	260	3.5	0.085	0.064
M1K1D28H2.8H3.5	1	2.8	2.8	280	3.5	0.083	0.063
M1K1D30H2.8H3.5	1	2.8	2.8	300	3.5	0.082	0.062
M1K1D24H2.9H2.0	1	2.9	2.9	240	2.0	0.089	0.067
M1K1D26H2.9H2.0	1	2.9	2.9	260	2.0	0.088	0.066
M1K1D28H2.9H2.0	1	2.9	2.9	280	2.0	0.086	0.065
M1K1D30H2.9H2.0	1	2.9	2.9	300	2.0	0.085	0.064
M1K1D24H2.9H3.5	1	2.9	2.9	240	3.5	0.091	0.068
M1K1D26H2.9H3.5	1	2.9	2.9	260	3.5	0.089	0.067
M1K1D28H2.9H3.5	1	2.9	2.9	280	3.5	0.088	0.066
M1K1D30H2.9H3.5	1	2.9	2.9	300	3.5	0.087	0.065
M1K1D24H3.0H2.0	1	3.0	3.0	240	2.0	0.094	0.070
M1K1D26H3.0H2.0	1	3.0	3.0	260	2.0	0.092	0.069
M1K1D28H3.0H2.0	1	3.0	3.0	280	2.0	0.091	0.068
M1K1D30H3.0H2.0	1	3.0	3.0	300	2.0	0.090	0.067
M1K1D24H3.0H3.5	1	3.0	3.0	240	3.5	0.095	0.071
M1K1D26H3.0H3.5	1	3.0	3.0	260	3.5	0.094	0.070
M1K1D28H3.0H3.5	1	3.0	3.0	280	3.5	0.092	0.069
M1K1D30H3.0H3.5	1	3.0	3.0	300	3.5	0.091	0.068
M1K1D24H3.1H2.0	1	3.1	3.1	240	2.0	0.098	0.073
M1K1D26H3.1H2.0	1	3.1	3.1	260	2.0	0.097	0.072
M1K1D28H3.1H2.0	1	3.1	3.1	280	2.0	0.096	0.071
M1K1D30H3.1H2.0	1	3.1	3.1	300	2.0	0.094	0.070
M1K1D24H3.1H3.5	1	3.1	3.1	240	3.5	0.100	0.074
M1K1D26H3.1H3.5	1	3.1	3.1	260	3.5	0.099	0.073
M1K1D28H3.1H3.5	1	3.1	3.1	280	3.5	0.097	0.072
M1K1D30H3.1H3.5	1	3.1	3.1	300	3.5	0.096	0.071
M1K1D24H3.2H2.0	1	3.2	3.2	240	2.0	0.103	0.076
M1K1D26H3.2H2.0	1	3.2	3.2	260	2.0	0.102	0.075
M1K1D28H3.2H2.0	1	3.2	3.2	280	2.0	0.100	0.074
M1K1D30H3.2H2.0	1	3.2	3.2	300	2.0	0.099	0.073
M1K1D24H3.2H3.5	1	3.2	3.2	240	3.5	0.105	0.077
M1K1D26H3.2H3.5	1	3.2	3.2	260	3.5	0.104	0.076
M1K1D28H3.2H3.5	1	3.2	3.2	280	3.5	0.102	0.075
M1K1D30H3.2H3.5	1	3.2	3.2	300	3.5	0.101	0.074

Örnek donatısız yığma bina modellerinin, Çizelge 1'de verilen farklı deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik formüller kullanılarak bulunan periyotları Çizelge 4-5'te verilmiştir.

Çizelge 4. 1 katlı yığma bina modellerinin farklı yönetmelik ampirik formül doğal titreşim periyodları

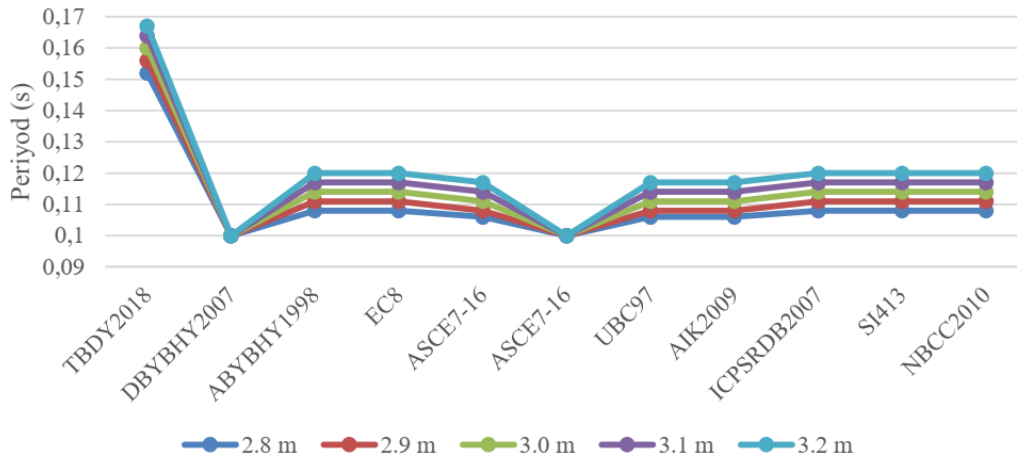
Yönetmelik	Ampirik Formül	Kat Adedi (N)	Kat Yüksekliği (h <sub>kat</sub> )		Bina Yüksekliği (H <sub>N</sub> )		Periyot (T)
			m	m	m	s	
<b>TBDY 2018</b>	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.152
<b>DBYBHY 2007</b>	$T_1=0,1 \cdot N$	1	2.80		2.80		0.100
<b>ABYBHY 1998</b>	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
<b>EC-8</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
<b>ASCE 7-16</b>	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	2.80		2.80		0.106
<b>ASCE7-16</b>	$T_a=0,1 \cdot N$	1	2.80		2.80		0.100
<b>UBC 97</b>	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	2.80		2.80		0.106
<b>AIK 2009</b>	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.106
<b>ICPSRDB 2007</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
<b>SI 413</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
<b>NBCC 2010</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
<b>TBDY 2018</b>	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.156
<b>DBYBHY 2007</b>	$T_1=0,1 \cdot N$	1	2.90		2.90		0.100
<b>ABYBHY 1998</b>	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
<b>EC-8</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
<b>ASCE 7-16</b>	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	2.90		2.90		0.108
<b>ASCE7-16</b>	$T_a=0,1 \cdot N$	1	2.90		2.90		0.100
<b>UBC 97</b>	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	2.90		2.90		0.108
<b>AIK 2009</b>	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.109
<b>ICPSRDB 2007</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
<b>SI 413</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
<b>NBCC 2010</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
<b>TBDY 2018</b>	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.160
<b>DBYBHY 2007</b>	$T_1=0,1 \cdot N$	1	3.00		3.00		0.100
<b>ABYBHY 1998</b>	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
<b>EC-8</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
<b>ASCE 7-16</b>	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.00		3.00		0.111
<b>ASCE7-16</b>	$T_a=0,1 \cdot N$	1	3.00		3.00		0.100
<b>UBC 97</b>	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.00		3.00		0.111
<b>AIK 2009</b>	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.112
<b>ICPSRDB 2007</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
<b>SI 413</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
<b>NBCC 2010</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
<b>TBDY 2018</b>	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.164
<b>DBYBHY 2007</b>	$T_1=0,1 \cdot N$	1	3.10		3.10		0.100
<b>ABYBHY 1998</b>	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
<b>EC-8</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
<b>ASCE 7-16</b>	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.10		3.10		0.114
<b>ASCE7-16</b>	$T_a=0,1 \cdot N$	1	3.10		3.10		0.100
<b>UBC 97</b>	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.10		3.10		0.114
<b>AIK 2009</b>	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.114
<b>ICPSRDB 2007</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
<b>SI 413</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
<b>NBCC 2010</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
<b>TBDY 2018</b>	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.167
<b>DBYBHY 2007</b>	$T_1=0,1 \cdot N$	1	3.20		3.20		0.100
<b>ABYBHY 1998</b>	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120
<b>EC-8</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120
<b>ASCE 7-16</b>	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.20		3.20		0.117
<b>ASCE7-16</b>	$T_a=0,1 \cdot N$	1	3.20		3.20		0.100
<b>UBC 97</b>	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.20		3.20		0.117
<b>AIK 2009</b>	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.117
<b>ICPSRDB 2007</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120
<b>SI 413</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120
<b>NBCC 2010</b>	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120

