



# 2007 ve 2019 Deprem Yönetmeliklerinde Betonarme Binalar İçin Yer Alan Farklı Deprem Kuvveti Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi

## Comparative Investigation of Different Earthquake Load Calculation Methods for Reinforced Concrete Buildings in the 2007 and 2019 Codes

Ceyhun Aksoylu<sup>1\*</sup>, Musa Hakan Arslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42130 Konya, Türkiye  
<sup>2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42130 Konya, Türkiye

Başvuru/Received: 21/12/2020

Kabul / Accepted: 05/02/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 05/02/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/06/2021

**Öz**  
Bu çalışmada, 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2019) ile 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinin (TDY-2007) deprem hesap yöntemleri açısından karşılaştırılmasına odaklanılmıştır. Bunun için aynı plan özelliklerine sahip 3-4-5 katlı çerçeve + perde türü betonarme binalar üzerinde ETABS programında lineer elastik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde TBDY-2019 için zemin sınıfı ZA, deprem tasarım sınıfı 1 (DTS1), TDY-2007’de ise zemin sınıfı Z1, deprem bölgesi 1. derece olacak şekilde İstanbul/Kartal bölgesi dikkate alınmıştır. Modellemeler sonucu binaların her iki yönü için Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi (EDY) ve Mod Birleştirme yöntemi (MBY) kullanılarak taban kesme kuvvetleri, periyot ve göreceli kat ötelenme değerleri hesaplanmıştır. Binaların her iki yöndeki EDY’den elde edilen taban kesme kuvvetleri x ve y yönü için sırasıyla %40-43 ve %39-47 oranında TBDY-2019’da daha az sonuç vermiştir. MBY’de ise bu oran sırasıyla %38-46 ve %35-45 şeklindedir. TBDY-2019 yönetmeliğindeki çatlamış kesit rijitliği kullanımı kat deplasmanlarının ve sistem periyodunun artmasına, taban kesme kuvvetlerinin ise azalmasına yol açmaktadır.

### Anahtar Kelimeler

“Betonarme bina, ETABS modeli, Taban kesme kuvveti, TBDY-2019, TDY-2007”

### Abstract

This study aims to compare the Turkish building seismic standards that come into force by the year 2019 (TBEC-2019) with Turkish Earthquake Code of 2007 (TEC-2007) according to earthquake calculation methods. For this purpose, linear elastic analyzes were carried out in the ETABS program on 3-4-5 story frame + shear wall type reinforced concrete buildings with the same plan features. For TBEC-2019, soil type is considered as ZA, seismic design class 1 (DTS1), in TEC-2007 soil class Z1, earthquake zone as 1st degree taken into account district of Kartal located in Istanbul. As a result of the modeling, base shear forces, period, and relative story drift calculated were made using the equivalent earthquake load method and mode combination method for both sides (X and Y) of the buildings. The base shear forces obtained from the equivalent earthquake load method in x and y directions of the buildings resulted in 40% -43% and 39-47% fewer results at TBEC-2019, respectively. In the mode combination method, this ratio is 38% -46% and 35-45%, respectively. This situation can be explained by the fact that the use of cracked section stiffness in the TBEC-2019 regulation, leads to an increase in story displacements and natural vibration period, and a decrease in base shear forces.

### Key Words

“RC building, ETABS model, Base shear force, TBEC-2019, TEC-2007”

## 1. Giriş

Türkiye’deki fay hatlarının kırılması sonucu oluşan depremlerin yapılar üzerindeki yıkıcı etkisi kabul edilen bir gerçektir. Depremlerin yapılar üzerindeki bu olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla farklı yönetmelikler bilimin ışığında ve gelişen teknoloji ile yenilenerek yürürlüğe girmiştir. Ülkemizde 1940 yılında yürürlüğe giren "*Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaat Ait Yapı Talimatnamesi*" İtalyan yönetmeliğinden uyarlanmış bilinen ilk kaynak özelliği taşımaktadır Öztürk, Selekoğlu ve diğ. (2019). Depremden hasar gören yapıların varlığından bahsedilen ilk yapı yönetmeliği ise 1949 yılında "*Türkiye yer Sarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği*" olarak kabul edilmektedir Öztürk (2018). 1962 yılında ise ilk defa depremin yapılara verdiği zararın etkin bir şekilde ortaya konulduğu afet kavramı gündeme gelmiştir Alyamaç and Erdogan (2005). Bu tarihten sonra çıkarılan 1968, 1975 ve 1998 yılındaki yönetmeliklerde deprem konusu afet yönetmeliği ismi ile dile getirilmiştir. 2007 yılına gelindiğinde ise "*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (TDY-2007)*" yürürlüğe girmiş, bu sayede mevcut betonarme binalarda lineer olmayan hesap yöntemi ve performans analizi kavramları yönetmeliğe eklenerek yeni bir bakış açısı kazandırılmıştır. 2007’den 2019’a kadar geçerli olan bu yönetmelik 1 Ocak 2019 itibarıyla yerini "*Türkiye Binaları Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2019)*" bırakmıştır. Benzer şekilde Deprem Tehlike Haritası da yeni yönetmeliğe benzer olarak 18 Mart 2018 tarihli Resmi Gazete ’de yayınlanmış ve 1 Ocak 2019 tarihinde de yürürlüğe girmiştir Seyrek (2020).

Deprem mühendisliğinde meydana gelen değişmelere paralel olarak değişen yönetmeliklerde belirgin farklılıklar meydana gelmektedir. Türkiye’de yürürlükte olan yönetmeliklerde dünya literatüründe öncü olacak şekilde kapsamlı değişikliğe uğramaktadır. Özellikle TDY-2007 ve TBDY-2019 yönetmelikleri incelendiğinde belirgin farklılıkların olduğu görülmektedir. Deprem bölgesi kavramının ortadan kaldırılması, deprem tehlike haritasının değiştirilmesi ve AFAD’ın çalışmaları ile yeni interaktif web ortamından (<https://tdth.afad.gov.tr>) belirli tasarım parametrelerinin elde edilmesi daha gerçekçi bir tasarım adına önemli gelişmeler olarak sayılabilir. Bununla beraber yönetmelikte hesap yöntemlerinin özellikle şekil değiştirmeye göre olanlarda getirilen yenilikler, özel binalar için açılan yeni bölümler vs. gibi birçok değişiklik 2019 yönetmeliğinde vardır. TBDY-2019 yönetmeliği genel hatlarıyla incelendiğinde ASCE 7-16’nın içeriğine benzer çok sayıda değişikliğe gidildiğini göstermektedir Aksoylu ve Arslan (2019). Özellikle zeminlerin sınıflandırması çok daha detaylı bir şekilde yeni bir bölüm halinde sunulmaktadır. TDY-2007 yönetmeliğinde Z1 türü zeminler en iyi, Z4 türü zeminler ise en kötü zemini temsil edecek şekilde zemin sınıfları 4 gruba ayrılmışken TBDY-2019’da zemin sınıfları ve zemin grupları birleştirilerek (ZA’dan ZF’ye) tıpkı ASCE 7-16 yönetmeliğinde olduğu gibi A’dan F’ye doğru sıralanmaktadır (ASCE7-16 2017). Dolayısıyla TDY-2007’deki zemin sınıfları, TBDY-2019’a göre Z1(ZA, ZB), Z2(ZC), Z3(ZD) ve Z4(ZE)’ye karşılık gelmektedir. ZF sınıfı zemin için ise 2019 yönetmeliği sahaya özel zemin davranış analizinin uzmanlarla (yetkin mühendislerce) yapılmasını istemektedir.

Taslak formu 2016 yılında yayımlanan ve yürürlüğe 2019 yılında giren TBDY-2019 yönetmeliğine yönelik literatürde betonarme binalar için farklı analitik ve numerik çalışmalar sınırlı sayıda olsa da gerçekleştirilmiştir. Ayrıca TBDY-2019 ve TDY-2007 yönetmeliklerinin karşılaştırıldığı güncel çalışmalarda özellikle taban kesme kuvvetleri, bina deplasmanları, bina periyodları, ivme spektrum grafikleri araştırmacılar tarafından karşılaştırılmıştır. Literatür incelendiğinde TBDY-2019 yönetmeliğine yönelik son beş yılda yapılan çalışmaların çerçevesi, perdeli ve çerçeve+perdeli binalar üzerine olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar, yapılan karşılaştırmalara göre Tablo 1’de detaylı olarak sunulmuştur. Tablo 1’de yayımlanan taslak yönetmelik dâhil son beş yılda TBDY-2019’a yönelik çalışmaların bazıları verilmiştir.

