BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7(2), 1004-1014, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.727437

e-ISSN:2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

Araştırma Makalesi - Research Article

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Mevcut Betonarme Binanın Performansının Ve Zemin Etkileşiminin Değerlendirilmesi

Mehmet Fatih Altan[1], Sinan Cansız[2*], Osman Kaya[3], Çağatay Turna[4]

Geliş / Received: 29/04/2020 ***Revize / Revised: 22/09/2020*** ***Kabul / Accepted: 01/10/2020***

ÖZ

Dünyada yaygın olarak ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde performansa dayalı tasarım prensipleri kullanılmaktadır. 1990'lı yıllarda meydana gelen depremler sonrası hasar alan yapıların tekrar kullanılamaması sebebiyle ağır ekonomik kayıplar yaşanmıştır. Sonrasında birçok yönetmelikte yapıların deprem sonrası kullanımı sağlanacak şekilde hedef performansa göre tasarımına yer verilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin (TBDY) 2019 yılında yayımlanmasıyla birlikte yapı-zemin etkileşimine daha fazla önem verilmiştir. Bu doğrultuda ilk kez düşey yer hareketi spektrumu tanımlanarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca deprem tehlike haritaları yayınlanarak her bölge için spektral ivme katsayıları tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre mevcut betonarme bir binanın performans analizi yapılmıştır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (2007) mevcut binaların performans analizinde şekil değiştirme esaslı yaklaşımlar tanımlanırken, TBDY-2019'da ilave olarak yeni binaların tasarımında da şekil değiştirme esaslı yaklaşımlara yer verilmiştir. Bu çalışma ile yeni yayınlanan yönetmeliğin uygulama esasları araştırılmıştır. Çalışmada TBDY-2019'a göre hesaplanmış düzensiz bir yapının performans durumu incelenmiştir. İnceleme sonucunda kontrollü hasar performans düzeyi hesaplanmış yapının yeni yönetmeliğe göre hesap detayları gösterilmiştir. Tüm aşamalarıyla anlatılan düzensiz yapıların performans analizi konusunda, çalışma sahasının genişletilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler- Deprem, İtme Analizi, Performans Analizi

[1]İletişim: mehmetaltan@aydin.edu.tr (https://orcid.org/0000-0003-0961-0115)
İnşaat Mühendisliği, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul
[2]*Sorumlu yazar iletişim: sinancansiz@aydin.edu.tr (https://orcid.org/0000-0001-6375-6487)
İnşaat Teknolojisi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul
[3]İletişim: ce.osmankaya@gmail.com (https://orcid.org/0000-0002-6533-949X)
Yüksek Lisans Öğrencisi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul
[4]İletişim: turna.cagatay@gmail.com (https://orcid.org/0000-0003-3400-6999)
Yüksek Lisans Öğrencisi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7(2), 1004-1014, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.727437

e-ISSN:2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

Evaluation of the Performance and Ground Interaction of the Existing Reinforced Concrete Building According to Turkey Earthquake Building Regulations

ABSTRACT

Performance-based design principles are widely used in national and international regulations in the world. Since the structures damaged after the earthquakes in the 1990s could not be reused, high economic losses were experienced. Later, in many design codes, the design of the buildings according to the target performance was provided so as to ensure the use of the buildings after the earthquake. Turkey Earthquake Building Code (TBDY) is given more importance to the soil-structure interaction with the release in 2018. Accordingly, the vertical ground motion spectrum has been defined and used for the first time. In addition, earthquake hazard maps were published and spectral acceleration coefficients were defined for each region. In this study, a performance analysis of the existing reinforced concrete buildings by the Building Turkey Earthquake Building Code is made. In the Code on Buildings to be built in Earthquake Zones (2007), deformation-based approaches are defined in the performance analysis of existing buildings, while in addition to TBDY-2018, deformation-based approaches are also included in the design of new buildings. With this study, the application principles of the newly published code were investigated. In the study, the performance state of an irregular structure calculated according to TBDY-2019 was examined. As a result of the examination, the calculation details of the structure, for which a controlled damage performance level was calculated, according to the TBDY-2019 code was shown. In terms of performance analysis of irregular structures, which are described in all stages, it is considered to be appropriate to expand this study field.