Çizelge 5. 2 katlı yığma bina modellerinin farklı yönetmelik ampirik formül doğal titreşim periyodları

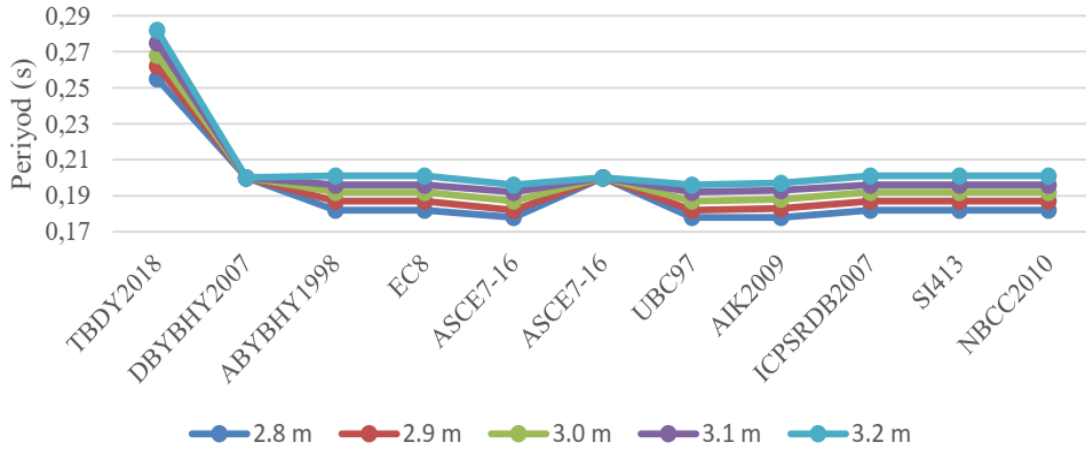
Yönetmelik	Ampirik Formül	Kat Adedi (N)	Kat Yüksekliği (h <sub>kat</sub> )	Bina Yüksekliği (H <sub>N</sub> )	Periyot (T)
			m	m	s
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.255
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	2.80	5.60	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	2.80	5.60	0.178
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	2.80	5.60	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	2.80	5.60	0.178
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.178
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.262
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	2.90	5.80	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	2.90	5.80	0.182
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	2.90	5.80	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	2.90	5.80	0.182
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.183
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.268
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	3.00	6.00	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.00	6.00	0.187
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	3.00	6.00	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.00	6.00	0.187
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.188
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.275
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	3.10	6.20	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.10	6.20	0.192
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	3.10	6.20	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.10	6.20	0.192
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.193
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.282
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	3.20	6.40	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.20	6.40	0.196
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	3.20	6.40	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.20	6.40	0.196
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.197
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201

Çalışmada incelenen farklı deprem yönetmeliklerinin önerdiği ampirik formüller kullanılarak farklı kat yüksekliklerine sahip donatısız yığma bina modelleri için bulunan periyod değerlerinin karşılaştırılması, 1 katlı donatısız yığma bina modelleri için grafik olarak Şekil 6'da ve 2 katlı örnek yığma bina modelleri için grafik olarak Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün, çalışmada incelenen diğer deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik formüllere göre daha büyük (daha uzun) periyod değerleri verdiği ve diğer deprem

yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Farklı kat yüksekliklerine sahip 1 katlı örnek donatısız yığma bina modelleri için TBDY 2018 ampirik formül periyodlarının, DBYBHY 2007 ampirik formül periyodlarının 1.60 katı, ABYBHY 1998, ICPSRDB 2007, Sİ 314, NBCC 2010 ve Eurocode 8 yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının 1.40 katı, UBC 97 ve AIK 2009 yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının 1.44 katı ve ASCE7-16 yönetmeliği ampirik formül periyodlarının 1.44 ve 1.60 katı olduğu görülmektedir.



