



## Evaluation of The Structural System Performance of an Existing Reinforced Concrete Building Under Earthquake Loads According to the 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes

Ilknur Dalyan<sup>1</sup> and Baris Sahin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), Presidential of Earthquake Department, Cankaya 06800, Ankara

<sup>2</sup> AES Design Engineering&Consultancy Ltd., Kadıköy 34740 İstanbul

ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0002-6469-625X

### Keywords

Evaluation of Structural System Performance, Non-linear Methods, Incremental Modal Superposition Method, Existing Reinforced Concrete Residential Structure, Effective Cross Section-Stiffness

### Highlights

- \* Evaluation of the structural performance of existing buildings under earthquake effects
- \* Earthquake evaluation with non-linear methods
- \* Differences in performance evaluation between TBDY-2018 and DBYBHY-2007

### Acknowledgements

--

### Aim

Performance analysis of the structural system under earthquake loads by using non-linear incremental pushover analysis method of an existing reinforced concrete structure according to both DBYBHY-2007 and TBDY-2018 and comparison of results

### Location

Turkey

### Methods

Non-linear analysis method is used

### Results

Although there is a greater demand for displacement in TBDY-2018, the deformation limits are much smaller than DBYBHY-2007. The damage zone differences between the two building codes are due to the difference in the limits of deformation.

### Supporting Institutions

--

### How to cite

Dalyan I., Sahin B., 2019. Evaluation of The Structural System Performance of an Existing Reinforced Concrete Building Under Earthquake Loads According to the 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes, Turk. J. Earthq. Res. 1 (2), 134-147

### Manuscript

Research Article

Received: 11.10.2019

Revised: 21.11.2019

Accepted: 22.11.2019

Printed: 30.12.2019

### DOI

doi.

### Corresponding Author

Ilknur Dalyan

Email: ilknur.dalyan@afad.gov.tr

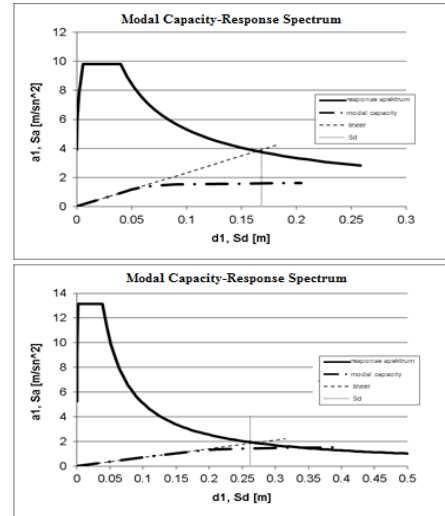


Figure  
Calculation of pushover value for DBYBHY-2007 and  
TBDY-2018



## Mevcut Betonarme Bir Binanın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Deprem Yükleri Altındaki Taşıyıcı Sistem Performansının Değerlendirilmesi

İlknur Dalyan<sup>1</sup> and Barış Şahin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Deprem Dairesi Başkanlığı, Çankaya 06800, Ankara

<sup>2</sup> AES Dizayn Mühendislik&Danışmanlık Şti., Kadıköy 34740 İstanbul  
ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0002-6469-625X

### ÖZET

Son yıllarda, mevcut binaların deprem etkisi altındaki taşıyıcı sistem performanslarının belirlenmesi için kuvvet esaslı yöntemlerin yerine, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme esaslı doğrusal olmayan yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY-2007) mevcut binaların performanslarının belirlenmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerine yer verilmiştir. TBDY-2018'de doğrusal olmayan hesap için önerilen yöntemler, Tek Modlu İtme Yöntemi, Çok Modlu İtme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında hesap yöntemidir. DBYBHY-2007'de doğrusal olmayan hesap için önerilen yöntemler, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında hesap yöntemidir. TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 arasındaki en büyük fark, betonarme kesitlerin etkin kesit rijitlikleri ve hasar sınırı tarifleridir. Bu çalışmada, mevcut 5 katlı betonarme konut yapısının DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizi yöntemiyle deprem yükleri altında bina taşıyıcı sisteminin performans analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak irdelenmiştir.

### Anahtar kelimeler

Taşıyıcı Sistem Performans Değerlendirmesi, Doğrusal Olmayan Değerlendirme Yöntemleri, Artımsal İtme Analizi Yöntemi, Mevcut Betonarme Konut Yapısı, Etkin Kesit Rijitliği

### Öne Çıkanlar

- \* Deprem etkisi altında mevcut binaların taşıyıcı sistem performanslarının belirlenmesi
- \* Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile performans analizi
- \* TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 arasındaki performans değerlendirme farkları

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 11.10.2019

Düzeltilme: 21.11.2019

Kabul: 22.11.2019

Basım: 30.12.2019

### DOI

doi.