**Tablo 1.** TBDY-2019 yönetmeliği ile ilgili son dört yılda yapılan çalışmalar

Taşıyıcı sistem tipi	Yapılan karşılaştırmalar
Çerçevesiz Bina	TBDY-2019 yönetmeliği üzerine irdeleme Başaran (2018), Bikçe ve Bayrak (2018), Çavdar, Sunca et al. (2018), Erdem (2019), Kap, Özgan diğ. (2019), Mete (2019), Başaran ve Hiçyılmaz (2020), Bayrak, Bikçe ve diğ. (2020)
	TDY-2007 ve TBDY-2019 karşılaştırması Demir ve Kayhan (2017), Erdem ve Bikçe (2017), Keskin ve Bozdoğan (2018), Nemutlu ve Sarı (2018), Asığçel (2019), Balıkcı (2019), Dalyan ve Şahin (2019), Eldemir (2019), Nemutlu ve Sarı (2019), Öztürk, Selekoğlu ve (2019), Bozer (2020), Korkmaz (2020), Sümer ve Hamsici (2020)
Perdeli ve Perde + Çerçevesiz Bina	Yapı periyodunun araştırılması Aksoylu ve Arslan (2019), Börekçi (2019)
	TBDY-2019 yönetmeliği üzerine irdeleme Çavdar ve Yolcu (2018), Topçu (2019), Ünsal, Öncel diğ. (2020)
Perdeli ve Perde + Çerçevesiz Bina	TDY-2007, TBDY-2019 ve ASCE 7-16 karşılaştırması Tunç ve Tanfener (2007), Ulutaş (2019), Aksoylu, Mobark diğ. (2020)
	Yapı periyodunun araştırılması Aksoylu ve Arslan (2019), Güngör (2019) Perde konumunun değişiminin araştırılması Othman (2017), Yaman, Tekeli diğ. (2019), Bozer (2020), Isik ve diğ. (2020)

Bu çalışmada ise literatür ışığında farklı kat yüksekliğine sahip binalar, TDY-2007 ve TBDY-2019 deprem yönetmeliklerine göre ETABS v.18.1.1 yapı analiz programında numerik olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan modellerin kolay yorumlanabilmesi için 3, 4 ve 5 katlı düzenli betonarme binaların analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada İstanbul/Kartal'da bulunan ZA (Z1) zemin sınıfında konut türü betonarme bina TBDY-2019 ve TDY-2007 yönetmeliklerine göre Eş Değer Deprem Yükü (EDY) ve Mod Birleştirme Yöntemine (MBY) göre analiz edilmiştir. Analizler neticesinde her bir yapının periyodu, taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelemesi karşılaştırılarak önerilerde bulunulmuştur.

## 2. TDY-2007 ve TBDY-2019'da Yer Alan Deprem Hesapları

Betonarme yapıların deprem hesapları doğrusal hesap yöntemleri ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. TBDY-2019'da var olan dayanıma göre tasarımın esasını oluşturan doğrusal hesap yöntemleri kendi içerisinde EDY, MBY ve Mod toplama yöntemi (MTY) olarak üçe ayrılmaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ise Tek modlu itme, çok modlu itme ve zaman tanım alanında hesap yöntemleridir. Bu çalışmada doğrusal hesap yöntemleri incelendiğinden sırasıyla EDY ve MBY yöntemlerine ait deprem hesap yöntemlerinden bahsedilmiştir.

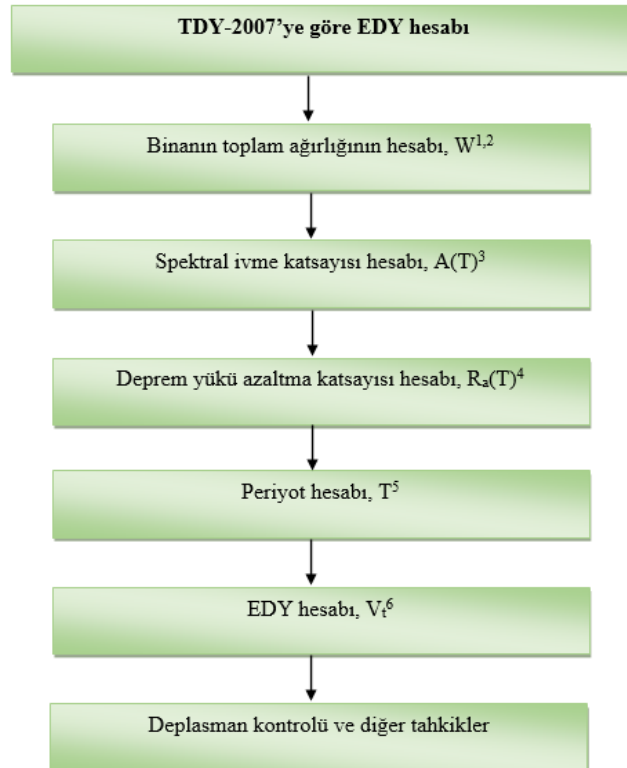
### 2.1. TDY-2007'ye göre EDY ve MBY Yöntemi

TDY-2007'de kat yükseklik sınırına bağlı olarak EDY yönteminin uygulanabileceği binalar için Tablo 2'deki sınırlamalara uyulması gerektiği belirtilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi deprem aktivitesi göreceli olarak daha fazla olan bölgelerde yaklaşık 7 kat ve üstündeki yapılarda EDY kullanılamamaktadır. Burada 1. Modu baz alarak hesap yapan EDY'nin artan kat sayısı ile beraber yerini önemli diğer modların devreye girdiği modal analize vermektedir.

**Tablo 2.** TDY-2007'ye göre EDY yönteminin uygulanabileceği binalar (TDY-2007)

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Yükseklik Sınırı (m)
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$
1,2	Her katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$
3,4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$

Tablo 2'de verilen " $\eta_{bi}$ " katsayısı burulma düzensizliği katsayısı ve " $H_N$ " değeri ise temel seviyesinden itibaren toplam bina yüksekliğini ifade etmektedir. TDY-2007'ye göre EDY hesabı Şekil 1'de gösterilmiştir (TDY-2007). Şekil 1'deki hesap adımlarına ait ilgili denklemler sırasıyla Denklem 1, Denklem 2, Denklem 3, Denklem 4, Denklem 5 ve Denklem 6'da verilmiştir. Şekil 1'de verilen sembollerin yanındaki rakamlar Tablo 3'de verilen denklem numaralarına karşılık gelmektedir.



**Şekil 1.** TDY-2007'ye göre EDY hesabının şematik gösterimi

**Tablo 3.** TDY-2007'ye göre EDY hesap adımları

$$W = \sum_{i=1}^n w_i \quad w_i = g_i + n.q_i \quad (1)$$

$$W = \sum_{i=1}^n w_i \quad (2)$$

$$A(T) = A_0 * I * S(T) \quad (3)$$

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) * \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A$$

$$R_a(T) = R \quad (4)$$

$$T_A \leq T$$

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{\sum_i^N m_i * d_{fi}^2}{\sum_i F_{fi} * d_{fi}}} \quad (5)$$

$$V_i = \frac{W * A(T)}{R_a(T)} \geq 0.1 * A_0 * I * W \quad (6)$$

Denklem 1'de verilen ve TDY-2007'de yer alan hareketli yük katılım katsayısı (n) binanın kullanım amacına bağlı olarak 0.8, 0.6 ve 0.3 değerlerini alabilmektedir. Bina içerisindeki her bir sabit ve hareketli yüklerin toplanması ile kat ağırlığı ( $w_i$ ) hesaplanırken, tüm kat ağırlıkları toplanarak Denklem 2'de verilen toplam bina ağırlığı (W) elde edilmektedir. Denklem 3'de verilen spektral ivme katsayısı A(T), etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ ), bina önem katsayısı (I) ve spektrum katsayısının S(T) çarpımı ile elde edilmektedir. Burada  $A_0$  değeri, deprem bölgesine bağlı olarak sırasıyla 0.4, 0.3, 0.2 ve 0.1 değerlerini alabilmektedir. I değeri, binanın kullanım amacı veya türüne göre 1.5, 1.4, 1.2 ve 1.0 olarak seçilmektedir. S(T) değeri ise yerel zemin sınıfı ve doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak hesap edildikten sonra Denklem 3'de dikkate alınmaktadır. Deprem sırasında binanın doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak için elastik deprem yükleri duruma göre Denklem 4'de verilen deprem yükü azaltma katsayısına  $R_a(T)$  bölünmektedir.  $R_a(T)$  ise, taşıyıcı sistem davranış katsayısına (R), binanın 1. mod doğal titreşim periyoduna ve zemin sınıfına bağlı olarak değerler alabilmektedir. EDY yöntemi uygulanırken deprem doğrultusundaki hâkim doğal titreşim periyodunun hesabı, Rayleigh&Ritz tarafından önerilen ancak literatürde Rayleigh metodu olarak bilinen ve Denklem 5'de verilen formüle göre yapılmaktadır. Burada  $m_i$  değeri, her katın kütesini,  $d_{fi}$  değeri, her katın fiktif deplasmanını ve  $F_{fi}$  değeri ise her kata gelen fiktif deprem yükünü temsil etmektedir. Denklem 6 kullanılarak ise EDY'nin (taban kesme kuvvetinin) hesabı yapılmaktadır. Son olarak yapının deplasman kontrolleri ve diğer tahkikleri incelenmektedir.