Şekil 6. 1 katlı donatısız yığma bina modelleri için ampirik formül periyod değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7. 2 katlı donatısız yığma bina modelleri için ampirik formül periyod değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 7 incelendiğinde TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün, 1 katlı yığma bina modellerinde olduğu gibi diğer deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik periyod formüllerine göre daha büyük (daha uzun) periyod değerleri verdiği ve diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının birbirine yakın değerler aldığı

görülmektedir. Farklı kat yüksekliklerine sahip 2 katlı örnek donatısız yığma bina modelleri için TBDY 2018 ampirik formül periyodlarının, DBYBHY 2007 ampirik formül periyodlarının 1.34 katı, ABYBHY 1998, ICPSRDB 2007, Sİ 413, NBCC 2010 ve Eurocode 8 yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının 1.40 katı, UBC 97 ve AIK 2009 yönetmeliklerinin

ampirik formül periyodlarının 1.44 katı ve ASCE7-16 yönetmeliği ampirik formül periyodlarının 1.34 ve 1.44 katı olduğu görülmektedir.

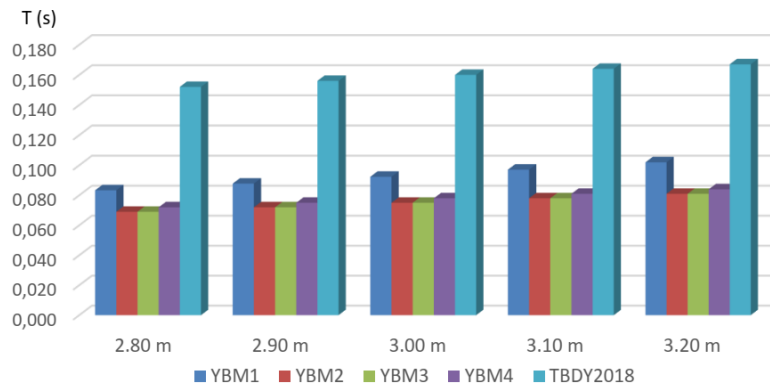
Çalışmada incelenen farklı deprem yönetmeliklerinin önerdiği ampirik periyod formülleri aynı teorik alt yapıya bağlı olarak çıkarılmasına rağmen ampirik formüllerdeki farklı değişkenlere bağlı olarak aynı bina için farklı sonuçların çıktığı görülmektedir. TBDY 2018 ampirik formül periyodlarının, çalışmada incelenen diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarından belirgin şekilde farklı (büyük) değerler almasının en önemli sebebi, incelenen

diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik periyod formüllerinde  $C_t$  katsayısının 0.05 civarında olmasına karşın TBDY 2018 ampirik periyod formülünde  $C_t$  katsayısının 0.07 olmasıdır.

Örnek donatısız yığma bina modellerinin farklı kat sayısı, kat yüksekliği, duvar kalınlığı, hareketli yük değerleri için Rayleigh formülüyle analitik olarak bulunan periyod değerlerinin ortalaması ile TBDY 2018 ampirik formül periyod değerlerinin karşılaştırması, 1 katlı donatısız yığma bina modelleri için Çizelge 6'da, grafik olarak Şekil 8'de ve 2 katlı donatısız yığma bina modelleri için Çizelge 7'de, grafik olarak Şekil 9'da verilmiştir.

**Çizelge 6.** 1 katlı donatısız yığma bina modellerinin periyodlarının TBDY 2018 ampirik formül periyodları ile karşılaştırılması

Model No	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Rayleigh Yöntemi Periyod Ortalama		TBDY 2018 Ampirik $T_{amp}$ (s)	$\frac{T_x}{T_{amp}}$	$\frac{T_y}{T_{amp}}$
				Tx (s)	Ty (s)			
				YBM1	1			
YBM2	1	2.80	2.80	0.069	0.066		2.20	2.30
YBM3	1	2.80	2.80	0.069	0.068		2.20	2.24
YBM4	1	2.80	2.80	0.072	0.062		2.11	2.45
YBM1	1	2.90	2.90	0.088	0.066	0.156	1.78	2.37
YBM2	1	2.90	2.90	0.072	0.069		2.17	2.26
YBM3	1	2.90	2.90	0.072	0.071		2.17	2.20
YBM4	1	2.90	2.90	0.075	0.064		2.08	2.44
YBM1	1	3.00	3.00	0.092	0.069	0.160	1.73	2.32
YBM2	1	3.00	3.00	0.075	0.071		2.13	2.25
YBM3	1	3.00	3.00	0.075	0.074		2.13	2.16
YBM4	1	3.00	3.00	0.078	0.066		2.05	2.42
YBM1	1	3.10	3.10	0.097	0.072	0.164	1.69	2.29
YBM2	1	3.10	3.10	0.078	0.074		2.10	2.22
YBM3	1	3.10	3.10	0.078	0.077		2.10	2.13
YBM4	1	3.10	3.10	0.081	0.069		2.02	2.38
YBM1	1	3.20	3.20	0.102	0.075	0.167	1.64	2.23
YBM2	1	3.20	3.20	0.081	0.077		2.06	2.17
YBM3	1	3.20	3.20	0.081	0.080		2.06	2.09
YBM4	1	3.20	3.20	0.084	0.071		1.99	2.35



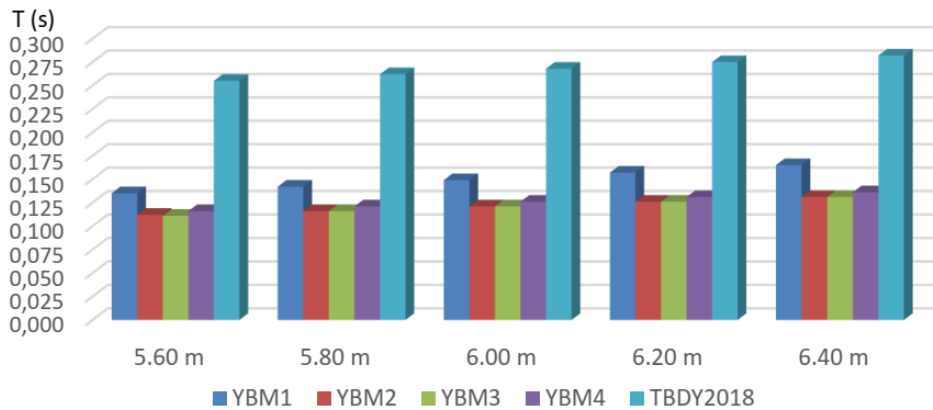
**Şekil 8.** 1 katlı yığma binaların ortalama periyodlarının TBDY 2018 ampirik formül periyodu ile farklı kat yükseklikleri için karşılaştırılması