### Sorumlu yazar

İlknur Dalyan

Eposta:

ilknur.dalyan@afad.gov.tr

## Evaluation of The Structural System Performance of an Existing Reinforced Concrete Building Under Earthquake Loads According to the 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes

İlknur Dalyan<sup>1</sup> and Baris Sahin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), Presidential of Earthquake Department, Cankaya 06800, Ankara

<sup>2</sup> AES Design Engineering&Consultancy Ltd., Kadikoy 34740 İstanbul  
ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0002-6469-625X

### ABSTRACT

In recent years, in order to determine the structural performance of existing buildings under earthquake effect, instead of force-based methods, non-linear methods based on the change of deformation and displacement have been started. Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018) and Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones (DBYBHY-2007), both proposes linear and non-linear calculation methods in order to determine performances of existing buildings. Non-linear analysis methods proposed by TBDY-2018 are; Single Mode Pushover, Multi-mode Pushover and Time History analysis. Non-linear analysis methods proposed by DBYBHY-2007 are; Incremental Equivalent Earthquake Load Method, Incremental Modal Superposition Method and Non-linear Time History analysis. The major difference between TBDY-2018 and DBYBHY-2007 is the description of the effective cross section stiffness and damage limits of reinforced concrete sections. In this study, the performance analysis of the structural system under earthquake loads by using non-linear incremental pushover analysis according to DBYBHY-2007 and TBDY-2018 have been performed for existing five storey reinforced concrete residential structure and results have comparatively been discussed.

### Keywords

Evaluation of Structural System Performance, Non-linear Methods, Incremental Modal Superposition Method, Existing Reinforced Concrete Residential Structure, Effective Cross Section-Stiffness

### Highlights

- \* Evaluation of the structural performance of existing buildings under earthquake effects
- \* Earthquake evaluation with non-linear methods
- \* Differences in performance evaluation between TBDY-2018 and DBYBHY-2007

### Manuscript

Research Article

Received: 11.10.2019

Revised: 21.11.2019

Accepted: 22.11.2019

Printed: 30.12.2019

### DOI

doi.

### Corresponding Author

İlknur Dalyan

Email:

ilknur.dalyan@afad.gov.tr

## 1. GİRİŞ

Şekil değiştirmeye dayalı tasarımlar mevcut yapıların taşıyıcı sisteminin deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiş olmasına rağmen yeni yapılacak yapıların tasarlanmasına olanak sağlamaktadır (Celep 2018). Ülkemizdeki deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve/veya güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, ilk defa 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY-2007) verilmiştir (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2007). Söz konusu yönetmelik deprem mühendisliğindeki gelişmeler neticesinde güncelleştirilmiş ve 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) yürürlüğe girmiştir (AFAD 2018a). Her iki deprem yönetmeliğinde de deprem etkisi altındaki mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri verilmiştir. TBDY-2018'de şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) için hesap ve değerlendirme esasları verilmiştir. Ayrıca kullanım amacına göre yeni ve/veya mevcut binaların performans esasları da belirtilmiştir (AFAD 2018a).

Yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin temelini oluşturan, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye dayalı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir (Şahin 2010).

TBDY-2018'de mevcut betonarme binaların deprem etkisi altındaki performanslarının belirlenmesinde, bina yükseklik sınıfı (BYS), bina kullanım sınıfı (BKS) ve binanın deprem tasarım sınıfı (DTS) göz önünde bulundurularak şekildeğiştirmeye göre değerlendirme yaklaşımı önerilmektedir. ŞGDT yaklaşımında doğrusal olmayan davranış modelleri ve hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri tek modlu itme, çok modlu itme ve zaman tanım alanında hesap yöntemleridir (AFAD 2018a).

Literatürde; mevcut binaların DBYBHY-2007 ve TBDY- 2018'e göre deprem performanslarının değerlendirilmesini konu alan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Demir ve Kayhan (2017), çalışmalarında DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre elde edilen ivme kayıt setlerini kullanarak; farklı yatay dayanım oranı ve titreşim periyoduna sahip tek serbestlik dereceli sistemlerde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Keskin ve Bozdoğan (2018), çalışmalarında TBDY-2018'de yer alan kuralları dikkate alarak Kırklareli İlinde bulunan iki farklı zemin sınıfı için Yatay Elastik Tasarım Spektrumları elde etmişler ve bu spektrum değerlerini DBYBHY-2007'deki Elastik Tasarım Spektrumları ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca, farklı zemin sınıfları kullanarak 4 katlı bir binanın deprem performansını her iki yönetmeliğe göre analiz edip sonuçları karşılaştırmışlardır.

Kefeli ve diğ. (2018), yaptıkları çalışmada planda düzensizlik içeren 5 ve 7 katlı betonarme binanın deprem performanslarını TBDY-2018'e göre incelemişlerdir. Deprem performans değerlendirmesi için sabit tek modlu itme yöntemini kullanmışlardır. Sonuçları DBYBHY-