TDY-2007'de yapıların yeterli rijitliğe sahip olması için etkin görel kat ötelemelerinin belirli bir sınırı aşmaması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre her bir deprem doğrultusu için her katta bulunan kolon ve perdelerin etkin görel kat ötelemelerinin ( $\delta_i$ ) en büyük değeri dikkate alınmaktadır. Görel kat ötelemelerinin her bir kat için müsaade edilen en büyük değerinin belirlenmesi için Denklem 7 hesap edilmektedir (TDY-2007). Burada etkin kat öteleme değeri ( $\delta_i$ ), taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ile azaltılmış görel kat ötelemesi ( $\Delta_i$ ) değerinin çarpımı sonucu Denklem 7'deki gibi hesap edilmektedir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1}$$

$$\delta_i = R * \Delta_i \quad (7)$$

Görel kat ötelemelerinin her bir kat için müsaade edilen en büyük değerinin belirlenmesi için Denklem 8 hesaplanmaktadır. Burada, kat yüksekliği  $h_i$  olarak ifade edilmektedir.

$$(\Delta_i)_{\max} \leq 0.02 * \frac{h_i}{R} \quad (8)$$

Bu denklemde elastik deplasmanın kullanılma sebebi Newmark'ın Newmark ve Hall (1982) eşit deplasman ilkesine göre depremin yer değiştirme talebinin yapının elastik davranması ile elde edilecek yer değiştirmeye eşit olacağı ilkesine dayanmaktadır. EDY yönteminin uygulandığı ve uygulanmadığı yapılar için kullanılabilen MBY yönteminde, maksimum iç kuvvetler ve deplasmanlar, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilmektedir Mahmoud (2018). EDY yönteminde yapının 1. Mod değerine karşılık gelen periyot değeri dikkate alınırken, MBY'de binada yeterli sayıda doğal titreşim modu dikkate alınmaktadır. MBY'de dikkate alınan azaltılmış ivme spektrum değeri  $S_{ar}(T_n)$ , herhangi bir n'inci titreşim modu göz önüne alınarak Denklem 9'daki gibi hesap edilmektedir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (9)$$

MBY’de, EDY’de olduğu gibi bina içerisinde yer alan döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı düzenli binalarda, her bir katta birbirine dik doğrultuda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafında dönme serbestlik derecesi olmak üzere toplam üç serbestlik derecesi göz önüne alınmaktadır Mahmoud (2018). Dolayısıyla her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesap edilmektedir. Ayrıca hesaba katılacak titreşim mod sayısı, birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90’ından daha az olmama kuralına göre Denklem 10’daki gibi belirlenmektedir (TDY-2007).

$$\sum_{n=1}^Y M_{x_n} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{x_n}^2}{M_n} \geq 0.90 * \sum_{i=1}^N m_i$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{y_n} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{y_n}^2}{M_n} \geq 0.90 * \sum_{i=1}^N m_i \quad (10)$$

Denklem 10’da yer alan  $L_{x_n}$  ve  $L_{y_n}$  ile modal kütle  $M_n$ ’nin ifadeleri, kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için Denklem 11’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$L_{x_n} = \sum_{i=1}^N m_i * \Phi_{x_{in}}; L_{y_n} = \sum_{i=1}^N m_i * \Phi_{y_{in}}$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i * \Phi_{x_{in}}^2 + m_i * \Phi_{y_{in}}^2 + m_{\theta i} * \Phi_{\theta_{in}}^2) \quad (11)$$

Göz önüne alınan deprem doğrultusu için ilk olarak MBY’den elde edilen  $V_{TB}$  (taban kesme kuvveti) değerinin, EDY ile elde edilen  $V_t$  (taban kesme kuvveti)’ne olan oranı bulunur. Daha sonra bu oran  $\beta$  kat sayısı ile çarpılır. Denklem 12’de verilen  $B_B$  değeri, mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklüğü,  $B_D$  ise  $B_B$  büyüklüğüne ait artırılmış ilgili değeri göstermektedir. Hesaplama sonucu bulunan değer Denklem 12’de verilen  $\beta$  değerinden küçük ise, MBY yöntemi ile bulunan tüm iç kuvvetler ve yer değiştirme değerleri Denklem 12’den elde edilen kat sayı ile artırılır. Binada A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerden en az birinin bulunması durumunda  $\beta=0.90$  olarak dikkate alınırken, düzensizliklerin bulunmaması durumunda ise yapı ödüllendirilerek  $\beta=0.80$  alınmaktadır (TDY-2007).

$$B_D = \frac{\beta * V_t}{V_{TB}} B_B \quad (12)$$

## 2.2. TBDY-2019’a göre EDY ve MBY Yöntemi

TBDY-2019 yönetmeliği daha önceki yönetmeliklere göre oldukça kapsamlı yenilikler ile yürürlüğe girmiştir. Özellikle yeni bir tanımlama ile deprem tasarım sınıfları (DTS) kavramı, deprem bölgesi tanımını ortadan kaldırmıştır. DTS’ler, kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı ( $S_{DS}$ ) ve bina yükseklik sınıfına (BKS) bağlı olarak belirlenmektedir. Buna göre binaların DTS değerleri, Türkiye Sismik Tehlike Haritalarının bulunduğu web ortamından ilgili yer için hesaplanan  $S_{DS}$  değerlerine ve bina önem katsayısına göre en yüksek dereceden en düşük dereceye doğru 1, 2, 3 ve 4 değerlerinden birini almaktadır. Bunun yanı sıra yapının bina kullanım sınıfı (BKS) durumuna göre 1a, 2a, 3a ve 4a olma durumu da mevcuttur. Bunun anlamı 1 ve 1a sınıfı en kritik tasarım kurallarını içerirken, 4 ve 4a’ya doğru gidildikçe deprem tasarım kriterlerinde daha esnek davranabilme durumunun meydana gelmesidir. DTS’ler, TDY-2007’deki deprem bölgelerine benzetilebilir. Ancak TDY-2007’den farklı olarak yeni yönetmelikle beraber toplam 8 adet deprem tasarım sınıfı tanımlanmıştır. Bir diğer önemli değişiklik ise BYS (Bina Yükseklik Sınıfı)’dir. BYS, binanın toplam yüksekliğine ( $H_N$ ) ve DTS’ye bağlı olarak BYS1’den BYS8’e kadar değerler almaktadır. Bu sınıflandırmada BYS1 en yüksek, BYS8 ise en düşük yükseklikteki yapıları temsil etmektedir. Ancak yine TBDY-2019 ile yüksek yapıların tasarımına yönelik özel bir bölüm (TBDY-2019-13. Bölüm) açılmış olup en yüksek bina sınıfını temsil eden BYS1’e giren binaların tasarımı temel hesaplara göre değil, yüksek binaların tasarım kurallarını içeren ilgili bölüme göre yapılacağı belirtilmiştir.

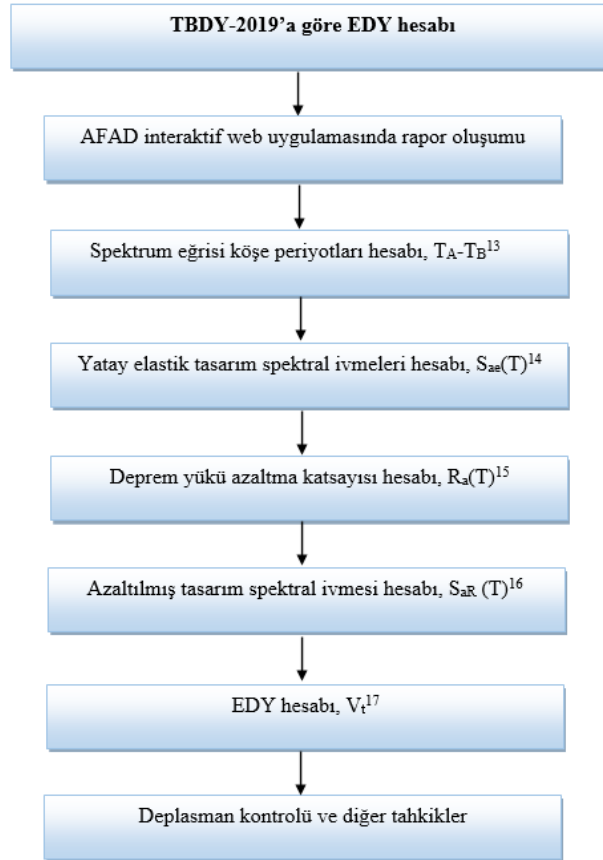
TBDY-2019’da göze çarpan en önemli değişikliklerden biri de TDY-2007’de de var olan taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R) yanı sıra dayanım fazlalığı katsayısının (D) da kullanılmasıdır. TBDY-2019 ile dayanıma göre tasarım (DGT) kavramı gündeme gelmiş olup, dayanım fazlalığı da R katsayısına benzer şekilde yapı özellikleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Bunun amacı gevrek özellik gösteren kesme hasarının önlenmesi için kolon, perde ve giriş gibi yapı elemanlarının kesme hesabında deprem kuvvetinden dolayı elemana gelen kesme kuvveti kesit tesirinin D katsayısı ile artırılarak, yapının her koşulda eğilme hasarına uğramasını sağlamak ve böylece kapasite tasarımının bir halkasını gerçekleştirmektir. D katsayısının uygulanacağı elemanlar her bir yapı sistemi için 1.5 ile 3.5 arasında değişen değerleri ile TBDY-2019’da verilmiştir. Arslan ve Erkan’ın (2011) yaptıkları çalışmada TDY-2007’ye göre tasarlanan betonarme binalarda global performansı düşünülerek bulunan dayanım fazlalığının 2~2.5 arasında olduğu tespit edilmiştir.