TBDY 2018 ampirik formülü ile bulunan periyodlar, Rayleigh yöntemiyle analitik olarak bulunan periyodlardan farklı değerler almaktadır (Çizelge 6, 7 ve Şekil 8, 9). Aynı bina için periyodların farklı olmasının sebebi, TBDY 2018 ampirik formülün ( $T_{PA}=C_t \cdot H_N^{3/4}$ ) sadece bina taşıyıcı sistem katsayısı ( $C_t$ ) ile bina yüksekliğine ( $H_N$ ) bağlı olması, binanın X ve Y boyutları yani atalet durumu, kütlesi (m), bina dayanımı, rijitliği (EI) gibi parametreleri dikkate almamasıdır.

1 katlı tüm donatısız yığma bina modellerinin TBDY 2018 ampirik formülü ile bulunan periyodların, analitik olarak bulunan periyodlara göre daha büyük değerler aldığı Çizelge 6'dan ve Şekil 8'den görülmektedir. Örneğin 1 katlı donatısız yığma bina modellerinden YBM1 için kat yüksekliğine bağlı olarak TBDY 2018 ampirik formülüyle bulunan periyodlar, analitik olarak bulunan periyodların X doğrultusunda en az 1.64 en çok 1.82 katı iken, Y doğrultusunda ise en az 2.24 en çok 2.45 katıdır.

**Çizelge 7.** 2 katlı donatısız yığma bina modellerinin periyodlarının TBDY 2018 ampirik formül periyodları ile karşılaştırılması

Model No	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Rayleigh Yöntemi Periyod Ortalama		TBDY 2018 Ampirik $T_{amp}$ (s)	$\frac{T_x}{T_{amp}}$	$\frac{T_y}{T_{amp}}$
				Tx (s)	Ty (s)			
YBM1	2	2.80	5.60	0.135	0.100	0.255	1.89	2.55
YBM2	2	2.80	5.60	0.112	0.107		2.28	2.38
YBM3	2	2.80	5.60	0.111	0.110		2.30	2.32
YBM4	2	2.80	5.60	0.116	0.100		2.20	2.55
YBM1	2	2.90	5.80	0.142	0.105	0.262	1.85	2.50
YBM2	2	2.90	5.80	0.116	0.111		2.26	2.36
YBM3	2	2.90	5.80	0.116	0.115		2.26	2.28
YBM4	2	2.90	5.80	0.121	0.103		2.17	2.54
YBM1	2	3.00	6.00	0.149	0.109	0.268	1.80	2.46
YBM2	2	3.00	6.00	0.121	0.116		2.21	2.31
YBM3	2	3.00	6.00	0.121	0.120		2.21	2.23
YBM4	2	3.00	6.00	0.126	0.107		2.13	2.50
YBM1	2	3.10	6.20	0.157	0.114	0.275	1.75	2.41
YBM2	2	3.10	6.20	0.126	0.120		2.18	2.29
YBM3	2	3.10	6.20	0.126	0.125		2.18	2.20
YBM4	2	3.10	6.20	0.131	0.111		2.10	2.48
YBM1	2	3.20	6.40	0.165	0.119	0.282	1.71	2.37
YBM2	2	3.20	6.40	0.131	0.125		2.15	2.26
YBM3	2	3.20	6.40	0.131	0.130		2.15	2.17
YBM4	2	3.20	6.40	0.136	0.115		2.07	2.45



**Şekil 9.** 2 katlı yığma binaların ortalama periyodlarının TBDY 2018 ampirik formül periyodu ile farklı kat yükseklikleri için karşılaştırılması

Çizelge 7 ve Şekil 9 incelendiğinde iki katlı tüm donatısız yığma bina modellerinde TBDY 2018 ampirik periyod formülüyle bulunan periyodların değerlerinin, analitik olarak bulunan periyodlara göre büyük değerler aldığı görülmektedir. Örneğin 2 katlı donatısız yığma bina modellerinden YBM1 için kat yüksekliğine bağlı olarak TBDY 2018 ampirik formülüyle bulunan periyodlar, analitik olarak bulunan periyodlarının X doğrultusunda en az 1.71 en çok 1.89 katı iken, Y doğrultusunda en az 2.37 en çok 2.55 katıdır.

Çalışmada incelenen diğer ülkelerin deprem yönetmeliklerinin ampirik periyod formülleri, TBDY 2018 ampirik periyod formülüne göre Rayleigh yöntemi periyod değerlerine daha yakın sonuçlar vermektedir.

Deprem sırasında binaya etkiyecek olan spektral ivme değerleri binanın periyoduna bağlı olarak tasarım ivme spektrum grafiği üzerinden hesaplanmaktadır. TBDY 2018 tasarım ivme spektrumu göz önüne alındığında belirli bir küçük bölgenin dışında spektral ivme değerleri periyod ile ters orantılıdır, yani ampirik formül ile bulunan büyük (uzun) periyodlar için hesaplanan deprem yüklerinin, analitik olarak bulunan periyodlar için hesaplanan deprem yüklerinden daha küçük

değerler alması güvensiz tarafta kalması beklenmektedir.