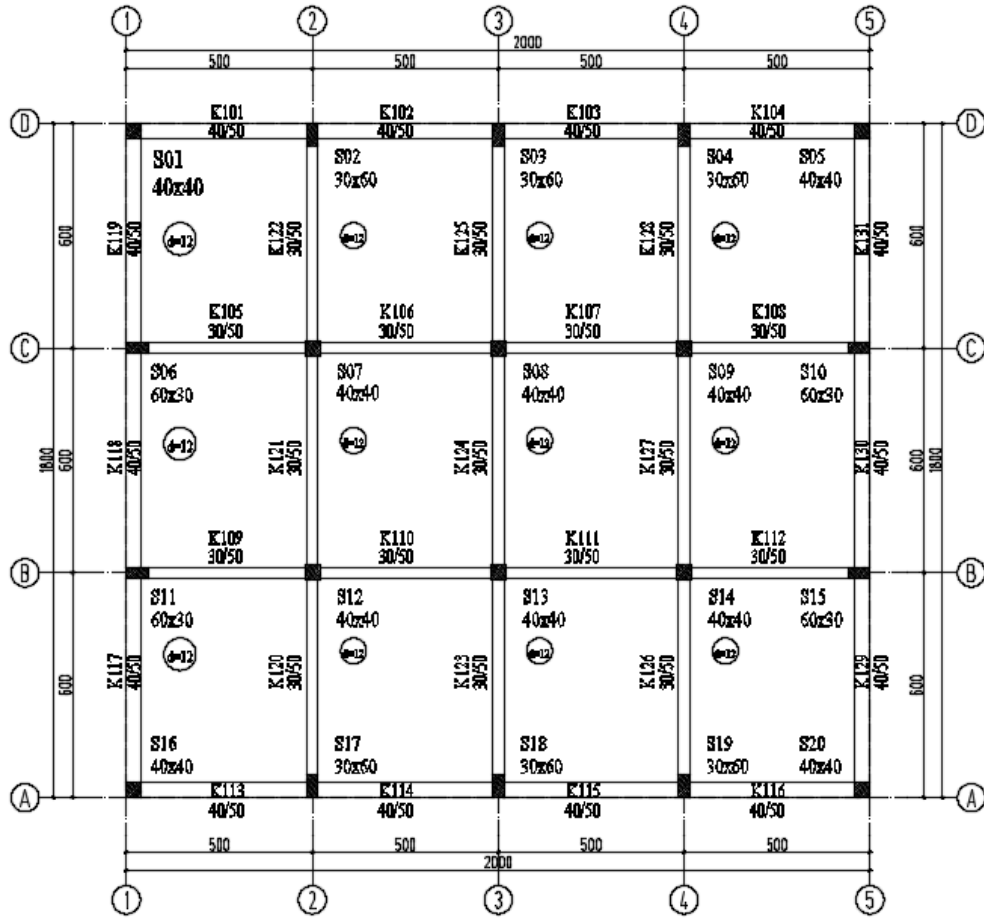
2007'deki kurallara göre elde ettikleri deprem performans sonuçları ile karşılaştırarak irdelenmişlerdir.

Bu çalışmada, mevcut 5 katlı betonarme konut yapısının DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre bina performans analizi yapılarak sonuçların irdelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1) Bina Bilgisi

İncelenen mevcut bina 5 katlı betonarme taşıyıcı sisteme sahip konut binasıdır. Zemin ve 4 normal kattan oluşan mevcut binanın kat yüksekliği 3 m olup toplam yüksekliği 15 m'dir. Kolon elemanlar 40x40 cm, 30x60 cm ve 60x30 cm boyutlarındadır. Binanın kiriş elemanları 40x50cm ve 30x50 cm boyutlarındadır. Döşeme sistemi ise 12 cm kalınlığında plak döşemedir. Mevcut binanın kalıp planı Şekil 1'de verilmiştir. Kolon ve kiriş kesitlerine ait boyut ve donatı bilgileri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1: Mevcut betonarme bina kat kalıp planı

Tablo 1: Kolon boyutları ve donatıları

Kesit Boyutu	Donatı Oranı( $\rho$ )	Enine Donatı
40/40	0.01	$\phi$ 10/100
30/60	0.01	$\phi$ 10/100
60/30	0.01	$\phi$ 10/100

Tablo 2: Kiriş boyutları ve donatıları

Kesit Boyutu	Üst Donatı	Alt Donatı	Enine Donatı
30/50	2 $\phi$ 20+3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 20	$\phi$ 10/100
40/50	2 $\phi$ 20+3 $\phi$ 16	3 $\phi$ 20	$\phi$ 10/100

Mevcut yapıya ait beton ve çelik karakteristik dayanımları sırasıyla 30 ve 420 MPa'dır. Mevcut yapı zemininin ortalama 30 m zemin kayma dalga hızı ( $V_{s30}$ ) 500 m/s olarak kabul edilmiştir. Zemin sınıfı TBDY-2018'e göre ZC'dir. Mevcut betonarme binanın; bina kullanım sınıfı (BKS=3), deprem tasarım sınıfı (DTS=1) ve bina yükseklik sınıfı (BYS=6) olarak TBDY-2018'den alınmıştır.

TBDY-2018'e göre; DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde) yer hareketi düzeyi için deprem tasarım sınıflarına göre mevcut yerinde dökme betonarme binalar için performans hedefleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: TBDY-2018 Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları (AFAD 2018a)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

DBYBHY 2007'ye göre mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 4'te verilmiştir.

Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak mevcut binanın bulunduğu bölgenin spektral ivme katsayıları ( $S_s=1.117$ ;  $S_1=0.304$ ) ve zemin sınıfı (ZC) dikkate alınarak ve DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için hedef spektrumu oluşturulmuştur.