TBDY-2019 ile dayanıma göre tasarım dikkate alınarak yapılan bina tasarımlarında etkin kesit rijitliklerinin de dikkate alınması zorunluluğu getirilmiştir. Bu durumda kolon, kiriş, perde ve döşeme elemanlarının tasarımında eğilme rijitliği (EI) değerleri sırasıyla başlangıç rijitliğinin %70, %35, %50 ve %25'i kadar olduğu kabul edilerek tasarımın yapılması gerektiği belirtilmiştir. Kolon üzerinde bulunan yüksek normal kuvvet seviyelerinden dolayı (ki çoğu zaman  $(N_d/(A_{cx} f_{ck}) > 0.1)$  seviyesinin üzerindedir) çatlamanın daha geç olması kolonlardaki katsayının daha yüksek olmasının bir sebebidir. Betonarme yapıların tasarım yönetmeliği olan TS-500-2000 (TS500-2000)'de de bunun bir yansıması narinlik hesaplarında bulunmaktadır. Narinlik hesaplarında kirişlerin ataletleri %50 azaltılmakta kolonların ataletleri ise değiştirilmemektedir. Dolayısıyla deprem ya da narinlik problemleri gibi stabilite sorunlarına neden olacak hesaplarda yüksek deplasman istemleri için yapıyı oluşturacak olan elemanların rijitlikleri daha düşük varsayılmaktadır. TBDY-2019'da BYS sınırına bağlı olarak EDY yönteminin uygulanabileceği binalar için Tablo 4'deki sınırlamalara uyulması gerektiği belirtilmiştir.

**Tablo 4.** TBDY-2019'a göre EDY yönteminin uygulanabileceği binalar (TBDY 2019)

Bina türü	İzin verilen bina yükseklik sınıfı	
	DTS=1, 1a, 2, 2a	DTS=3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS $\geq 4$	BYS $\geq 5$
Diğer tüm binalar	BYS $\geq 5$	BYS $\geq 6$

TBDY-2019 yönetmeliği deprem tasarımında ASCE 7-16 (2017) yönetmeliği ile TDY-2007 yönetmeliği arasında kalan bir yönetmelik olarak hazırlandığı anlaşılmaktadır. TBDY-2019'da yapının ağırlığının hesaplanması ve rayleigh periyot formülünün hesabı TDY-2007'de olduğu gibidir. TBDY-2019'da verilen EDY'ye ait hesap aşamaları Şekil 2'deki gibi özetlenebilir:



**Şekil 2.** TBDY-2019'da verilen EDY hesabının şematik gösterimi

Şekil 2'deki hesap adımlarına ait ilgili denklemler sırasıyla Tablo 5'de Denklem 13, Denklem 14, Denklem 15, Denklem 16, Denklem 17 ve Denklem 18 olarak verilmiştir. Şekil 2'de verilen sembollerin yanındaki rakamlar Tablo 5'de verilen denklem numaralarına karşılık gelmektedir.

**Tablo 5.** TBDY-2019'a göre EDY hesap adımları

$T_A = \frac{0.2 * S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$		(13)
$S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6 * \frac{T}{T_A}) * S_{DS}$	$0 \leq T \leq T_A$	
$S_{ae}(T) = S_{DS}$	$T_A \leq T \leq T_B$	(14)
$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T}$	$T_B \leq T \leq T_L$	
$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2}$	$T_L \leq T$	
$R_a(T) = \frac{R}{I}$	$T > T_B$	
$R_a(T) = D + (\frac{R}{I} - D) * \frac{T}{T_B}$	$T \leq T_B$	(15)
$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)}$		(16)
$V_{\substack{x \\ iE}}^x = m_t * S_{aR}(T_p^x) \geq 0.04 * m_t * I * S_{DS} * g$		(17)

Yapı tasarımında deprem güvenliğinin ve yeterli rijitliğin sağlanması amacıyla hemen her deprem yönetmeliğinde her kattaki kolon ve perdelerin görelî kat öteleme değerlerine üst sınır getirilmiştir. TBDY-2019 ile de binalarda dolgu duvarın çerçeve elemana bitişik veya ayrı olmasına bağlı olarak yeni bir görelî kat ötelemesi formülasyonu getirilmiştir. Bununla beraber TDY-2007'de etkin görelî kat ötelemesi,  $h_i$  ve  $R$ 'ye bağlıyken, TBDY-2019'da bunlara ilaveten bina önem katsayısı ( $I$ ) parametre olarak dikkate alınmaktadır. TBDY-2019'da etkin görelî kat ötelemesinin belirlenmesinde dolgu duvarın çerçeveye bitişik imal edilmesi durumunda Denklem 18, çerçeve ile duvarlar arasında yalıtım bulunması durumunda ise Denklem 19 dikkate alınmaktadır.

$$\lambda * \frac{\delta_{i,\max}^x}{h_i} \leq 0.008 * \kappa \quad (18)$$

$$\lambda * \frac{\delta_{i,\max}^x}{h_i} \leq 0.016 * \kappa \quad (19)$$

Denklemlerde verilen kat yüksekliği " $h_i$ ",  $x$  doğrultusunda binanın  $i$ 'nci katının etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri, " $\delta_{i,\max}^x$ ", DD3 depremine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin  $S_{ae}(T)_{DD3}$ , DD2 depremine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesine  $S_{ae}(T)_{DD2}$  oranı  $\lambda$ , Denklem 20'deki gibi hesap edilmektedir. Burada yönetmelik DD-3 ve DD-2 deprem düzeylerini karşılaştırarak dolgu duvarların devreye girdiği ve çatladığı deprem düzeyi için formülasyonda bir iyileştirme yapmıştır. Ayrıca Denklem 18 ve Denklem 19'da yer alan " $\kappa$ " katsayısı betonarme binalarda  $\kappa=1$ , daha narin olan çelik binalarda ise  $\kappa=0.5$  alınacağı belirtilmiştir. Bu çalışmada betonarme binalar dikkate alındığından  $\kappa=1$  olarak dikkate alınmıştır (TBDY-2019).

$$\lambda = \frac{S_{ae}(T)_{DD3}}{S_{ae}(T)_{DD2}} \quad (20)$$

Etkin görelî kat ötelemelerinin azaltılmış deprem yüklerine göre belirlenen görelî kat ötelemelerine ( $\Delta_i^x$ ) göre hesabı Denklem 21'de verilmiştir.

$$\delta_{i,\max}^x = \frac{R}{I} * \Delta_i^x \quad (21)$$

Buna göre izin verilen maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi, dolgu duvarın bitişik ve yalıtımlı olması durumu için Denklem 22 ve Denklem 23'de sırasıyla verilmiştir.

$$\Delta_i^x \leq \frac{0.008 * h_i * I}{R * \lambda} \quad (22)$$

$$\Delta_i^x \leq \frac{0.016 * h_i * I}{R * \lambda} \quad (23)$$

TDY-2007'deki MBY hesabında x ve y yönü için her bir modda hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması koşulu ifade edilmekteydi. Ancak TBDY-2019'da bu oran %95'e çıkarılmıştır. Ayrıca, en az %3 katkısı olan bütün modların göz önüne alınması gerektiği belirtilmektedir. Burada TBDY-2019 ile beraber kütle katılımının artması ile modal analizlerde hesaplanan kesme kuvvetlerinin bir miktar artmasını beklemek doğaldır.