Keywords- Earthquake, Push-Over Analysis, Performance Analysis

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7(2), 1004-1014, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.727437

e-ISSN:2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

I.GİRİŞ

Dünyanın birçok bölgesi ve nüfusun yoğun yaşadığı yerleşim alanları deprem kuşağında yer almaktadır[1]. Bu bölgelerde her gün sayısız depremler kaydedilmektedir. Bunların büyüklüğünün küçük olması sebebiyle birçoğu hissedilmemektedir. Hissedilen büyük depremlerin önceden haber alınamaması veya tahmin edilememesi sebebiyle depreme dayanıklı yapı tasarımı alınacak en önemli tedbir olarak öne çıkmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli adımlar bulunmaktadır. Bu adımlar sırasıyla; taşıyıcı sistem seçimi, taşıyıcı sistemin doğru modellenmesi, depremin ve yer değiştirme spektrumunun doğru tanımlanması, sonuçların projelendirilmesi ve yapım sürecidir. Bu aşamalar içerisinde malzemenin elastik ötesi davranışını dikkate alan şekil değiştirme limitlerinin doğru tanımlanması ve değerlendirilmesi önem arz etmektedir [1]. 1990'lı yıllarda meydana gelen depremler sebebiyle yaşanan ekonomik kayıplar sonrası performansa dayalı tasarım fikri ön plana çıkmıştır. Performansa dayalı tasarım prensibine göre yapının maruz kalacağı deprem sonrası olması gereken durumu hedefleyen yaklaşımdır. Bu yaklaşımda hedef performans seviyesi şekil değiştirme sınır değerleri cinsinden tanımlanmaktadır. Önceki yıllarda yapılan tasarımlarda kullanılan kuvvet esaslı yaklaşımlarda deprem sırasında oluşan kesit tesirinden daha dayanıklı olması hedeflenmiştir [2]. Ancak deprem sonrası oluşan hasar durumu veya tekrar kullanımı önemsenmemiştir. Buna karşın her iki yaklaşımında ana hedefi plastik mafsalların kirişlerde olması sağlanarak kat mekanizmasının önüne geçmektir. Performansa dayalı tasarım prensibini uygulayan birçok yönetmelikte farklı yöntemler izlenmektedir. Bu yönetmeliklerin bazılarının birbirlerine göre daha üstün olduğu durumların olması ve tek bir doğruya ulaşılamamış olması, performansa dayalı tasarımın en önemli eksiklerindendir. Mevcut binaların değerlendirilmesi için kullanılan FEMA-273(1997), FEMA 356 (2000), ASCE 41-06 (2007) ve ATC-40 (1996) gibi standartlar yapıların performans düzeyini tanımlanan performans seviyelerine göre tahmin etmektedir [3], [4], [5], [6]. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım İlkeleri (ŞGDT) başlıklı 5.1. maddesinin ikinci bendinde, bu değerlendirme yaklaşımının uygulanacağı yapıları Yüksek Binalar, Depreme Yalıtımlı Binalar ve Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi olarak tanımlamıştır [7]. ŞGDT kapsamında; Yüksek Binalar, Mevcut Binaların Değerlendirilmesi Güçlendirilmesi ve Depreme Yalıtımlı Binalar için ayrı ayrı performans hedefleri bulunmaktadır. Bu alanda birçok araştırmacı tarafından çalışmalar ve yönetmelikler yapılmıştır [8], [9],[10],[11],[12]. Bu çalışmada mevcut bir binanın performans değerlendirilmesi yapılarak Tablo1'de gösterilen değerler esas alınarak performans hedefi belirlenmiştir[7].

Tablo 1. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

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-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