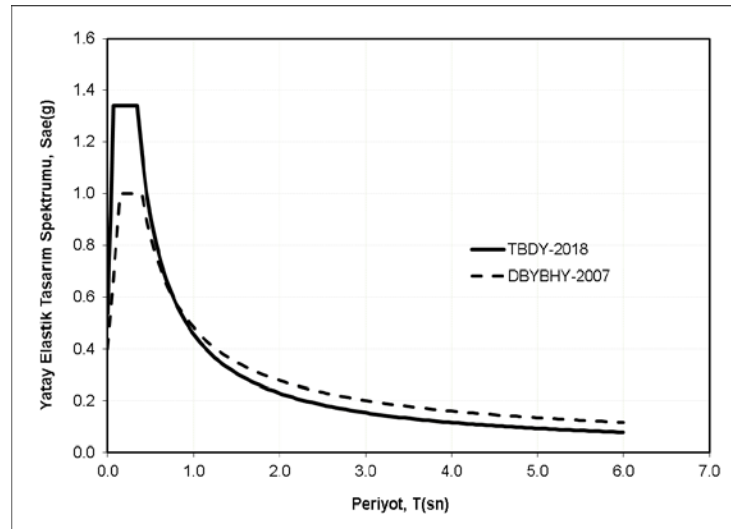
Tablo 4: DBYBHY 2007 Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2007)

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
<b>Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar:</b> Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
<b>İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
<b>İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar:</b> Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
<b>Tehlikeli Madde İçeren Binalar:</b> Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
<b>Diğer Binalar:</b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

HK: Hemen Kullanım; CG: Can Güvenliği; GÖ: Göçme Öncesi

DBYBHY 2007 zemin gruplarına göre  $V_{s30}=500\text{m/s}$  olan zemin Z2 yerel zemin sınıfına dâhil olmaktadır. Yerel zemin sınıfı Z2 için  $T_A$  ve  $T_B$  spektrum karakteristik periyot değerleri sırasıyla 0.15 ve 0.40 saniye olarak verilmiştir. Hedef spektrumu DBYBHY-2007 madde 2.4.3.1'e uygun olarak dikkate alınmıştır.

DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Z2 zemin sınıfı için DBYBHY-2007 ile ZC zemin sınıfı TBDY-2018 tasarım spektrumları Şekil 2'de verilmiştir.



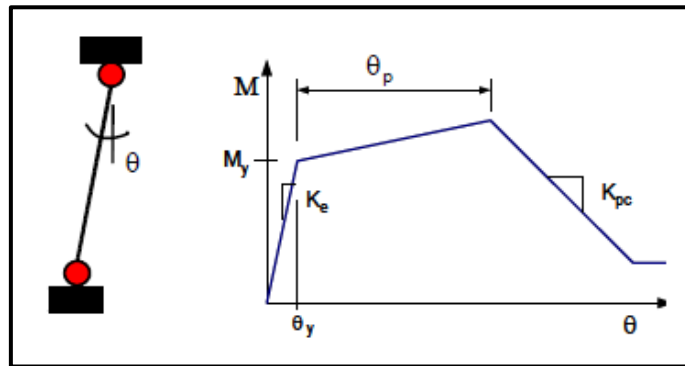
Şekil 2: Z2 zemin sınıfı DBYBHY-2007 ve ZC zemin sınıfı TBDY-2018 Tasarım Spektrumları

Deprem etkisi altında mevcut bina sistemlerinin değerlendirilmesi ve güçlendirme tasarımı için TBDY-2018 Bölüm 15 ve DBYBHY-2007 Bölüm 7 esas alınmıştır. Yapılan çalışmalar yönetmeliklere göre kapsamlı bilgi düzeyi için gerçekleştirilmiş ve dolayısı ile eleman kapasitelerinde bilgi düzeyi ile ilişkili bir azaltma yapılmamıştır.

## 2.2) Doğrusal Olmayan Hesap Modeli

Hesap modelleri için ETABS v17.0.1 yazılımı kullanılmıştır. Kiriş ve kolonlar, çubuk sonlu elemanlar olarak modellenmiştir. Doğrusal olmayan davranış, elemanların uçlarına yığılı plastik mafsallara tanımlanmıştır. Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerin plastik mafsallara verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal- elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, plastik mafsallara (plastik kesit) hipotezi adı verilir (Özer 2006). Yığılı plastik mafsallar genel olarak çubuk elemanların iki ucuna yerleştirilir ve bu iki mafsalları dışındaki bölgelerde doğrusal bir davranış modellenir (Şekil 3). En yaygın kullanılan yığılı plastik mafsalları tek parçalı eğilme mafsalları modelidir. Bu tür mafsallar M3 veya M2 mafsalları olarak tanımlanır.

Yığılı plastik davranışa göre modellenen kolon ve kirişlerin TBDY-2018'e göre etkin kesit rijitlikleri için denklem (1) kullanılmıştır. Burada  $M_y$  ve  $\theta_y$  çubuk elemanların uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını,  $L_s$  ise kesme açıklığını göstermektedir.  $L_s$  değeri, kolon ve kirişlerde açıklığın yarısı olarak alınmıştır.  $\theta_y$ , plastik akma dönmeleri denklem (2) ile hesaplanmıştır. Bu denklemde  $\phi_y$  plastik mafsalları kesitindeki etkin akma eğriliği,  $h$  kesit yüksekliği,  $d_b$  mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapı,  $f_{ce}$  ve  $f_{ye}$  ise betonun basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımıdır.  $\eta$  değeri, kiriş ve kolonlarda 1.00 olarak alınmıştır.