Periyod hesaplarında elde edilen sonuçların farklılığı deprem hesabında baz alınan tasarım depreminin farklı seviyede olmasına neden olabileceği için çalışmada ayrıca, TBDY 2018'de ampirik formül ve Rayleigh periyodları için deprem yükleri de incelenmiştir. Örnek donatısız yığma bina modellerinin deprem yükü ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için ayrı ayrı hesaplanarak, karşılaştırılmıştır. Örnek donatısız yığma bina modellerinin eşdeğer deprem yüklerinin hesabı, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019 (TDTH 2019)'a göre depremselliği fazla olan Sakarya Merkezi ve depremselliği görece daha az olan Kırklareli Merkezi için yapılmıştır. Kırklareli ve Sakarya Merkezi için TDTH 2019'dan okunan spektral ivme katsayıları ve spektrum köşe periyodları Çizelge 8'de verilmiştir. Çalışma kapsamında eşdeğer deprem yükü hesabı sonucu bulunan tüm deprem yüklerinin verilmesi sayfa sayısını çok arttıracığı için örnek olması açısından 2 katlı donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1)'in Kırklareli Merkezi için hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin ortalama değerleri Çizelge 9'da verilmiştir.

**Çizelge 8.** Örnek yığma bina modellerin TBDY 2018 spektral ivme katsayıları ve spektrum köşe periyodları

Zemin Sınıfı	Kırklareli					Sakarya				
	S <sub>D5</sub>	S <sub>D1</sub>	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>L</sub>	S <sub>D5</sub>	S <sub>D1</sub>	T <sub>A</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>L</sub>
ZA	0.311	0.102	0.066	0.329	6.0	0.982	0.273	0.056	0.278	6.0
ZB	0.350	0.102	0.058	0.292	6.0	1.105	0.273	0.049	0.247	6.0
ZC	0.506	0.192	0.076	0.380	6.0	1.474	0.512	0.069	0.347	6.0
ZD	0.579	0.300	0.104	0.518	6.0	1.239	0.668	0.108	0.539	6.0
ZE	0.782	0.505	0.129	0.646	6.0	1.127	0.899	0.160	0.798	6.0

**Çizelge 9.** 2 katlı donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1)'in Kırklareli Merkezi için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri

Zemin Sınıfı	Deprem Yüğü (kN)	Kat Yüksekliği (m)				
		2.80 m	2.90 m	3.00 m	3.10 m	3.20 m
ZA	V <sub>tort</sub>	216.295	220.512	224.841	228.732	232.548
	V <sub>tampirik</sub>	<b>176.416</b>	<b>179.925</b>	<b>183.610</b>	<b>186.994</b>	<b>190.316</b>
ZB	V <sub>tort</sub>	237.669	242.071	246.614	250.636	254.570
	V <sub>tampirik</sub>	<b>190.323</b>	<b>193.965</b>	<b>197.813</b>	<b>201.315</b>	<b>204.748</b>
ZC	V <sub>tort</sub>	361.175	368.609	376.203	383.138	389.950
	V <sub>tampirik</sub>	<b>300.784</b>	<b>307.030</b>	<b>313.545</b>	<b>319.589</b>	<b>325.534</b>
ZD	V <sub>tort</sub>	427.789	442.667	452.586	461.882	471.049
	V <sub>tampirik</sub>	<b>375.062</b>	<b>383.497</b>	<b>392.195</b>	<b>400.412</b>	<b>408.520</b>
ZE	V <sub>tort</sub>	559.070	579.608	599.129	619.764	640.589
	V <sub>tampirik</sub>	<b>532.638</b>	<b>545.193</b>	<b>558.058</b>	<b>570.339</b>	<b>582.483</b>

Donatısız yığma bina modellerin TBDY 2018'de önerilen ampirik formülle ve Rayleigh yöntemiyle analitik olarak bulunan periyod değerleri kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin Kırklareli Merkezi için karşılaştırılması Çizelge 10'da, Sakarya Merkezi için karşılaştırılması Çizelge 11'de verilmiştir. TBDY 2018 ampirik formül periyod değerleri ile analitik periyod değerleri için hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin % cinsinden

karşılaştırılmasında Denklem 4 kullanılmıştır (Çizelge 10, 11).

$$\frac{V_{t_{amp}} - V_{t_{ort}}}{V_{t_{amp}}} \times 100 \quad (4)$$

Denklem 4'te  $V_{t_{amp}}$ : Ampirik formül periyod değeri için eşdeğer deprem yükü,  $V_{t_{ort}}$ = Rayleigh yöntemi periyod değeri için eşdeğer deprem yükü ortalamasıdır.

**Çizelge 10.** Donatısız yığma bina modellerinin farklı periyod değerleri kullanılarak Kırklareli Merkezi için hesaplanan eşdeğer deprem yükü değerlerinin oranı