II.MATERYAL VE YÖNTEM

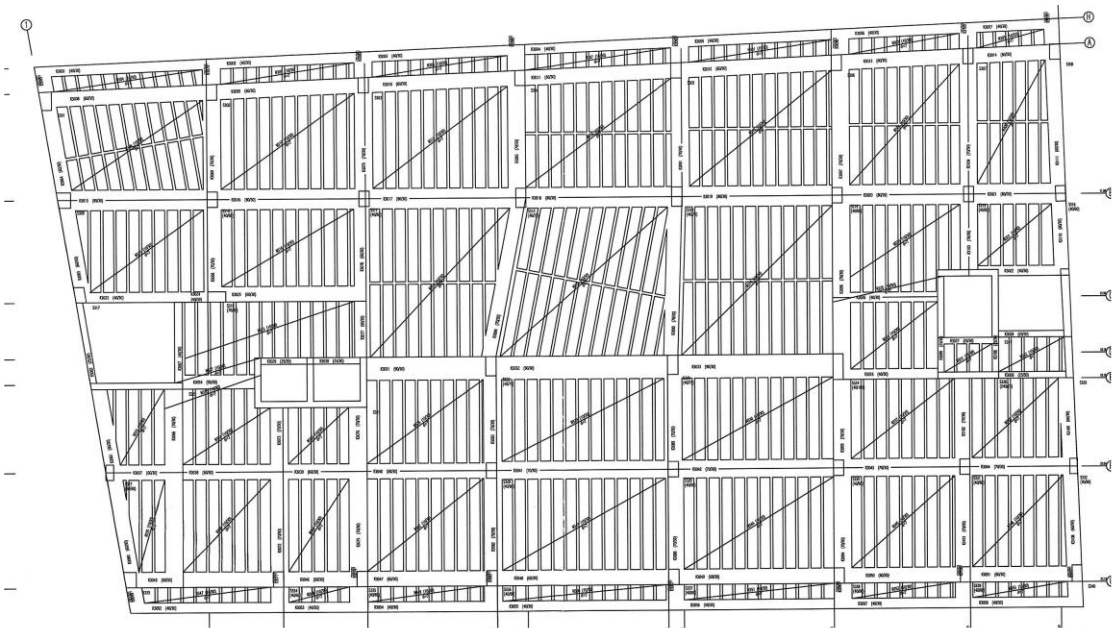
Bu çalışmada İstanbul'da bulunan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) kapsamında tasarlanan bir binanın taşıyıcı sisteme ait elemanların belirlenmesi, zemin emniyet gerilmeleri, hesaplarda kullanılacak mevcut taşıyıcı sistem kesitlerine ait parametreler, taşıyıcı sistemin geometrisi, malzeme özellikleri detaylı olarak incelenerek performans seviyesi araştırılmıştır [13]. Yapıdan elde edilen bilgiler 6306 sayılı yasa kapsamında toplanmaktadır [14].

A. *Yapıya Ait Bilgiler*

Yapım yılı 2010, kullanım amacı konut ve betonarme çerçeveden oluşan bina tasarım depremi DD-2 ve Yerel Zemin Sınıfı ZD olarak belirlenmiştir. 2 Bodrum + Zemin + 4 Normal Kat + Çatı Katından müteşekkil binanın kat yüksekliği 3,10mt/2,90mt'den oluşmakta olup, taban alanı 782,60 m^2, toplam inşaat alanı ise 6.725,08 m^2'dir. Yapıya ait kat planı Şekil 1'de gösterilmektedir. Binaya ait bilgi düzeyi kapsamlı (1.0) olarak tespit edilmiştir. TBDY-2019'agöre hesaplanan deprem parametreleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. TBDY-2019'a göre hesaplanmış deprem parametreleri

Hesap Yöntemi	Değer			
Türkiye Deprem Haritaları [5]	S_s	S_1	PGA	PGV
	0,989	0,272	0,408	24,991
TBDY-Zemin Değerleri	S_s	F_s	S_1	F_1
	0,989	1,104	0,272	2,056
Tasarım Spektral İvme K.	S_{DS}		S_{D1}	
	1,092		0,559	
TBDY 2019Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	T_A	T_B	T_L	
(s)	0,102	0,512	6,000	
Düşey Elastik Tasarım Spektrumu	T_{AD}	T_{BD}	T_{LD}	
(s)	0,034	0,171	3,000	



Şekil 1. Yapının bilgisayar programında modellenmiş kat planı

Yapının deprem etkileri altında performansının belirlenmesi amacıyla, yapının mimari, statik projeleri temin edilerek aşağıda maddeler halinde verilen işlemler uygulanmıştır.

- Taşıyıcı elemanlarında karot alınması,
- Beton dayanımının tespiti,
- Röntgen cihazı ile kolonların donatı çap ve adetlerinin tespiti,
- Donatı çap-adet tespiti ve etriye aralıklarının sıyırma metodu ile yapılarak kontrollerinin sağlanması.

Bu çalışmada Ek-1'de gösterilen yapı üç boyutlu modellenerek statik/performans analizi yapılmış ve performans seviyesi belirlenmiştir. Statik projeden belirlenen malzeme özellikleri ve hesap parametreleri Tablo 3'de özetlenmiştir [15].

Tablo 3. Malzeme özellikleri ve hesap parametreleri

Parametre	Değeri
Beton Dayanımı (MPa)	35
Donatı Çelik Sınıfı	BÇ III– S420
Yerel Zemin Sınıfı	ZD
Tasarım Depremi	DD-2
Yapı Davranış Katsayısı	R=4
Performans Analizi Katsayısı	R=1
Hareketli Yük Katilim Katsayısı	0,3
Bina Önem Katsayısı	1

Betonarme yapıların performans analizinde beton dayanımının tespiti önem arz etmektedir. Beton dayanımının tespiti için tahribatlı ve tahribatsız yöntemler olmak üzere iki metod bulunmaktadır. Bu amaçla yapının beton dayanımının tespiti amacıyla her iki yöntemde kullanılmıştır[16].