Şekil 3: Yığılı Plastik Mafsalları Davranış Modeli ve Tipik Moment-Dönme İlişkisi

$$(EI)_e = \frac{M_y L_y}{\theta_y 3} \quad (1)$$

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2)$$

DBYBHY-2007'ye göre eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Etkin eğilme rijitliklerini hesaplamak için girişlerde;

$$(EI)_e = 0.4(EI)_o \quad (3)$$

Kolonlarda,

$$N_D / 0.4(A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ ise } : 0.40EI_o \quad (4)$$

$$N_D / 0.4(A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ ise } : 0.80EI_o \quad (5)$$

bağıntıları kullanılmıştır.

### 2.2.1) Malzeme Modelleri

Doğrusal olmayan yapısal modellemede TBDY- 2018 Ek 5A'da tanımlanan sargılı ve sargısız beton için Mander beton modelleri, çelik için ise yine TBDY-2018 Ek 5A' da tanımlanan gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları kullanılmıştır.

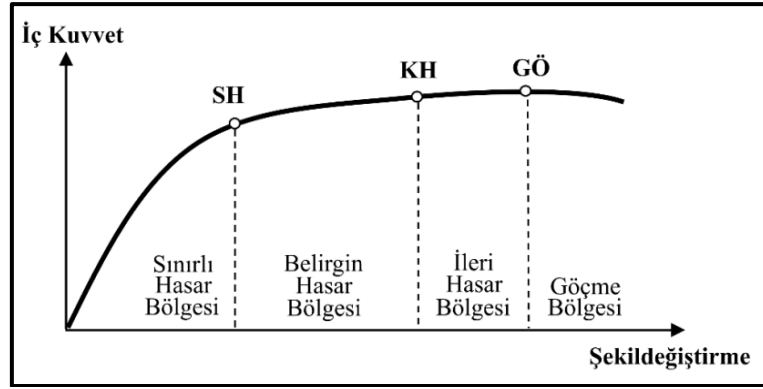
### 2.3) Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları "sünek" ve "gevrek" olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir (Şahin, 2010).

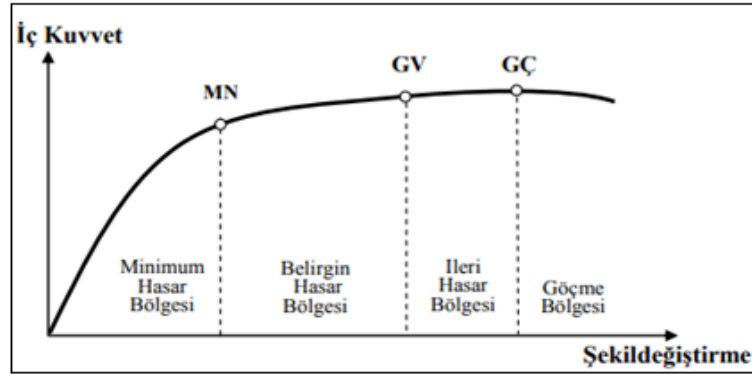
TBDY-2018'e göre, sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir (Şekil 4). TBDY-2018 5.8.1.1'e göre S420 donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi, Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için  $0.4\varepsilon_{su}$  (0.032), Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi için 0.024 olarak verilmiştir. Yığılı plastik kabulü için TBDY-2018'de Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsallu oluşumuna izin verilmemektedir.

DBYBHY- 2007'e göre de sünek elemanlar için kesit düzeyinde Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olmak üzere üç sınır durum tanımlanmıştır (Şekil 5). DBYBHY-2007 7.6.9'da donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi, Göçme Sınırı (GÇ) 0.06, Güvenlik Sınırı (GV) 0.04, Minimum Hasar Sınırı (MN) 0.01 olarak verilmiştir.





Şekil 4: Hasar Sınır Bölgeleri (TBDY 2018)



Şekil 5: Hasar Sınır Bölgeleri (DBYBHY 2007)

### 3. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ VE İRDELEMELER

#### 3.1) Tek Modlu İtme Analizi

Mevcut bina performans analizleri için Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemlerinden olan “Tek Modlu İtme Yöntemi” kullanılmıştır. TBDY-2018’e göre mevcut yapıya ait Bina Yükseklik Sınıfı (BYS=6) olduğu için  $BYS \geq 5$  koşulu sağlanmıştır. Yapı taşıyıcı sistemi düzenli olduğu için herhangi bir katta ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  olma koşulunu sağlamaktadır. X deprem doğrultusunda 0.81, Y deprem doğrultusunda 0.82 kütle katılımı olduğu için, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti, etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranı en az 0.70 olması koşulunu sağlamaktadır.

DBYBHY-2007’ye göre binanın toplam kat sayısı 8’i aşmamakta ve ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları bütün katlarda  $\eta_{bi} < 1.4$  koşulunu sağlamaktadır. X deprem doğrultusunda 0.81, Y deprem doğrultusunda 0.82 kütle katılımı

olduğu için, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine oranı en az 0.70 olmalıdır koşulunu sağlamaktadır.

Mevcut yapıya ait TBDY-2018 ve DBYBHY-2007'e göre hesaplanan etkin rijitlikleri ile hesaplanan modal kütle katılım oranları Tablo 5'te verilmiştir.