### 3. Numerik Modelleme Çalışmaları

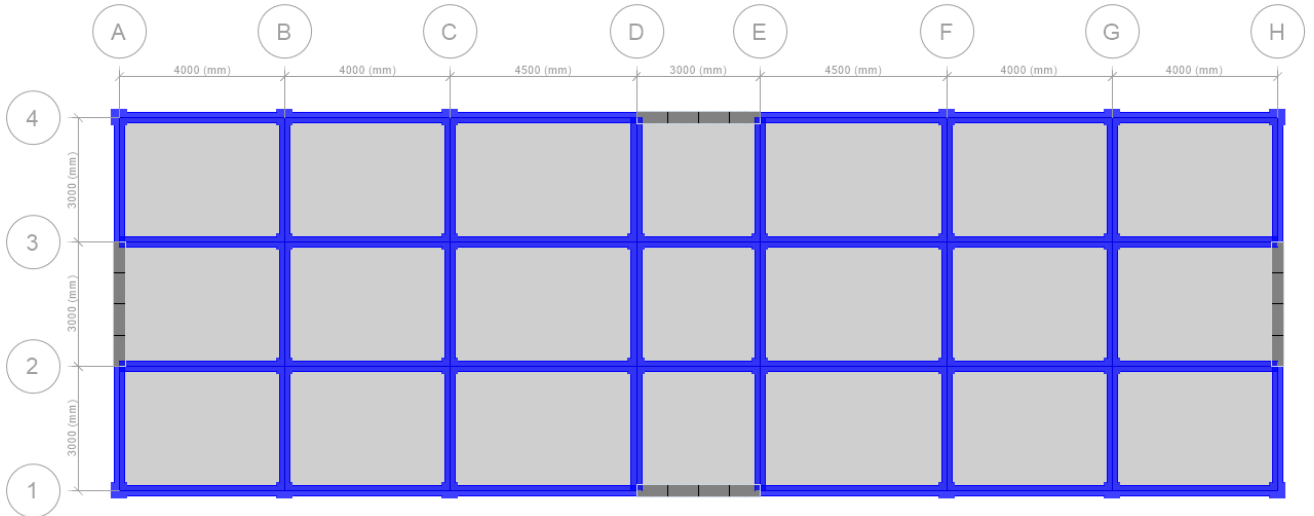
İstanbul/Kartal'da yapılması planlanan 3, 4 ve 5 katlı çerçeve + perde tipi betonarme konut binası yeni (TBDY-2019) ve eski (TDY-2007) deprem yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Doğrusal analiz yöntemi olan EDY ve MBY yöntemine göre numerik modellerin analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Toplam bina yükseklikleri seçilirken TDY-2007 ve TBDY-2019 için EDY yönteminin uygulanabileceği yükseklik sınırları göz önüne alınmıştır. ETABS v.18.1.1 yapı analiz programında tasarlanan modelde her bir kat yüksekliği 3.5 metre seçilmiştir. Plan geometrisi aynı olan yapıların kat alanı 252 m<sup>2</sup>'dir. Yapıda bulunan perde alanı/toplam kat alanı x ve y yönü için %0.158, %0.119 ve %0.0952 mertebesindedir.

Modellenen binalar TDY-2007 yönetmeliğine göre 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. TBDY-2019'da deprem bölgesi tanımı kaldırıldığından burada ilgili bölge için AFAD'ın interaktif web uygulaması kullanılarak elde edilen sonuç raporundan alınan etkin yer ivmesine göre hesaplar yapılmıştır. TDY-2007'deki zemin sınıfları, TBDY-2019'a göre Z1(ZA)'ya karşılık gelmektedir.

TBDY-2019'a göre hesaplarda taşıyıcı sistemde kullanılan kesitler ve çatlamış kesit rijitlik çarpanları Tablo 6'da verilmiştir. Kolon ve kiriş kesitleri 3, 4 ve 5 katlı her bir yapının her katında sabit ve aynı seçilmiştir. Seçilen düşey taşıyıcı elemanlar TS500'e göre artırılmış (1.4G+1.6Q) yükler altında yeterli en kesit boyutlarına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Binaların temelleri için ayrı bir kesit boyutu tanımlanmamış ve doğrudan ankastre mesnet olarak modellenmiştir. Planda yapı geometrisi aynı olan binalarda C25 sınıfı beton kullanılmıştır. Binanın taşıyıcı sistemi, deprem yüklerinin süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve + perdeler ile birlikte taşındığı sistem olarak dikkate alınmış olup taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R=7), dayanım fazlalığı katsayısı ise D=2.5 olarak dikkate alınmıştır. Kat planında düzensizliklerin olmaması için düzenli bir taşıyıcı eleman yerleşimi yapılmıştır (Şekil 3).

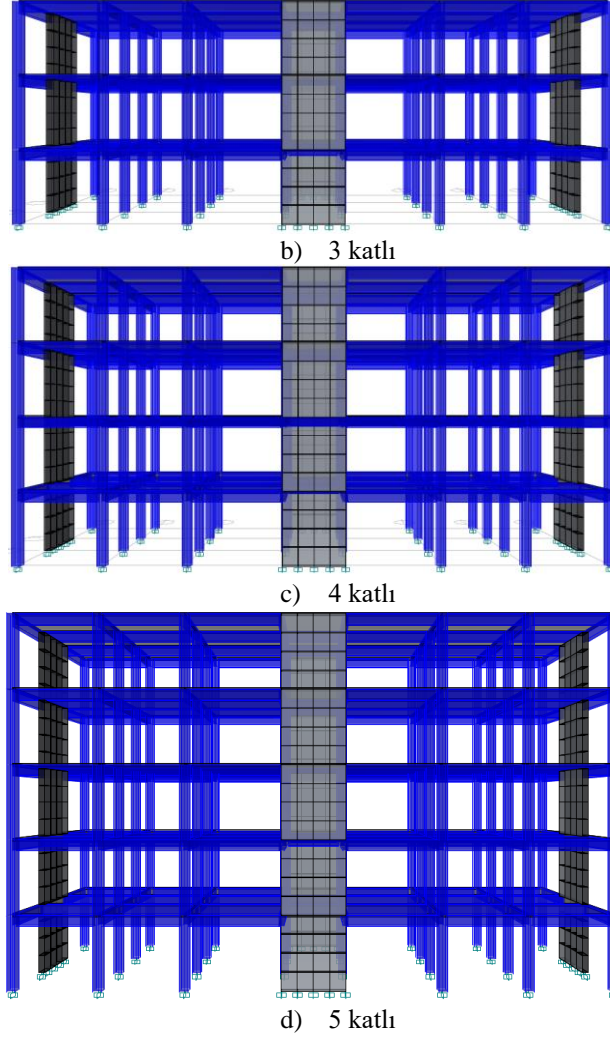
**Tablo 6.** Yapı elemanlarının boyutları

Kesit	Ebat	Çatlamış kesit rijitlik çarpanı
Kolon	300x300 mm	0.70
Perde	250x3000 mm	0.50
Kiriş	250x500 mm	0.35
Döşeme	120 mm	0.25



a) Kat planı





Şekil 3. ETABS yapı modeli kat planı ve 3D görünümü

Tasarımı yapılan binada yapı ağırlığına ilave olarak kaplama yükü+duvar yükü de döşemeye ilave edilerek  $g=3.5\text{kN/m}^2$ , hareketli yük  $q=2\text{kN/m}^2$ , kar yükü İstanbul/Kartal için son katta  $q_k=0.75\text{kN/m}^2$  olarak dikkate alınmıştır. Yapılan analizlerde dolgu duvarın çerçeveye bitişik olmadığı varsayımı yapılarak yalnızca zati ağırlık olarak hesaplara katılmıştır. Modellenen binaların her biri için TDY-2007 ve TBDY-2019’da dikkate alınan tasarım parametreleri, Tablo 7, Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 7. Hesap parametreleri

İstanbul (Kartal)					
	Enlem/Boylam: $40.904306^\circ / 29.211872^\circ$				
Yönetmelik	Zemin Tipi	$S_{DS}$	$S_{D1}$	$T_A$	$T_B$
TBDY-2019	ZA (sağlam sert kaya)	0.83	0.229	0.055	0.276
TDY-2007	Z1 (sağlam sert kaya)	$A_0$		$T_A$	$T_B$
		0.4		0.1	0.3

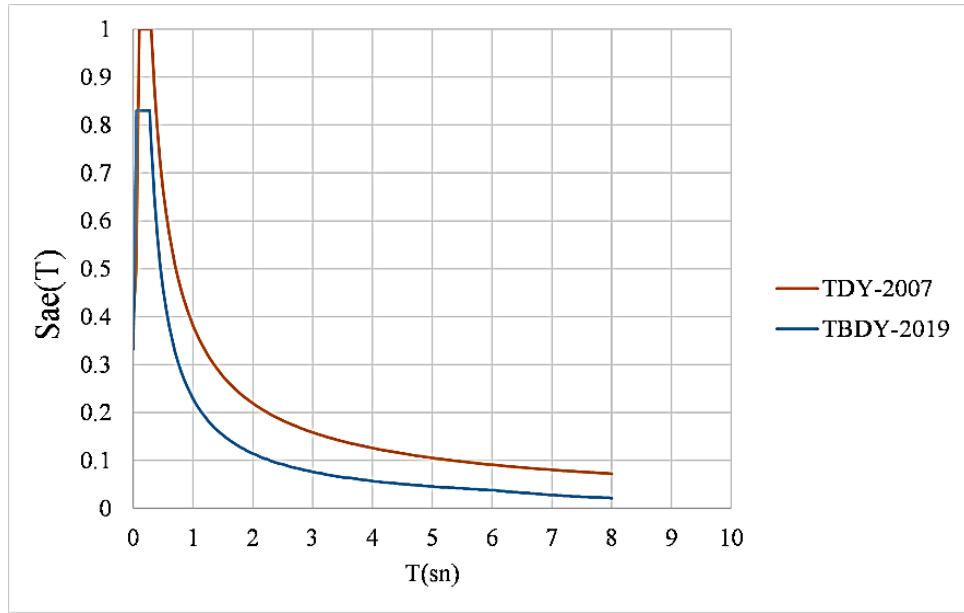
Tablo 8. TBDY-2019 ve TDY-2007 hesap parametreleri

TBDY-2019 Hesap parametreleri	
Deprem yer hareketi	DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareket düzey
Deprem tasarım sınıfı	DTS1 BYS6 ( $H_N=10.5\text{m}$ ) BYS7 ( $H_N=14\text{m}$ )
BYS	BYS7 ( $H_N=17.5\text{m}$ )

**Tablo 8 (devam).** TBDY-2019 ve TDY-2007 hesap parametreleri

<b>TBDY-2019 Hesap parametreleri</b>	
Bina önem katsayısı	I=1
BKS	BKS3
PGA	0.427g
<b>TDY-2007 Hesap parametreleri</b>	
Deprem yer hareketi	DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareket düzey
Kat Yüksekliği	3 katlı: $H_N=10.5m$ 5 katlı: $H_N=14m$ 7 katlı: $H_N=17.5m$
Bina Önem Katsayısı	I=1
PGA	0.4g

İstanbul/Kartal ilçesinin spektral ivme değerleri ve zemin hâkim periyotları TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre belirlenmiştir. TDY-2007'ye göre Kartal ilçesi 1. derece deprem bölgesinde yer aldığından ilgili yer için dikkate alınan etkin yer ivme katsayısı (0.4) ile spektrum katsayısı ( $S(T)=2.5$ ) çarpılarak ölçeklendirilmiştir. TBDY-2019 için ise Kartal ilçesine ait merkez koordinatlar dikkate alınarak AFAD kurumunun interaktif web uygulamasında yer alan deprem ivme haritaları kullanılmıştır. Her iki deprem yönetmeliğine göre ilgili bölgenin tasarım spektrum eğrisi DD2 deprem yer hareket düzeyi ve Z1(ZA) için Şekil 4'de gösterilmiştir.