B. Yerinde Yapılan Tespit ve Testler

Betonarme yapının donatı durumunu tespit etme amacıyla binada tahribatsız yöntemler kullanılmıştır. Bu amaçla donatı tespit cihazı yardımı ile yapılan tespit sonucu elde edilen donatı oranları ve çapları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Kolon donatı oranları

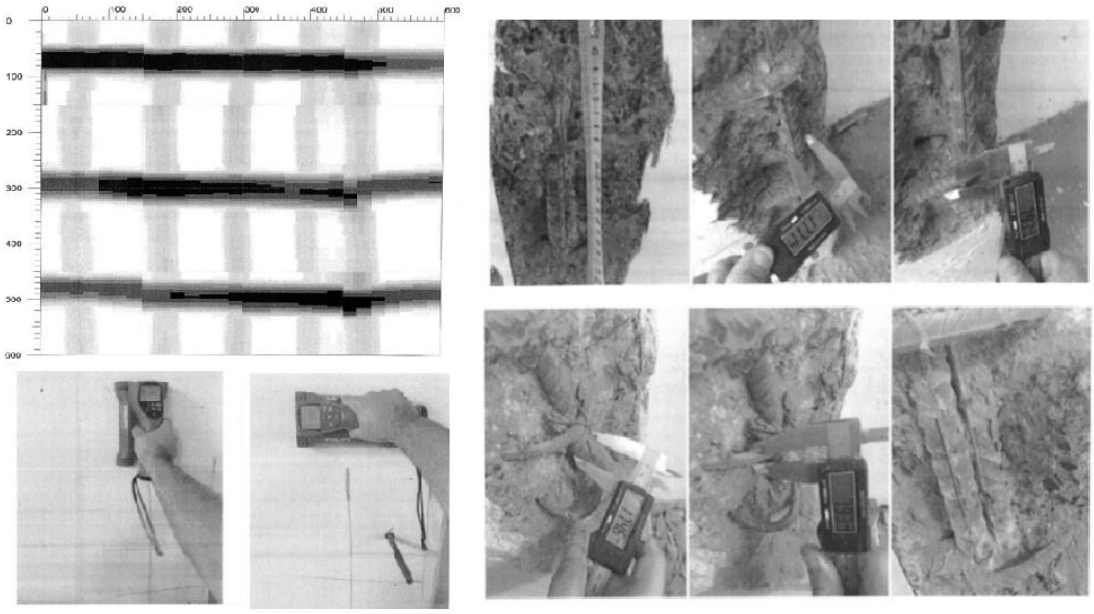
Kolon Adı	b (mm)	h (mm)	d' (mm)	ϕ (mm)	n (adet)	ρ_t
K1	400	600	30	18	14	0,0148
K2	400	600	30	18	14	0,0148
K3	400	600	30	18	14	0,0148
K4	400	750	30	18	18	0,0145
K5	400	750	30	18	18	0,0145
K6	700	400	30	18	18	0,0145
K7	300	600	30	18	14	0,0148
K8	400	1000	30	18	22	0,0140
K9	400	1000	30	18	22	0,0140

Mevcut taşıyıcı elemanlarının beton dayanımını tespit etme amacıyla tahribatlı yöntemlerden birisi olan karot alma yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla TS EN 12903-3 ve TS-EN 12504-1 standartlarına göre yeter sayıda yapılan karot alma işlemi Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Kolon karot testi sonuçları

Karot No	Karot Yeri	Karot		Kırılma Yükü (N)	Basınç Mukavemeti (MPa)
		Çapı (mm)	Yüksekliği (mm)		
1	2.Bodrum Kat Kolon K1	90	90	287600	45,2
2	2.Bodrum Kat Kolon K2	90	90	256800	40,4
3	1.Bodrum Kat Kolon K3	90	90	245700	38,6
4	1.Bodrum Kat Kolon K4	90	90	282460	44,4
5	2.Normal Kat Kolon K5	90	90	262103	41,2
6	Normal Kat Kolon K6	90	90	251288	39,5
7	Normal Kat Kolon K7	90	90	265920	41,8
8	Normal Kat Kolon K8	90	90	269737	42,4
9	Normal Kat Kolon K9	90	90	248743	39,1
Ort. Beton Basınç Dayanımı					41,4

Donatı tespit cihazı yardımıyla kolonlarda görülen donatıların yerinde tespiti amacıyla kolonlarda kabul betonu sıyrılarak donatılar ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntem ile donatılarda meydana gelen korozyon seviyesi belirlenmiştir. Bu yapılan işlem Şekil 2'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Donatı sıyırma sonrası elde edilen sonuçlar Tablo 6'da gösterilmektedir.