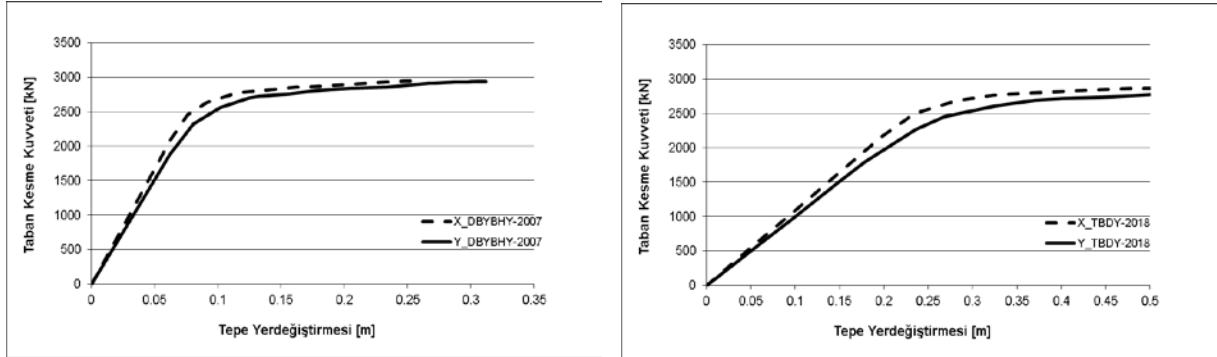
Tablo 5: Mevcut Yapı Modal Kütle Katılım Oranları a) TBDY 2018 ve b) DBYBHY-2007

Mod	Periyot (s)	U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>
1	2.33	0.00	0.81
2	2.24	0.82	0.00

Mod	Periyot (s)	U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>
1	1.34	0.00	0.81
2	1.29	0.82	0.00

### 3.1.1) İtme Eğrilerinin Elde Edilmesi

Düşey yükler altındaki analiz sonuçları ile hesap yapılacak deprem doğrultusundaki hâkim periyotlar kullanılarak deprem hesabı yapılmıştır. Başlangıç koşulu G+nQ yüklemesinin ardından, hesaplanan deprem kuvvetleri ile itme analizleri yapılmıştır. Her iki yönetmeliğe göre yapının X ve Y deprem doğrultusunda hesaplanan itme eğrileri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: İtme Eğrilerinin Elde Edilmesi

### 3.1.2) Modal Kapasite Diyagramları ve Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

Her iki deprem yönetmeliği için de Denk.(6) ve Denk.(7) kullanılarak statik itme eğrilerine koordinat dönüşümü uygulanarak modal kapasite diyagramı elde edilmiştir. Modal kapasite diyagramının koordinatları birinci moda ait modal yer değiştirme ve modal ivme değerleridir.

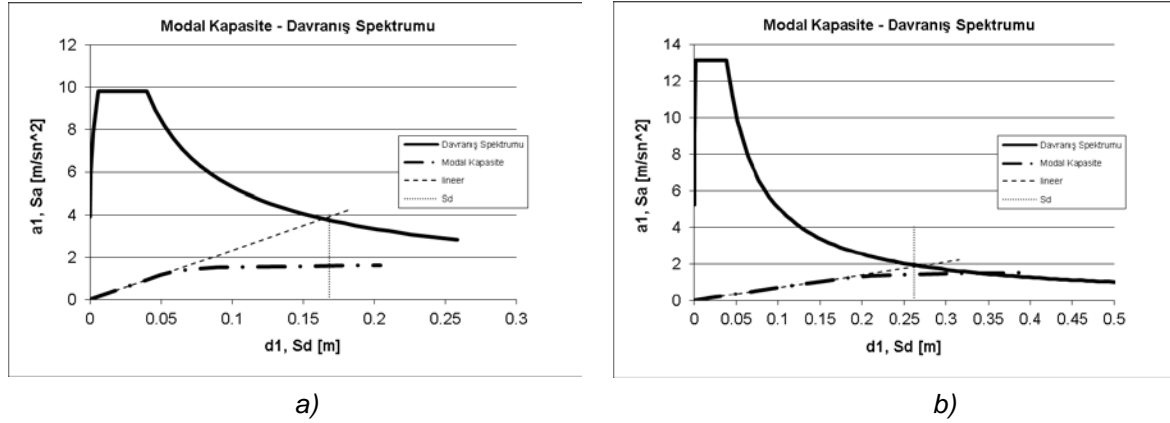
$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,k)}} \quad (6)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (7)$$

İtme analizi ile elde edilen modal kapasite diyagramını kullanılarak, Şekil 7'de gösterilen yöntem ile her iki yönetmelik için hesaplanan binanın spektral yerdeğiştirme ( $d_1$ ) değeri kullanılarak modal yerdeğiştirme istemi Denk.(8) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (8)$$

Binanın tepe yerdeğiştirme istemleri DBYBHY-2007'ye göre X ve Y deprem doğrultusunda **21 cm**, TBDY-2018'e göre X ve Y deprem doğrultusunda **33 cm** olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7: İtme Değerinin Hesaplanması a) DBYBHY-2007 b) TBDY-2018

### 3.1.4) Kesitteki Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

TBDY-2018'e göre itme analiz sonuçlarından elde edilen plastik mafsallara ait plastik dönme istemleri, performans seviyesi hasar sınırı limitleri ile karşılaştırılarak, kesit hasar sınırları belirlenmiştir.