Model Adı	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	(V <sub>tamp</sub> -V <sub>ort</sub> )/V <sub>tamp</sub> Oranları (%)				
				Zemin Grubu				
				ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
M1K1	1	2.80	2.80	-11.07	-13.35	-5.94	11.74	25.97
M1K1	1	2.90	2.90	-12.16	-13.32	-7.12	9.01	23.19
M1K1	1	3.00	3.00	-12.15	-13.28	-8.25	6.35	20.48
M1K1	1	3.10	3.10	-12.10	-13.22	-9.33	3.78	17.84
M1K1	1	3.20	3.20	-11.91	-13.00	-10.23	1.39	15.37
M1K2	2	2.80	5.60	-18.37	-19.84	-16.67	-12.32	-4.43
M1K2	2	2.90	5.80	-18.33	-19.79	-16.65	-13.33	-5.77
M1K2	2	3.00	6.00	-18.25	-19.69	-16.59	-13.30	-6.77
M1K2	2	3.10	6.20	-18.15	-19.57	-16.51	-13.26	-7.95
M1K2	2	3.20	6.40	-18.05	-19.44	-16.43	-13.22	-9.07
M2K1	1	2.80	2.80	-13.09	-14.32	-5.34	15.16	29.52
M2K1	1	2.90	2.90	-13.06	-14.39	-7.76	12.61	26.95
M2K1	1	3.00	3.00	-13.31	-14.55	-9.76	10.49	24.82
M2K1	1	3.10	3.10	-13.38	-14.62	-11.29	8.13	22.42
M2K1	1	3.20	3.20	-13.32	-14.55	-11.94	5.98	20.22
M2K2	2	2.80	5.60	-19.44	-21.00	-17.64	-14.10	-3.09
M2K2	2	2.90	5.80	-19.66	-21.21	-17.85	-14.29	-5.22
M2K2	2	3.00	6.00	-19.63	-21.18	-17.84	-14.31	-7.56
M2K2	2	3.10	6.20	-19.78	-21.32	-17.99	-14.45	-9.68
M2K2	2	3.20	6.40	-19.86	-21.39	-18.08	-14.54	-11.48
M3K1	1	2.80	2.80	-12.94	-14.15	-6.00	14.45	28.79
M3K1	1	2.90	2.90	-13.01	-14.23	-8.38	11.93	26.26
M3K1	1	3.00	3.00	-13.08	-14.30	-10.65	9.51	23.81
M3K1	1	3.10	3.10	-13.16	-14.37	-11.78	7.20	21.46
M3K1	1	3.20	3.20	-13.10	-14.30	-11.74	5.08	19.30
M3K2	2	2.80	5.60	-19.31	-20.85	-17.52	-14.00	-3.50
M3K2	2	2.90	5.80	-19.39	-20.93	-17.61	-14.10	-6.00
M3K2	2	3.00	6.00	-19.37	-20.89	-17.60	-14.11	-8.30
M3K2	2	3.10	6.20	-19.45	-20.97	-17.69	-14.21	-10.56
M3K2	2	3.20	6.40	-19.54	-21.04	-17.78	-14.31	-12.11
M4K1	1	2.80	2.80	-11.54	-14.41	-4.88	14.45	29.99
M4K1	1	2.90	2.90	-12.52	-14.56	-6.99	13.42	27.83
M4K1	1	3.00	3.00	-13.47	-14.72	-8.32	11.29	25.62
M4K1	1	3.10	3.10	-13.54	-14.78	-9.58	8.89	23.20
M4K1	1	3.20	3.20	-13.55	-14.79	-10.36	7.03	21.30
M4K2	2	2.80	5.60	-29.00	-21.21	-17.82	-13.24	-2.35
M4K2	2	2.90	5.80	-19.85	-21.43	-18.03	-14.19	-4.48
M4K2	2	3.00	6.00	-19.89	-21.46	-18.08	-14.50	-6.66
M4K2	2	3.10	6.20	-20.04	-21.60	-18.22	-14.64	-8.41
M4K2	2	3.20	6.40	-20.18	-21.74	-18.37	-14.79	-9.49



**Çizelge 11.** Donatısız yiğma bina modellerinin farklı periyod değerleri kullanılarak Sakarya Merkezi için hesaplanan eşdeğer deprem yükü değerlerinin oranı

Model Adı	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	(V <sub>tamp</sub> -V <sub>ort</sub> )/V <sub>tamp</sub> Oranları (%)				
				Zemin Grubu				
				ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
M1K1	1	2.80	2.80	-13.84	-15.08	-11.71	14.24	35.76
M1K1	1	2.90	2.90	-13.81	-15.08	-10.51	11.49	35.16
M1K1	1	3.00	3.00	-13.76	-15.08	-11.60	8.82	34.52
M1K1	1	3.10	3.10	-13.70	-15.08	-11.63	6.23	31.89
M1K1	1	3.20	3.20	-13.47	-15.08	-11.44	3.82	29.39
M1K2	2	2.80	5.60	-20.46	-15.08	-17.73	-10.94	8.24
M1K2	2	2.90	5.80	-20.40	-15.08	-17.70	-12.21	5.42
M1K2	2	3.00	6.00	-20.29	-15.08	-17.63	-12.91	-3.37
M1K2	2	3.10	6.20	-20.16	-15.08	-17.54	-12.88	0.33
M1K2	2	3.20	6.40	-20.03	-15.08	-17.45	-12.84	-1.38
M2K1	1	2.80	2.80	-14.85	-15.08	-11.40	17.69	39.22
M2K1	1	2.90	2.90	-14.92	-15.08	-12.64	15.13	38.90
M2K1	1	3.00	3.00	-15.08	-15.08	-12.78	13.00	38.92
M2K1	1	3.10	3.10	-15.15	-15.08	-12.86	10.63	36.56
M2K1	1	3.20	3.20	-15.07	-15.08	-12.80	8.47	34.37
M2K2	2	2.80	5.60	-21.65	-15.08	-18.76	-13.44	11.01
M2K2	2	2.90	5.80	-21.87	-15.08	-18.98	-13.87	8.80
M2K2	2	3.00	6.00	-21.82	-15.08	-18.96	-13.89	6.36
M2K2	2	3.10	6.20	-21.97	-15.08	-19.11	-14.03	4.14
M2K2	2	3.20	6.40	-22.03	-15.08	-19.19	-14.02	1.82
M3K1	1	2.80	2.80	-14.67	-15.08	-12.03	16.98	38.53
M3K1	1	2.90	2.90	-14.75	-15.08	-12.49	14.45	38.22
M3K1	1	3.00	3.00	-14.82	-15.08	-12.56	12.02	37.92
M3K1	1	3.10	3.10	-14.89	-15.08	-12.64	9.69	35.59
M3K1	1	3.20	3.20	-14.81	-15.08	-12.58	7.57	33.44
M3K2	2	2.80	5.60	-21.50	-15.08	-18.63	-13.59	10.57
M3K2	2	2.90	5.80	-21.58	-15.08	-18.72	-13.69	7.98
M3K2	2	3.00	6.00	-21.53	-15.08	-18.71	-13.70	5.57
M3K2	2	3.10	6.20	-21.60	-15.08	-18.79	-13.80	3.19
M3K2	2	3.20	6.40	-21.67	-15.08	-18.88	-13.89	0.92
M4K1	1	2.80	2.80	-14.94	-15.08	-9.83	18.17	39.66
M4K1	1	2.90	2.90	-15.10	-15.08	-10.82	15.95	39.69
M4K1	1	3.00	3.00	-15.25	-15.08	-11.78	13.81	39.71
M4K1	1	3.10	3.10	-15.32	-15.08	-13.00	11.40	37.32
M4K1	1	3.20	3.20	-15.33	-15.08	-13.02	9.53	35.44
M4K2	2	2.80	5.60	-21.87	-15.08	-18.96	-11.84	11.78
M4K2	2	2.90	5.80	-22.09	-15.08	-19.71	-12.80	9.57
M4K2	2	3.00	6.00	-22.12	-15.08	-19.21	-13.84	7.30
M4K2	2	3.10	6.20	-22.25	-15.08	-19.36	-14.21	5.04
M4K2	2	3.20	6.40	-22.39	-15.08	-19.50	-14.35	2.88