Şekil 2. Donatı tespiti işlemi

Tablo 6. Kolonlara ait donatı sıyırma tespiti

Sıra No	Kolon Adı	Proje donatısı Çapı	Donatı Tespiti			Korozyon
			ϕ_t (mm)	ϕ_s (mm)	s (mm)	
1	K1	18	17,71	8	170	Yok
2	K2	18	17,98	8	90	Yok
3	K3	18	17,46	8	100	Yok
4	K4	18	17,67	8	110	Yok
5	K5	18	17,86	8	80	Yok
6	K6	18	17,19	8	90	Yok
7	K7	18	17,58	8	70	Yok
8	K8	18	17,65	8	110	Yok
9	K9	18	17,94	8	100	Yok

Burada ϕ_t boyuna donatı çapını, ϕ_s enine donatı çapını ve s etriye aralığını ifade etmektedir. Tahribatsız yöntemlerden birisi olan test çekici ile beton dayanım tespiti yapılabilmektedir. Bu yöntem karot ile dayanım tespitine göre daha güvensiz olmakla birlikte ön hazırlık amacı ile yapılan bir işlemdir. Bu yapıda kolon test çekicinden elde edilen sonuçlar Tablo 7'de sunulmaktadır.

BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi
7(2), 1004-1014, 2020

BSEU Journal of Science
DOI: 10.35193/bseufbd.727437

e-ISSN:2458-7575 (http://dergipark.gov.tr/bseufbd)

Tablo 7. Kolon test çekici sonuçları

No	Kolon Adı	Beton Test Çekici Geri Tepme Değerleri (R_m)										$R_{ort.}$
1	2.BodrumKatKolonK2	55	56	56	56	57	56	57	56	55	56	56
2	2.BodrumKatKolonK2	52	51	52	52	52	52	52	54	54	54	52.5
3	1.BodrumKatKolonK3	51	50	50	52	51	50	50	52	51	52	51
4	1.BodrumKatKolonK4	59	59	58	59	57	59	58	59	58	57	58.3
5	2.NormalKatKolonK5	57	57	59	58	59	60	60	59	59	60	58.8
6	NormalKatKolonK6	59	59	60	59	58	57	59	59	60	59	58.9
7	NormalKatKolonK7	58	59	58	59	58	59	58	59	58	58	58.4
8	NormalKatKolonK8	56	57	58	57	58	57	58	58	57	58	57.6
9	NormalKatKolonK9	59	57	59	58	58	57	58	59	58	59	58.2

III.PERFORMANS ANALİZİ

Yapıya ait statik projelerden ve saha çalışmalarından elde edilen verilere TBDY (2019) kapsamında performans analizi STA4CAD programı yardımıyla yapılmıştır. Bu amaçla yapı mevcut malzeme dayanımları altında mevcut statik projesine uygun olarak STA4CAD programında modellenmiştir [17]. Programda TBDY (2018)'e göre deprem parametreleri veri giriş ekranına girilmiştir. Yapıdan alınan karot sonuçlarına göre tespit edilen malzeme dayanımları ile sistem modellenmiştir. Yapının 2010 yılında imal edilmiş olması sebebiyle çatlamış kesite göre analizi yapılmıştır. TBDY'e göre betonarme elemanlar için tanımlanmış malzeme birim şekil değiştirme sınır değerleri 1-5 denklemlerinde verilmektedir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{wc}} \leq 0.01 \tag{1}$$

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \tag{2}$$

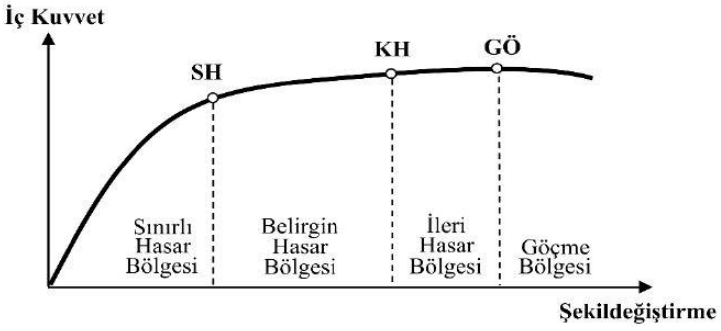
$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3}\left[(\emptyset_u - \emptyset_y)L_p\left(1 - 0.5\frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5\emptyset_u d_b\right] \tag{3}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\,\theta_p^{(GÖ)} \tag{4}$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \tag{5}$$