**Şekil 4.** Kartal ilçesinin TDY-2007, TBDY-2019 için birleştirilmiş tasarım spektrum eğrileri

Farklı kat sayısına sahip (3, 4 ve 5 katlı) betonarme çerçeve + perdeli yapıdan oluşan konut binaları deprem tasarım parametreleri ve zemin tipine Z1(ZA)'ya göre TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre karşılaştırılmıştır. Yapılan tüm karşılaştırmalar şekil ve tablolar halinde sunulmuştur. Tablo 9'da TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre R katsayısı kontrolü yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 9.** Yapı Davranış Katsayısı (R) İle İlgili Kontrol

Kat Sayısı ve Yönü	<b>TDY-2007</b>	<b>TBDY-2019</b>
	Kesme kuvvetine göre bir kontrol yapılır ve gerekirse* R değiştirilir.	Devrilme momentine göre bir kontrol yapılır ve gerekirse** R değiştirilir.
3-X	6.69	
3-Y	6.67	İlgili şart yönetmelik sınırları içinde sağlandığı için R ile ilgili bir değişiklik yapılmamıştır.
4-X	6.73	
4-Y	6.71	
5-X	6.75	
5-Y	6.74	

\*: 2007 deprem yönetmeliğinde deprem etkin yönde perdelerin taban kesme kuvvetlerine oranla aldıkları pay ( $\alpha_s$ ) 0.75'in üzerinde ise 7 olarak seçilmiş yapı davranış katsayısının ( $10-4\alpha_s$ ) olarak değiştirilmesi gerektiği,

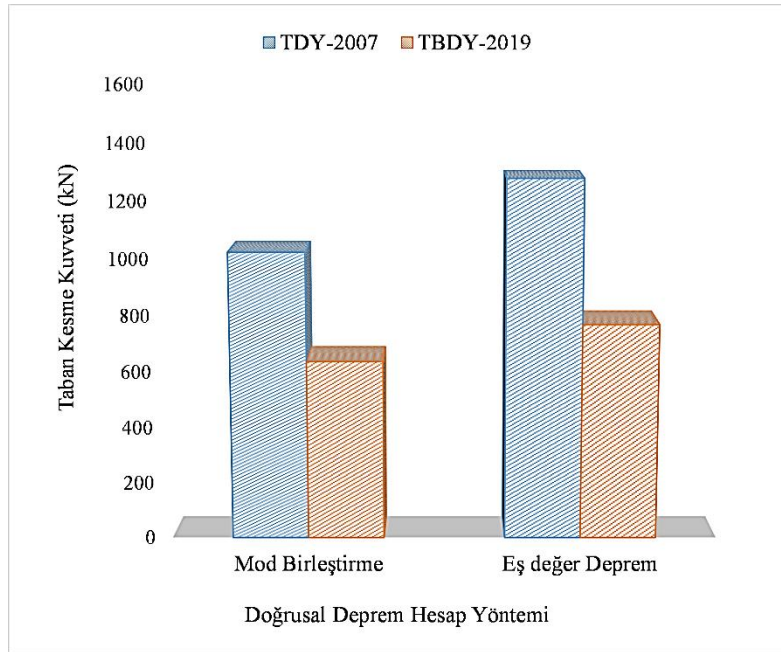
\*\* : 2019 deprem yönetmeliğinde deprem etkin yönde perdelerin herhangi birinde perde tabanında meydana gelen devrilme momenti ile binanın tabanında yatay yükler altında meydana gelen toplam devrilme momenti oranı 0.30'in üzerinde ise ( $M_{pDEV}/M_o > 0.30$ ) 7 olarak seçilmiş yapı davranış katsayısının %80'inin dikkate alınması gerektiği söylenmektedir.

Tablo 10'da her iki yönetmeliğe göre elde edilen her bir yapının hâkim doğal titreşim periyodu ve bina ağırlıkları verilmiştir. Her iki yönetmelik içinde kat ağırlığının artışı yapının 1. mod periyot değerlerinin artmasına yol açmıştır.

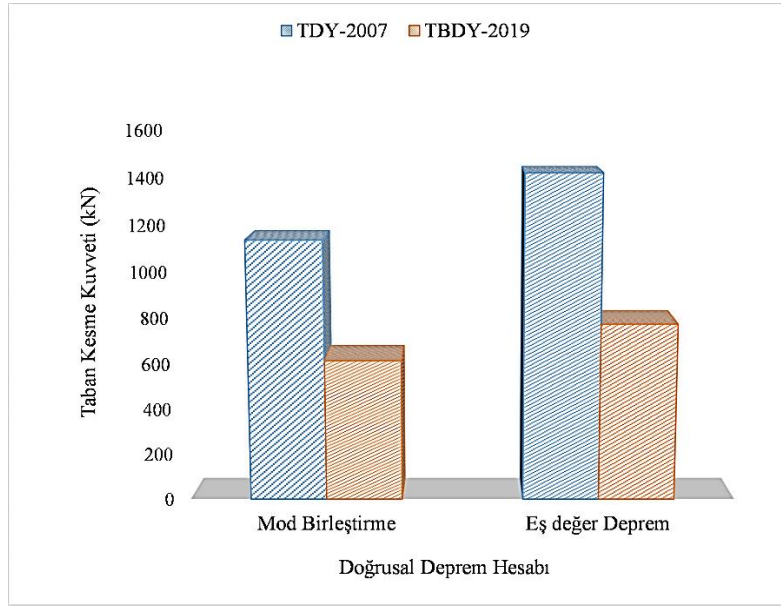
**Tablo 10.** TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre periyot karşılaştırması

Kat Sayısı	Bina Ağırlığı W=g+nq (kN)	Deprem Yönü	Doğal Titreşim Periyodu (sn)		TBDY-2019/TDY-2007 (X/Y)
			TDY-2007 Z1(X/Y)	TBDY-2019 ZA(X/Y)	
3 (10.5 m)	9120	X/Y	0.265/0.257	0.381/0.367	1.44/1.43
4 (14 m)	12260	X/Y	0.380/0.368	0.549/0.526	1.44/1.43
5 (17.5 m)	15400	X/Y	0.499/0.485	0.725/0.694	1.45/1.43

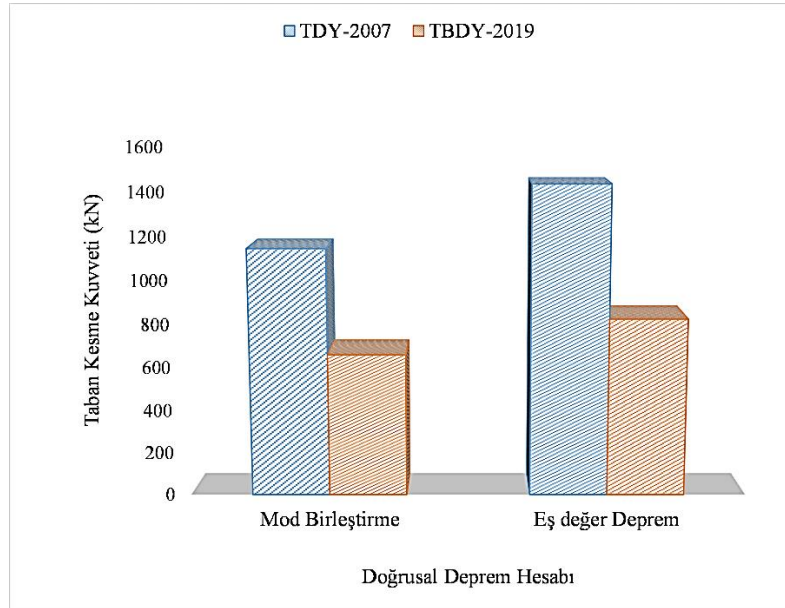
Tablo 10'de görüldüğü üzere, TBDY-2019'da etkin kesit rijitlik çarpanlarının hesaba dâhil edilmesinden dolayı bina periyodunun TDY-2007'ye göre %45 mertebesinde arttığı görülmektedir. Ayrıca TDY-2007'de spektrum eğrisi köşe periyotları deprem bölgesine bağlı olarak sabit değerler alırken, TBDY-2019 yönetmeliği ile hem zemin sınıfına hem de yapının bulunduğu bölgedeki spektral ivme katsayısına göre belirlenmektedir. Her bir konut binasının x yönü dikkate alınarak EDY ve MBY yöntemlerine göre karşılaştırılan modellerin taban kesme kuvveti sonuçları Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7'de, x ve y yönü için numerik sonuçlar ise Tablo 11'de verilmiştir. Her iki deprem yönü için MBY/EDY oranı hesaplanarak düzenli binalar için olması önerilen 0.8 katsayısı ile kıyas edilmiştir.