Çizelge 10 ve 11 incelendiğinde Kırklareli Merkezi ve Sakarya Merkezi için TBDY 2018 ampirik formülü ve analitik periyod değerleri için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Kırklareli Merkezi için 1 katlı yiğma bina modellerinin TBDY 2018 ampirik formül periyotları kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yükleri ( $V_{tamp}$ ), analitik periyotlar kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin ortalamasından ( $V_{ort}$ ) ZA yerel zemin sınıfında

ortalama %12.78, ZB yerel zemin sınıfında ortalama %14.60, ZC yerel sınıfında ortalama %8,78 küçük iken, ZD yerel zemin sınıfında ortalama %9.40 ve ZE yerel zemin sınıfında %23.72 büyüktür. Kırklareli Merkezi için 2 katlı yiğma bina modellerinin eşdeğer deprem yükleri incelendiğinde TBDY 2018 ampirik formül periyotları için bulunan deprem yükleri analitik periyod deprem yüklerinden ZA yerel zemin sınıfında ortalama %19.78, ZB yerel zemin sınıfında ortalama %20.83, ZC yerel sınıfında ortalama

%17.55, ZD yerel zemin sınıfında ortalama %13.96 küçük iken, ZE yerel zemin sınıfında %7.14 büyüktür. Sakarya Merkezi için 1 katlı yığma bina modellerinin TBDY 2018 ampirik formül periyotları kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yükleri ( $V_{t_{amp}}$ ), analitik periyotlar kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin ortalamasından ( $V_{t_{ort}}$ ) ZA yerel zemin sınıfında ortalama %14.68, ZB yerel zemin sınıfında ortalama %15.08, ZC yerel sınıfında ortalama %12.01 küçük iken, ZD yerel zemin sınıfında ortalama % 11.95 ve ZE yerel zemin sınıfında %36.51 büyüktür. Sakarya Merkezi için 2 katlı yığma bina modellerinin eşdeğer deprem yükleri incelendiğinde TBDY 2018 ampirik formül periyotları için bulunan deprem yükleri analitik periyod deprem yüklerinden ZA yerel zemin sınıfında ortalama %21.46, ZB yerel zemin sınıfında ortalama %15.08, ZC yerel sınıfında ortalama %13.34, ZD yerel zemin sınıfında ortalama %13.96 küçük iken, ZE yerel zemin sınıfında %5.31 büyüktür. İncelenen 2 katlı tüm modellerin analiz sonuçlarına göre Kırklareli Merkezi'nde tüm zemin sınıfları için, Sakarya Merkezi'nde ZE zemin sınıfının dışındaki tüm zemin sınıflarında ampirik formül periyotları kullanılarak bulunan deprem yükleri, Rayleigh yöntemi periyotları kullanılarak bulunan deprem yüklerinden daha küçüktür. İncelenen 1 katlı tüm modellerin analiz sonuçlarına göre Kırklareli ve Sakarya Merkezi'nde ZA, ZB, ZC yerel zemin sınıflarında ampirik formül periyotları kullanılarak bulunan deprem yükleri, Rayleigh yöntemi periyotları kullanılarak bulunan deprem yüklerinden daha küçük iken, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarında daha büyüktür.

TBDY 2018'de önerilen ampirik formül ve Rayleigh periyod değerleri ile bu periyod değerleri kullanılarak örnek donatısız yığma bina modelleri için hesaplanan deprem yükleri arasındaki fark, donatısız yığma binaların doğal titreşim periyodu hesabında TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün mevcut haliyle doğrudan kullanılmasının depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından güvensiz sonuçlara sebep olabileceği söylenebilir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)'de belirli koşulların sağlanması durumunda binaların doğal titreşim periyod

değerlerinin bulunması için kullanılması önerilen ampirik periyod formülünün depreme dayanıklı donatısız yığma bina tasarımı ve analizi için yeterliliği irdelenmiştir. Bu amaçla farklı kat planı, kat adeti, kat yüksekliği, duvar kalınlığı ve hareketli yüke sahip donatısız yığma bina örneklerinin, deprem analizine esas doğal titreşim periyodu TBDY 2018'de önerilen ampirik formül ve Rayleigh yöntemi ile analitik olarak belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca donatısız yığma binaların periyod değerlerinin belirlenmesi için TBDY 2018'de önerilen ampirik formül ile çalışma kapsamında incelenen farklı deprem yönetmeliklerinin önerdiği ampirik formüller örnek donatısız yığma binalar için karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre TBDY 2018 ampirik periyod formülü ile örnek donatısız yığma bina modelleri için bulunan periyotların, Rayleigh yöntemi periyotlarına göre daha büyük değerler aldığı görülmüştür. TBDY 2018'de önerilen ampirik periyod formülünün çalışmada incelenen farklı deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik periyod formüllerine göre 1 katlı bina modellerinde %40-%60, 2 katlı bina modellerinde %34-%44 arasında değişen oranlarda daha büyük (daha uzun) periyod değerleri verdiği görülmüştür.

TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün Rayleigh formülünün yerine periyod hesabında kullanılması donatısız yığma binaların depreme dayanıklı analizi ve tasarımında güvenli olmayan yönde sonuçlar elde edilmesine neden olabileceği söylenebilir.

TBDY 2018 ampirik periyod formülü ve analitik olarak bulunan periyotlara göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019 (TDTH 2019)'a göre depremselliği fazla olan Sakarya Merkezi ile depremselliği görece daha az olan Kırklareli Merkezinde ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için örnek donatısız yığma bina modellerinin eşdeğer deprem yükleri hesaplanarak, birbiriyle karşılaştırılmıştır.

TBDY 2018 ampirik formülü periyod değerleri kullanılarak örnek donatısız yığma bina modellerinin hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin, Rayleigh yöntemi analitik periyod değerleri kullanılarak hesaplanan deprem yüklerinden ZA, ZB ve ZC yerel zemin sınıflarının tamamında, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarının çoğunda küçük olduğu, güvensiz tarafta

kaldığı görülmüştür.