Burada; ε_c en dış beton basınç lifindeki kısılmayı, ω_{wc} enine donatı mekanik indeksi, ε_s boyuna donatıya ait birim uzama, ε_{su} boyuna donatıya ait maksimum gerilme anındaki birim uzama, θ_p elemana ait plastik dönme oranını, $\emptyset_u$ kesite ait maksimum eğriliği, $\emptyset_y$ kesite ait akma eğriliğini, L_p plastik mafsal boyunu, L_s kolon boyunu ve d_b boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

Performans analizi sırasında kullanılan yazılım ile yapıya uygulanan eşdeğer deprem yükü yöntemi ile tüm yapı elemanlarında oluşan şekil değiştirme değerleri 1-5 denklemleri ile karşılaştırılarak performans seviyeleri ölçülmüştür. TBDY (2019)'a göre tanımlanan hasar bölgeleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 3. TBDY göre hasar sınırları

TBDY'de mevcut binalara ait deprem etkilerinin incelenmesi için gerekli kurallar Bölüm 15'de kapsamlı olarak tanımlanmıştır. Hesap yöntemleri için doğrusal ya da doğrusal olmayan hesap yöntemleri seçilebileceği ve bu yöntemler sonucunda şekil değiştirme sınırları belirlenerek deprem performans düzeyinin belirleneceği belirtilmektedir. Bu çalışmada incelenen yapının konut olması sebebiyle BKS=3, DD-2 deprem yer hareket düzeyindeki Normal Performans Hedefinin "Kontrollü Hasar" olduğu görülmüştür.

Kontrollü Hasar Performans Düzeyinde olması beklenen, olası bir deprem etkisi altında önceliğin can güvenliğinin sağlanması kaydıyla, yapının taşıyıcı sisteminde çok ağır olmamakla birlikte onarılması mümkün yapı hasarlarının oluşabileceği kabul edilmektedir. Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Düzeyini TBDY'e göre sağlaması gereken koşullar maddeler halinde sıralanmıştır.

- Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'i ve düşey elemanların (kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) aşağıdaki paragrafta tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir. Her kattaki ileri hasar seviyesinde bulunan düşey taşıyıcı elemanlar tarafından taşınan taban kesme kuvvetinin %20'yi geçmemesi, en üst kattaki kesme kuvveti toplamının ise %40'ı geçmemesi,
- İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(7.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

- Yapının doğrusal analizi sonrası elde edilen sonuçlara göre kolonlarda, kirişlerde ve diğer kesitlerde oluşan hasar yüzdeleri Tablo 9-11'de gösterilmektedir.

Tablo 9. Kiriş hasar yüzdeleri

Kat No	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
9	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	98,3	1,7	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	92,6	7,4	0,0	0,0	88,9	11,1	0,0	0,0
7	94,8	5,2	0,0	0,0	98,3	1,7	0,0	0,0	83,3	16,7	0,0	0,0	85,2	14,8	0,0	0,0
6	94,8	5,2	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	92,6	7,4	0,0	0,0	85,2	14,8	0,0	0,0
5	93,1	6,9	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	88,9	11,1	0,0	0,0	85,2	14,8	0,0	0,0
4	94,8	5,2	0,0	0,0	98,3	1,7	0,0	0,0	88,9	11,1	0,0	0,0	88,9	11,1	0,0	0,0
3	91,4	8,6	0,0	0,0	98,3	1,7	0,0	0,0	94,4	5,6	0,0	0,0	83,3	16,7	0,0	0,0
2	97,3	2,7	0,0	0,0	94,6	5,4	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0
1	100	0,0	0,0	0,0	96,6	3,4	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0

Tablo 10. Kolon hasar yüzdeleri

Kat No	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
9	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0
8	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	93,7	6,3	0,0	0,0
7	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0
6	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0
5	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0
4	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	99,8	0,2	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0
3	100	0,0	0,0	0,0	92,5	7,5	0,0	0,0	88,6	11,4	0,0	0,0	94,5	5,5	0,0	0,0
2	100	0,0	0,0	0,0	92,5	4,5	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0
1	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0

Tablo 11. Alt ve üst kesitlerde sınırlı hasar bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti dağılımı

Kat No	(-X)		(+X)		(-Y)		(+Y)	
	SH+BH	IH+GB	SH+BH	IH+GB	SH	BH+IH+GB	SH	BH+IH+GB
9	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
8	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
7	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
6	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
5	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
4	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
3	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
2	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
1	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0