**Şekil 5.** 3 katlı konut binasının x yönü taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



Şekil 6. 4 katlı konut binasının x yönü taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



Şekil 7. 5 katlı konut binasının x yönü taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Tablo 11. TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre bina analiz sonuçları

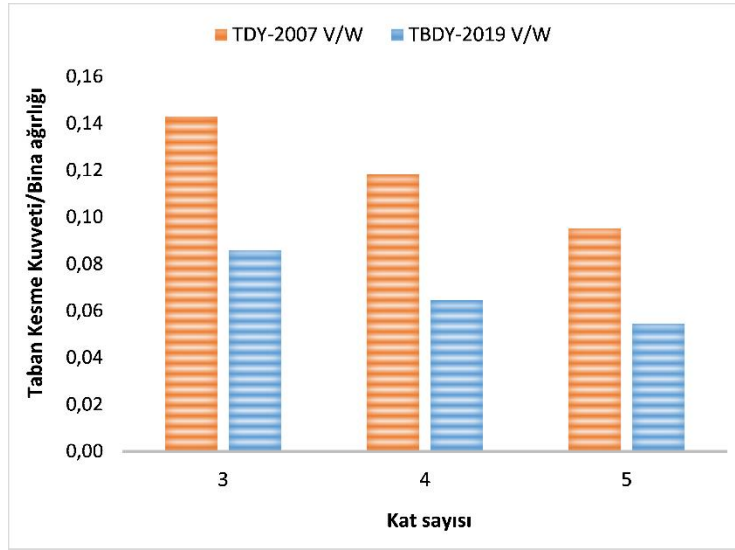
Yönetmelik	Taban Kesme Kuvvetleri (kN)-3 katlı bina						Sınır değer MBY/EDY*
	MBY		EDY		MBY/EDY		
	$V_{EX}$	$V_{EY}$	$V_{EX}$	$V_{EY}$	$V_{EX}$	$V_{EY}$	
TDY-2007	997	994	1246	1243	0.80	0.80	> 0.80
TBDY-2019	650	679	784	813	0.82	0.83	> 0.80
Yönetmelik	Taban Kesme Kuvvetleri (kN)-4 katlı bina						Sınır değer MBY/EDY*
	MBY		EDY		MBY/EDY		
	$V_{EX}$	$V_{EY}$	$V_{EX}$	$V_{EY}$	$V_{EX}$	$V_{EY}$	
TDY-2007	1115	1145	1394	1427	0.80	0.80	> 0.80
TBDY-2019	629	655	791	791	0.80	0.83	> 0.80

**Tablo 11 (devam).** TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre bina analiz sonuçları

Taban Kesme Kuvvetleri (kN)-5 katlı bina							
Yönetmelik	MBY		EDY		MBY/EDY		Sınır değer MBY/EDY
	V <sub>EX</sub>	V <sub>EY</sub>	V <sub>EX</sub>	V <sub>EY</sub>	V <sub>EX</sub>	V <sub>EY</sub>	
TDY-2007	1128	1154	1413	1442	0.80	0.80	> 0.80
TBDY-2019	672	672	840	840	0.8	0.8	> 0.80

\* MBY/EDY oranı düzenli yapılar için yönetmelikler gereği minimum 0.8 olmalıdır.

Her iki yönetmeliğe göre de yapının ağırlığının artması taban kesme kuvvetlerinin artışına yol açmıştır (Şekil 8). Ancak TBDY-2019'dan elde edilen taban kesme kuvveti değerleri TDY-2007'ye göre daha az elde edilmiştir. Bu durum TBDY-2019'da son katta dikkate alınan ilave kar yükünün bina ağırlığını artırması ve çatlamış kesit rijitliklerinin dikkate alınması ile taban kesme kuvvetinin azalmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 8.** TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre taban kesme kuvvetinin bina ağırlığına göre değişimi

Betonarme konut yapılarının her birinin yeterli rijitliğe sahip olup olmadıklarının anlaşılması için her iki yönetmeliğe göre x ve y yönünde görel kat ötelemesi kontrolü yapılmış Tablo 13'de yalnızca x yönündeki sonuçlar Ex yüklemesi altında hesaplanarak verilmiştir. Yapılan kontroller neticesinde her iki yönetmelik içinde seçilen boyutların rijitlik açısından yeterli olduğu görülmüştür.

**Tablo 12.** Görel kat ötelemelerin karşılaştırılması

Kat No		TBDY-2019*	TDY2007**
		$\lambda * \frac{\delta_{i,max}^x}{h_i}$	$\frac{\delta_{i,max}^x}{h_i}$
3 katlı	1.kat	0.000246	0.00015
	2. kat	0.000461	0.00028
	3.kat	0.000492	0.00030
4 katlı	1.kat	0.000328	0.00028
	2.kat	0.000651	0.00055
	3.kat	0.000735	0.00061
	4.kat	0.000691	0.00056
5 katlı	1.kat	0.000369	0.00030
	2.kat	0.000757	0.00060
	3.kat	0.00088	0.00070
	4.kat	0.000871	0.00067
	5.kat	0.000782	0.00061

\*: Sınır değer <0.016

\*\* : Sınır değer <0.02

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada İstanbul/Kartal bölgesi içinde yapılması düşünülen bir binanın TDY-2007 ve TBDY-2019 yönetmeliklerine göre deprem kuvvetleri ve buna bağlı parametreler elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. TBDY-2019 için analizlerde zemin sınıfı ZA, deprem tasarım sınıfı ise I (DTS1) olarak seçilirken TDY-2007'ye göre analizlerde benzer şekilde zemin sınıfı Z1 ve deprem bölgesi 1. derece olarak alınmıştır. Analizler farklı kat sayısına sahip betonarme çerçeve + perde taşıyıcı sistemli yapılar için EDY ve MBY'ye göre gerçekleştirilmiştir.

Yapılan karşılaştırmalar doğal titreşim periyodu, görel kat ötelemesi ve taban kesme kuvveti açısından yapılmıştır. Özellikle TBDY-2019 yönetmeliği ile daha kapsamlı bir hal alan yeni deprem yönetmeliğinin getirdiği yenilikler vurgulanmaya çalışılmıştır. Ayrıca etkin kesit rijitliklerinin TBDY-2019'da olmasının sonuçları ne ölçüde değiştirdiği sunulmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmada betonarme çerçeve + perdeli sistemde kullanılan kolon ve kiriş ebatlarının kesit tesirleri ve deplasman kontrolleri açısından yeterli olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- TDY-2007 ile karşılaştırıldığında üç farklı bina yüksekliğine sahip modellerin tamamında 1. doğal titreşim periyod değerleri TBDY-2019'da her iki deprem yönü için de %42-45 oranında daha fazla çıkmıştır. Yapılara gelen deprem kuvvetinin hesabında periyodun önemi TBDY-2019 yönetmeliğinde daha dikkat çekici olacaktır.
- Ele alınan 3,4 ve 5 katlı bina için deprem kuvveti bina ağırlığı oranında artmaktadır. Yapılan analizler ile kat sayısı arttıkça yapıya gelen deprem kuvvetinin arttığı açıkça görülmektedir. Ayrıca bu durum yapı ağırlığının artması ile yapı periyodunun arttığını da göstermektedir. Ancak mevcut literatür incelendiğinde, kat yüksekliği artarak devam eden farklı yapıların statik analizleri sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin farklı zemin sınıfında lineer olarak devam etmediği anlaşılmaktadır Ünsal, Öncel ve diğ. (2020).
- TDY-2007 ve TBDY-2019'a göre 3, 4 ve 5 katlı binaların analizlerinde MBY'ye göre hesaplanan taban kesme kuvveti değeri, EDY'ye göre hesaplanan değerden %20 oranında daha az elde edilmiştir. Bu durum her iki yönetmelik için düzenli binalarda MBY ve EDY karşılaştırması için verilen 0.8 katsayısı dikkate alınarak tespit edilmiştir.
- EDY yöntemi MBY yöntemine göre daha güvenli tarafta kalacak şekilde sonuçlar vermektedir. Ancak daha ekonomik çözümlerin elde edilmesi istenildiğinde MBY yönteminin her durumda tercih edilmesi uygun olacaktır.
- Binaların her iki yöndeki EDY'den elde edilen taban kesme kuvvetleri 3-4-5 katlı yapılar için X ve Y yönü için sırasıyla %40-%43 ve %39-47 oranında TBDY-2019'da daha az sonuç vermesiyle sonuçlanmıştır. Mod birleştirme yönteminde ise bu oran sırasıyla %38-46 ve %35-45 şeklindedir. Görüldüğü üzere TBDY-2019 yönetmeliği ile elde edilen taban kesme kuvvetleri TDY-2007'ye göre ciddi mana da azalmaktadır. Bu durum TBDY-2019 yönetmeliğindeki çatlamış kesit rijitliğinin kullanılmasından dolayı sistem periyodunun artmasına ve taban kesme kuvvetlerinin azalmasına yol açmasıyla açıklanabilir.
- Üç farklı kat yüksekliğine sahip konut yapısı için elde edilen görel kat öteleme değerleri sınır değerlerin altında kalmıştır. Bu durum yapıların yatay yükler altında yeterli rijitliğe sahip olduğunun göstergesidir. Üç farklı yapıda bulunan perde miktarı sistemin yanal rijitliği için oldukça etkili olmuştur.