Donatısız yığma binalar için TBDY 2018 ampirik periyod formülüyle bulunan periyodlar, analitik olarak bulunan periyod değerlerinden büyük olup, deprem tasarımının temel gerekliliği olan insan hayatının korunması ve yapısal çökmenin önlenmesi bakımından güvenli tarafta olmadığı söylenebilir. Periyod değerleri ve bu periyod değerleri kullanılarak örnek donatısız yığma bina modelleri için hesaplanan deprem yükleri arasındaki farklar, TBDY 2018’de binaların doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi için önerilen  $T_{PA}=C_t \cdot H_N^{3/4}$  deneysel formülünün donatısız yığma binaların periyod hesabında doğrudan kullanılabileceği hükmü ve/veya ampirik formüldeki donatısız yığma binalar için  $C_t$  katsayısının 0.07 değerinden gözden geçirilmesi için bir başlangıç noktası olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

## 5. Kaynaklar

ABYYHY, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

AIK, 2009, Korean Building Code, Seoul, Korea.

Aldemir, A., Binici, B., Canbay, E. and Yakut A., 2017. Lateral load testing of an existing two story masonry building up to near collapse, *Bulletion of Earthquake Engineering*, **15**, 3365-3383.

Aldemir, A., Binici, B., Canbay, E. and Yakut A., 2018. In situ lateral load testing of a two-story solid clacy brick masonry building, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **32(5)**: 04018058.

Aninthaneni, P. K. and Dhakal R. P., 2016. Prediction of fundamental period of regular frame buildings, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, **49(2)**, 175-189.

Aras, F., Akbaş, T., Ekşi, H. and Çeribaşı S., 2020. Progressive damage analyses of masonry buildings by dynamic analyses, *International Journal of Civil Engineering*, **18**, 903-917.

ASCE7-16, 2017. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers.

Aksoylu, C. ve Arslan, M. H., 2019a. Çerçeve türü betonarme binaların periyod hesaplarının farklı ampirik bağıntılara göre irdelenmesi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **8 (2)**, 569-581.

Aksoylu, C. ve Arslan, M. H., 2019b. Çerçeve+perde türü betonarme binaların periyod hesaplarının TBDY-2019 yönetmeliğine göre ampirik olarak değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **24(3)**, 365-382.

Aksoylu, C., Mobark, A., Hakan Arslan, M., and Hakkı Erkan, İ. 2020. A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la construcción*, **19(2)**, 282-305.

Aksoylu, C. ve Arslan, M. H., 2021. 2007 ve 2019 Deprem Yönetmeliklerinde betonarme binalar için yer alan farklı deprem kuvveti hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, **13(2)**, 359-374.

Amani, A., S. Sağıroğlu, S. ve Doğangün, A., 2020. Örnek bir yığma bina üzerine 1998, 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **5(1)**, 13-26.

Börekçi, M., 2019. Dolgu duvarlı betonarme binaların hakim periyodunun doğrudan formüller ile elde edilmesi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **2(2)**, 161-178.

Crowley, H. and Pinho, R., 2006. Simplified Equations for Estimating the Period of Vibration of Existing Buildings, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland.

DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

Draganiç, H., Hadzima-Nyarko, M. and Moric, D., 2010. Comparison of rc frames periods with the empiric expressions given in Eurocode 8. *Technical Gazzete*, **17(1)**, 93-100.

Eurocode 8, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Standard EN1998-1, Comité Européen de Normalisation, Brussels, Belgium.

Güneş, S. ve Anıl, Ö., 2017. Operasyonel modal analiz tekniği ile yığma yapıların dinamik davranışının belirlenmesi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye.

ICPSRDB, 2007, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Iran.

İncetaş, S. ve Tanrıkulu, K., 2002. Binaların birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesi,

- <http://fbe.cu.edu.tr/tr/makaleler/2001/binalarinbirinci.pdf>.
- Koçer, M., Nakipoğlu A., Öztürk B., Al-Hagri M. H. Ve Arslan M. H., 2018. Deprem kuvvetine esas spektral ivme değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye göre karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Selçuk-Teknik Dergisi*, **17(2)**, 43-58.
- Kuran, F., Mısır I. S., Aldemir O., Tuna E. ve Fırat S., 2020. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yığma yapılar bölümü üzerine bir değerlendirme ve donatısız yığma bina örnekleri için karşılaştırmalı analiz, *Turkish Journal of Earthquake Research* **2(1)**, 47-60.
- Leissa, A. W., 2005. The historical bases of the Rayleigh and Ritz methods, *Journal of Sound and Vibration*, **287(4)**, 961-978.
- Nassani, D. A., 2014. A simple model for calculating the fundamental period of vibration in steel structures, *APCBEE Procedia*, **9**, 393-346.
- NBCC, 2010, National Building Code of Canada”, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada.
- Özkat, S., ve Kuruşçu, A. O., 2019. Deprem bölgelerinde yapılacak yığma yapıların tasarımı hakkında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması, 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi (UBAK), Yalova, Türkiye.
- Özşahin, B., 2021a. Türkiye bina deprem yönetmeliği 2019'a göre Kırklareli için deprem yüklerinin değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **9(2)**, 836-863.
- Özşahin, B., 2021b. Edirne ili özelinde 2019 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre yatay tasarım ivme spektrumlarının değişiminin incelenmesi, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, **(4)**, 590-608.
- RYTEİE, 2019, Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar, T.C. Şehircilik ve Çevre Bakanlığı, Ankara.
- SI-413, 2009, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, The Standart Institution of Israel.
- Sucuoğlu, H., 2019. 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde başlıca yenilikler, *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, **1(1)**, 63-75.
- TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- TDTH 2019, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/>, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- TS 498, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç, G. ve Tanfener, T., 2016. 2007 ve 2016 Türkiye bina deprem yönetmeliklerinin örneklerle mukayesesi, 3. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişebilirlik, Ankara, Türkiye.
- UBC-97, 1997, Uniform Building Code, Structural Engineering Design Provisions, International Conference of Building Officials, ICBO, Whittier, CA., USA.