DBYBHY-2007'e göre itme analizi sonuçlarından elde edilen plastik mafsallara ait plastik dönme istemleri, Denk.(9) kullanılarak plastik eğrilik istemleri dönüştürülmüştür.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{I_p} \quad (9)$$

Toplam eğrilik istemi Denk.(10) ile hesaplanmıştır.

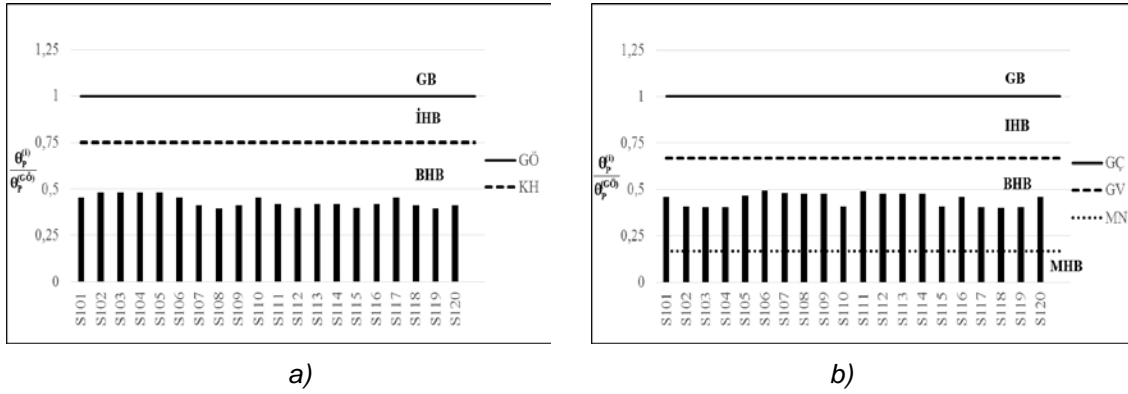
$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (10)$$

Eğilme momenti-eğrilik analizi sonucunda bulunan toplam eğrilikler kullanılarak beton basınç birim şekil değişirmesi ve donatı çeliği birim şekildeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kesitin çeşitli hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit hasar bölgeleri belirlenmiştir.

### 3.1.5) Kesit Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

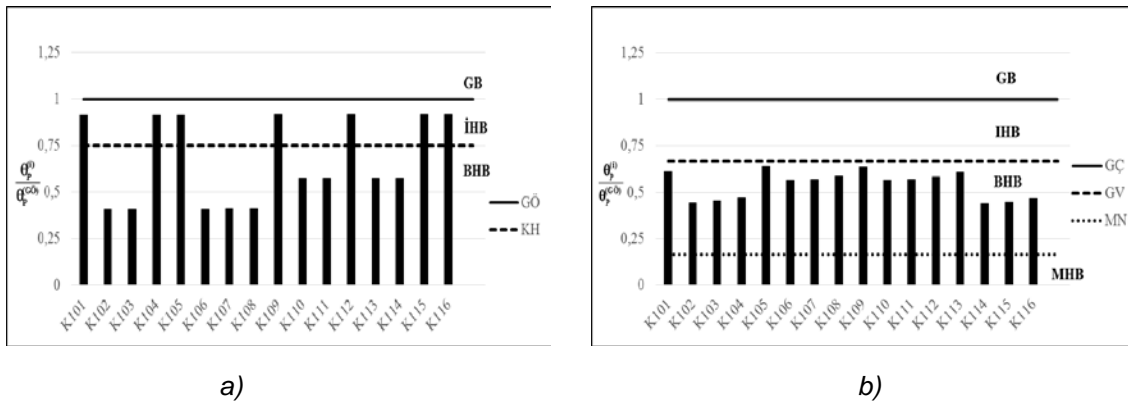
Mevcut yapının Zemin Katına ait TBDY-2018 ve DBYBHY-2007'e göre yapılan performans analizleri sonucunda belirlenen kesit hasar bölgeleri Şekil 8 - Şekil 10'da verilmiştir.

Şekil 8'de verilen hasar dağılım grafiklerinde görüldüğü gibi her iki yönetmeliğe göre yapılan analizlerde kritik kat olan zemin katta kolonların hepsi belirgin hasar bölgesinde kalmıştır.