TBDY' göre tasarım yapılırken zemin koşullarını, depremsellik durumu ve yapı zemin ilişkisini dikkate alınmaktadır. Temelin Taşıma gücü, temel oturması, yatayda kayma, şişme ve sıkışma durumlarının analiz edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda geoteknik rapor için sismik analiz ve sondaj yapılarak elde edilen sonuçlar dikkate alındığında zeminin taşıma gücü belirlenmiştir. Sismik analizde, MASW yöntemi daha sınırlı derinliğine sahip olmasının yanında, sığ zemin araştırmalarında da kullanılmaktadır [18]. MASW analizi sonucunda 1.tabakada emniyetli taşıma gücü 1,02 kg/cm^2 iken 2. tabakada emniyetli taşıma gücü 4,18 kg/cm^2'ye çıkmıştır. Arazi incelemeleri sonrasında zemin ile ilgili verileri doğrulamak için zemine dönel tip sondaj yapılmıştır. Arazide 2 adet sondaj yapılmış olup, zemin TS EN ISO 22476-3 standardına göre litolojisini, düşey yöndeki değişimi ve yeraltı suyu seviyesi durumuna bakılmıştır. Sondaj çalışması sonucunda, 0-4 m arasında dolgu malzemesi ve 4-8 m arasında kumlu siltli kile rastlanması sebebiyle Presiometre deneyleri yapılmamıştır. SK-1 kuyusundan 0-4 m derinlikte örselenmemiş numunenin taşıma gücü 1,25 kg/cm^2 belirlenmiştir. Deprem sonrasında oluşan deformasyonlar, yanal zemin basınç katsayısı, sıkılık derecesi, aşırı konsolidasyon oranı gibi faktörler SPT direncine etki etmektedir [19]. Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı için inceleme alanında gözlemlenen killi-siltli zeminin Terzaghi [20], Mayerhorf [21], Hansen [22] ve Vesic [23] tarafından temel derinliği ve geometrisi ile yatay yüklerin uyguladığı haller için detaylandırılmış ve TBDY'e göre zeminin emniyetli taşıma gücü 1,25 ton/m^2 olarak bulunmuştur. Yataklanma katsayısı ise Bowles [24]'e göre 1500 ton/m^3 olarak alınması gerekmektedir. Bu şartlar altında yapılmış yapı temellerinin Radye Temel yapıldığı görülmüştür. İnşaat yükünün zemine üniform olarak yayıldığı görülmüş olup zeminde yapı hasarı meydana getirecek bir oturmanın oluşması beklenmemektedir. Radye temellerinde maksimum toplam oturma miktarı, killer için en fazla 12,50 cm olması kabul edilmiştir. İnceleme alanı içinde oturabilecek 5,0 metrelik kil birimler için Konsolidasyon hesabından 5,85 cm değeri bulunmuştur. Sıvılaşma direnci için en yaygın kullanılan arazi deneyi Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) olmaktadır. Şişme potansiyelini Seed [25] ve Holtz & Gibss'e [26] göre Şişme Potansiyeli "Düşük" olduğu hesaplanmıştır. Sahada yapılan ölçümlerde yeraltı suyuna rastlanılmamıştır. Yapılan taşıma gücü tasarım dayanımı, maksimum taban basıncından yüksek olduğundan dolayı zemin iyileştirmesine gerek duyulmamıştır.

IV.SONUÇLAR

Kontrollü hasar durumunda can güvenliğinin sağlanması için taşıyıcı sistem elemanlarında hasarın onarılmasının mümkün olduğu ve çok ağır hasar olmaması istenmektedir. TBDY 15. Bölümünde de bahsedildiği üzere yapıların hasar durumları ve hasar bölgelerine ait iç kuvvet-şekil değiştirme grafiği Ek-4'te gösterilmektedir. Yapılan analiz sonucunda aşağıdaki verilere ulaşılmıştır.

- Kirişin hasar oranı: (IH =%0.0 <%30) ve (GB=0)
- Kolunun hasar oranı: (IH =%0.0 <%20) ve (GB=0)
- Üst katın kesme oranı: (IH =%0.0 <%40) ve (GB=0)
- Plastikleşen kolonun kesme oranı: (IH+GB=%0.0 <%30)

Yapılan bu çalışmada, İstanbul-Silivri ilçesinde yer alan 2010 yılında inşa edilmiş ve 2 Bodrum + Zemin + 4 Normal Kat + Çatı'dan oluşan konut yapısına ait yerinde karot, test çekici, sıyırma, korozyon, zemin sondajı vb. numuneler alınmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda birtakım veriler elde edilmiştir. Bu deneysel veriler kullanılarak bilgisayar ortamında taşıyıcı sistem elemanlarının kapasiteleri belirlenmiş olup, yapının uygulanan deprem kuvveti etkisindeki sınır durumları tespit edilmiştir. TBDY kapsamında, mevcut bir yapının performans analizini belirlemek için doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi sonuçları gösterilmiş olup, yapının yönetmelikçe istenen sınır durumlarını sağlayıp sağlamadığına dair kontrol edilmiştir.