Bu çalışmada yapılan karşılaştırmalar düzensizlik içermeyen çerçeve + perdeli yapılar için yapılmıştır. Yapıdaki taşıyıcı sistem düzensizliklerine bağlı olarak elde edilen sonuçlar değişebileceği, betonarme çerçeve + perdeli binalar için yapılan bu karşılaştırmaların, ileriki çalışmalarda farklı zemin sınıfı ve kat yüksekliğine göre de yapılması faydalı olacaktır. Ayrıca kat sayısının, katlardaki perde yerleşiminin, perde miktarının ve zemin sınıfının değişimine bağlı olarak sonuçların da değişmesi oldukça doğaldır. Burada önemli olan iki yönetmeliğin deprem kuvveti hesap ve kontrol açısından temel farklılıklarının ortaya konması olmuştur.

#### Referanslar

Aksoylu, C. and M. H. Arslan (2019). "Çerçeve Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının Farklı Ampirik Bağıntılara Göre İrdelenmesi." Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 8(2): 569-581.

Aksoylu, C. and M. H. Arslan (2019). "Çerçeve+ Perde Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının TBDY-2019 Yönetmeliğine Göre Ampirik Olarak Değerlendirilmesi." Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering 24(3): 365-382.

Aksoylu, C., A. Mobark, M. Hakan Arslan and İ. Hakkı Erkan (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.

Alyamaç, K. E. and A. S. Erdogan (2005). Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları. Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

- Arslan, M. H. and İ. H. Erkan (2011). "Betonarme Binaların Deprem Yükü Azaltma Katsayısı Üzerine Yeni Bir Bakış." Engineering Sciences 6(4): 1486-1497.
- ASCE7-16 (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures Seismic Design Requirements for Building Structures Structural Engineering Institute: 89-121.
- Asığçel, Z. (2019). Betonarme binalarda deprem etkisinin DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması, Dicle Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- Balıkçı, İ. (2019). Mevcut binaların deprem performanslarının 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Başaran, V. (2018). "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY2019) Göre Afyonkarahisar İçin Deprem Yüklerinin Değerlendirilmesi." Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 18(3): 1028-1035.
- Başaran, V. and M. Hiçyılmaz (2020). "Betonarme Çerçevelerde Farklı Deprem Yer Hareketi Düzeyi Etkilerinin İncelenmesi." Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology 2(1): 27-41.
- Bayrak, O. F., M. Bıkçe, M. M. Erdem and E. Emsen (2020). "Dolgu Duvarların Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışına Esnek Derzli Bağlantı Elemanının Etkisi." Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 3(1): 24-28.
- Bıkçe, M. and O. F. Bayrak (2018). "Analyzing the Effect of Infill Walls on a RC Structure." Disaster Science and Engineering 4(1): 32-39.
- Bozer, A. (2020). "Betonarme Perdelerin Plandaki Yerleşimlerinin Kirişsiz Döşemeli Yapılara Etkisinin İncelenmesi." Teknik Dergi 31(1).
- Bozer, A. (2020). "Tasarım Spektral İvme Katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırması." Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 11(1): 393-404.
- Börekçi, M. (2019). "Dolgu duvarlı betonarme binaların hakim periyodunun doğrudan formüller ile elde edilmesi.", Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(2):161-178.
- Çavdar, Ö., G. Ç. K. Sunca and F. Sunca (2018). "Betonarme Binaların Deprem Performanslarına Dolgu Duvarların Etkisinin İncelenmesi." Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering 25(1): 465-484.
- Çavdar, Ö. and A. Yolcu (2018). "Mevcut Bir Okul Binasının Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Yapısal Düzensizliklerinin İncelenmesi." Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 8(2): 153-164.
- Dalyan, İ. and B. Şahin (2019). "Mevcut Betonarme Bir Binanın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Deprem Yükleri Altındaki Taşıyıcı Sistem Performansının Değerlendirilmesi." Türk Deprem Araştırma Dergisi 1(2): 134-147.
- Demir, A. and A. Kayhan (2017). "Deprem Yönetmeliği 2007 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile Uyumlu Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması, 4." Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.
- Eldemir, O. (2019). DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinin mevcut yapıların sismik davranış özellikleri açısından karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erdem, M. M. and M. Bıkçe (2017). "Maksimum Azaltılmış Görelî Kat Ötelemelerinin Güncel (DBYBHY2007) ve Yeni Yönetmelik Taslağına (TBDY2016) Göre Mukayesesi." Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 32(2): 253-262.
- Erdem, N. (2019). Effects of changes in locations of fault zones on property values. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer, Thomas Telford Ltd.
- Güngör, K. (2019). Orta yükseklikteki betonarme binaların doğal titreşim periyotlarının arazi çalışmaları ile belirlenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Isik, E., Aydın, M. C., & Buyuksarac, A. (2020). 24 January 2020 Sivrice (Elazığ) earthquake damages and determination of earthquake parameters in the region. Earthquakes and Structures, 19(2), 145-156.

- Kap, T., E. Özgan and M. mevlüt Uzunoğlu (2019). "Betonarme Bir Okul Binasının 2018 Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi." Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(3): 1140-1150.
- Keskin, E. and K. B. Bozdoğan (2018). "2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi." Kırklareli University Journal of Engineering and Science 4(1): 74-90.
- Korkmaz, M. (2020). "Analysis of an Educational Building According to TEC2007 and TEC2018." Sciennovation 1(2): 43-50.
- Mahmoud, e. H. A. (2018). Çelik çerçeve binalarda doğrusal hesap yöntemlerinin TDY-2007, EC8, ASCE 7/16 ve TBDY-2018 deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Mete, Ö. (2019). Deprem yönetmeliklerinde duvar etkisinin incelenmesi, Dicle Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- Nemutlu, Ö. and A. Sarı (2019). 2018 Yeni Türk Deprem Yönetmeliği İle Amerikan Deprem Yönetmeliklerinin Deprem Hesapları Açısından Karşılaştırılması. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara.
- Nemutlu, Ö. F. and A. Sarı (2018). Comparison of Turkish Earthquake Code in 2007 With Turkish Earthquake Code in 2018. International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2018), Diyarbakır.
- Newmark, N. M. and W. J. Hall (1982). "Earthquake spectra and design", Engineering monographs on earthquake criteria.
- Othman, M. K. (2017). Çok katlı betonarme yapılarda perdelerin planda yerleşiminin ve perdelerdeki boşlukların deprem davranışına etkisi, Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Öztürk, M. (2018). "2018 Türkiye bina deprem yönetmeliği ve Türkiye deprem tehlike haritası ile ilgili İç Anadolu Bölgesi bazında bir değerlendirme." Selçuk-Teknik Dergisi 17(2): 31-42.
- Öztürk, M., E. Selekoğlu and T. Baran (2019). Eşdeğer deprem yükü yöntemi bakımından TBDY-2019 ile DBYBHY-2007 kıyaslaması, International Conference on Innovation, Sustainability, Technology.
- Seyrek, E. (2020). "Yeni Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Ege Bölgesi İçin Değerlendirilmesi." Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 9(1): 414-423.
- Sümer, Y. and M. Hamsici (2020). "Çok Katlı Betonarme Binalarda 2018 Deprem Yönetmeliği İle Tanımlanan Spektrum Eğrilerinin Etkisi." Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 8(2): 349-354.
- TBDY (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar. Ankara: 1-416.
- TDY-2007 (2007). "Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik." TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi.
- Topçu, S. (2019). Betonarme yüksek bir binanın türkiye bina deprem yönetmeliği'ne göre tasarımının irdelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- TS500 (2000). Turkish Building Code. Ankara.
- Tunç, G. and T. Tanfener (2007). "ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi, 3." Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişilebilirlik Konferansı: 24-26.
- Ulutaş, H. (2019). "DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması." Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(17): 351-359.
- Ünsal, İ., Öncel, F.A. and F. Şahan (2020). "TDY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Yapı Yüksekliğinin Taban Kesme Kuvveti Ve Tepe Deplasmanı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi." Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 8(4): 930-942.
- Yaman, S., H. Tekeli and F. Demir (2019). "Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi." Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(16): 194-204.