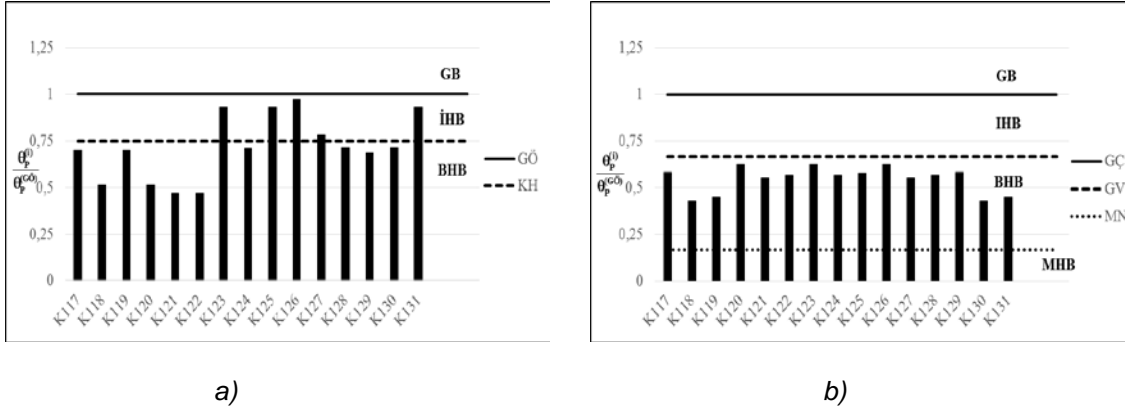


Şekil 8: Zemin kat kolon elemanların hasar dağılımı a) TBDY-2018 b) DBYBHY-2007

Şekil 9 ve 10'da verilen hasar dağılım grafikleri incelendiğinde DBYBHY-2007'e göre tüm zemin kat giriş elemanları, her iki deprem doğrultusu için belirgin hasar bölgesindedir. TBDY-2018'e göre yapılan analizlerde kritik kat olan zemin kat girişlerinde, X deprem doğrultusunda %43'ü, Y deprem doğrultusunda ise %25'i ileri hasar bölgesine geçmiştir.



Şekil 9: Zemin kat X deprem doğrultusu giriş elemanların hasar dağılımı a) TBDY-2018 b) DBYBHY-2007



Şekil 10: Zemin kat Y deprem doğrultusu giriş elemanların hasar dağılımı a) TB DY-2018  
b) DBYBHY-2007

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, mevcut 5 katlı betonarme konut yapısının DBYBHY-2007 ve TB DY-2018'e göre Doğrusal Olmayan Artımsal İtme Analizi yöntemiyle deprem yükleri altında bina taşıyıcı sisteminin performans analizi yapılmış ve sonuçlar aşağıda irdelenmiştir.

- i. TB DY-2018 Bölüm 5'de detaylı olarak sunulan, deneysel verilerden elde edilmiş, kesitin boyutları, donatısı, açıklığı ve yüklerine bağlı olarak hesaplanan etkin kesit rijitlikleri ile yapılan analizler ile mevcut yapı etkin periyodları daha uzun olarak hesaplanmaktadır (TB DY-2018=2.33 s, DBYBHY-2007=1.34 s). Taban kesme kuvveti değeri  $R=1$  ile yapı ağırlığının, TB DY-2018'e göre %19.5'i, DBYBHY-2007'e göre %32'si olarak hesaplanmaktadır. Etkin periyodlarının uzun olması ve ZC zemin sınıfı spektrumuna bağlı olarak, TB DY-2018'e göre deprem yükleri altında yerdeğiştirme talebi DBYBHY-2007'e daha fazla hesaplanmaktadır.
- ii. Betonarme kesitin Göçme Bölgesi için S420 donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırları, TB DY-2018'e göre %3.2, DBYBHY-2007'e göre %6.0 olarak verilmiştir. İleri Hasar Bölgesi için S420 donatı çeliği birim şekildeğiştirme sınırları, TB DY-2018'e göre %2.4, DBYBHY-2007'e göre %4.0 olarak verilmiştir. TB DY-2018'e göre daha fazla yerdeğiştirme istemi olmasına rağmen, şekildeğiştirme sınırları DBYBHY-2007'e göre çok daha küçüktür. İki yönetmelik arasındaki hasar bölgesi farklılıkları şekildeğiştirme sınırlarının farklılığından dolayı oluşmaktadır.

DBYBHY-2007 Bölüm 7'e göre sabit enkesit rijitlik değerleri yerine TB DY-2018 Bölüm 5 kurallarına bağlı olarak tüm betonarme elemanlar için ayrı ayrı enkesit rijitliği hesaplanmaktadır. Bu işlem analiz sürelerini uzatmasına rağmen betonarme kesitin uzunluğu, donatısı ve üzerindeki yüklere bağlı olarak daha gerçekçi sonuç vermektedir. TB DY-2018 tasarım spektrumunun yenilenmesi ile DBYBHY-2007 spektrumunun uzun periyotlu yapılar için verdiği yüksek ivme değerleri yerine daha küçük değerler elde edilmektedir. Hem spektrum değişikliği hem de yapı etkin periyodlarının uzamasına bağlı olarak mevcut yapıya daha az deprem kuvvetleri gelmesine rağmen TB DY-2018 şekildeğiştirme hasar sınırlarının daralmasından dolayı hedef performansı DBYBHY-2007 yönetmeliğinden çok uzaklaşmamaktadır.

## KAYNAKLAR

AFAD, 2018a. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf>

AFAD, 2018b. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (TDTH), Ankara.

Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>

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

Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3-1.pdf>

Celep Z., 2018. Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Beta, İstanbul, Türkiye, 727 s.

Demir A., Kayhan A. H., 2017. Deprem Yönetmeliği 2007 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile Uyumlu Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim 2017, Eskişehir.

ETABS, 2017. Integrated Analysis, Design and Drafting of Buildings Systems Program, Computers and Structures Inc., California.

Kefeli E., Börekçi M., Arslan G., 2018. Planda düzensizliği bulunan betonarme binaların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre performanslarının değerlendirilmesi, International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2018), 22-23 Kasım 2018, Eskişehir, s:1659-1667.

Keskin E., Bozdoğan K.B, 2018. 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 74-90.

Özer E., 2006. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi, Ders Notları, İstanbul.

Şahin B., 2010. Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi ve yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 138 s.