Performans analizi üzerine çalışacak ve güçlendirme projesi hazırlayacak mühendislerin, depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı, temel ilkeleri, yönetmeliklerin özünü ve temel kavramlarını, taşıyıcı sistem elemanlarının davranışlarını çok iyi bilmeleri gerekmektedir.

İstanbul İli Silivri İlçesinde bulunan 2010 yılında konut olarak inşa edilmiş bir yapıda, yerinde tarafımızca alınan numunelere, donatı tespitlerine, zemin sondajlarına, deneysel verilere ve bilgisayar ortamında yapılan Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi sonucunda; Deprem hareket düzeyi DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10) ve Deprem tasarım sınıfı DTS=1' e göre Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre konutlar için istenen performans hedefi olan "Kontrollü Hasar" şartını sağladığı görülmüştür. Araştırmacılara kolaylık sağlaması açısından aşamalarıyla belirttiğimiz performans analizi konusunda, farklı düzensiz yapılarda da çalışma sahasının genişletilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Celep, Z., & Kumbasar, N. (2004).*Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. Beta Dağıtım, İstanbul.

[2] Chopra, A. K., (2013) *Dynamic of Structures and Earthquake Engineering* (Forth Edition). Pearson.

[3] Building Seismic Safety Council (1997). N*EHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

[4] ASCE (2000). "*FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*", ASCE for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., November 2000.

[5] ASCE 41-06, 2006, *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston,Virginia.

[6] ATC-40. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*. Applied Technology Council, Redwood City,California, 1996.

[7] TBDY (2019), "*Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*", Çevre Şehircilik Bakanlığı. Ankara.

[8] Barbara, F., Rui, P., Marco, S., & Roberto, F., (2009). Verification of displacement-based adaptive pushover through multi-ground motion incremental dynamic analyses. *Engineering Structures University of Bologna* 31, 1789–1799

[9] Tekel, H. (2015), *Bina Deprem Güçlendirme Projelerinin Hazırlanması*. Tekel İnşaat Mühendislik Kitabı.

[10] Massena, B., Bento, R., & Degée, H., (2010). *Direct Displacement Based Design of a RC Frame- Case of Study*. ISSN: 0871-7869.

[11] Zameeruddin M., & Sangle KK, (2016). Review on Recent developments in the performance- based seismic design of reinforced concrete structures, *Structures* 6, 119-133.

[12] Li, D., Wei, R., Xing, F., Sui, L., Zhou, Y., & Wang, W. (2018). Influence of Nonuniform corrosion of steel bars on the seismic behavior of reinforced concrete columns. *Constr. Build. Mater*., 167, 2032

[13] *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, http/www.deprern.gov.tr, 2007.

[14] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). *6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun*,

[15] H. Tekel, (2017), *Yapılarda Hasar Tespiti Yöntemler ve Uygulamalar*. Tekel İnşaat Mühendislik Kitabı.

[16] Ergün, A., & Kürklü, G., (2005), *Mevcut Betonarme Binalarda Beton Dayanımının Belirlenmesi* (Deprem Sempozyumu).

[17] STA4-V14.1 *"Structural Analysis for Computer Aided Design"* User Guide

[18] Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2001). Seismic characterization of geotechnical sites by multichannel analysis of surface waves (MASW) method. *In Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE), Philadelphia.*

[19] Seed, H. B., Idriss, I. M., & Arango, I. (1983). Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(3), 458-482.

[20] Terzaghi, K., (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley Publishing, New York, USA.

[21] Meyerhof, G. G., (1965). Shallow Foundations State of the Art Review Paper,Proc. *ASCE*, V. 91.

[22] Brinch, H.J. (1961). A General Formula for Bearing Capacity. Ingenforen (Int. Edition). *The Danish Geotechnical Institute*, Bulten No. 11, pp. 38-46.

[23] Vesic, A. S. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div, 99(sm1).*

[24] Bowles, J.E., (1988).*Foundation Analysis and Design*, McGraw Hill, 4th Edition, Singapore

[25] Seed, H. B., & Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of the soil mechanics and foundations division*, 88(3), 53-87.

[26] Fredlund, D. G. (1975). *Engineering properties of expansive clays*. University of Saskatchewan Transportation and Geotechnical Group.