



RESEARCH ARTICLE

Investigation of the Structural System Safety of an Existing Reinforced Concrete Public Building According to TBEC-2018

¹  M. Kemal Altınay, ^{*1}  R. Tuğrul Erdem

¹Manisa Celal Bayar University, Institute of Science, Civil Engineering Department, Manisa, Turkey
kemalaltinay506@hotmail.com, Orcid. 0000-0002-0155-6436,

^{*1}Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Manisa, Turkey
email.tugrul.erdem@cbu.edu.tr, Orcid.0000-0002-8895-7602

HIGHLIGHTS

- Performance of an existing public building
- The results are obtained by non-linear analysis
- It is aimed to present solutions for similar public buildings

Keywords:

- Pushover analysis
- Existing public building
- TBEC-2018
- Structural member

GRAPHICAL ABSTRACT

Earthquakes of different magnitudes occur frequently in our country, where active fault lines are concentrated. With the recent destructive earthquakes, studies have accelerated to evaluate the performance of the existing building stock. According to Turkey Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018), existing public buildings are classified as buildings that should be used after an earthquake. For this reason, it is important for public buildings to remain standing so that they can continue to serve after a possible major earthquake. In the scope of this study, the structural seismic performance of an existing reinforced concrete public building has been evaluated by Protastructure computer software. First of all, the conformity of the carrier system to the static project has been inspected on site. Then, material tests have been carried out to determine the existing reinforcement condition and concrete strength. In the light of the information obtained, the structure has been modelled three dimensionally in the computer environment. By entering the location, local soil class, concrete class and reinforcement details of the existing building, the damage conditions in the structural members and accordingly the structural system safety of the building have been determined by non-linear pushover analysis method. According to the analysis results for different seismic levels, there are several vertical members in the collapse region. For this reason, it is seen that the structure has not provided the targeted performance levels. Finally, obtained results are presented by tables and figures and evaluations have been carried out.

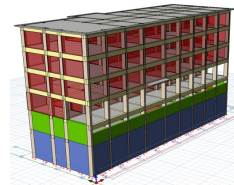


Figure A. Structural model

Article Info:

Received : 15 Sept 2023

Accepted : 22 Nov 2023

DOI: 10.53525/jster.1361250

*Correspondence:

R. Tuğrul Erdem
tugrul.erdem@cbu.edu.tr

Phone: +90 236 2012326

Aim of Article: It is aimed to investigate the seismic performance of an existing reinforced concrete public building.

Theory and Methodology: Concrete, reinforcement and soil properties of the building is obtained and non-linear analysis is performed to determine the damage situations of the structural members. Afterwards, performance of the building is obtained according to TBEC-2018.

Findings and Results: Damage states of the structural members are obtained for two different seismic levels. The results are presented by tables and figures.

Conclusion: Finally, it is seen that many horizontal and vertical members appear in the collapse damage region. So, it is concluded that the investigated building does not provide the expected performance level. Strengthening or reconstruction of the building shall be considered.



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

Mevcut Betonarme Bir Kamu Binasının Taşıyıcı Sistem Güvenliğinin TBDY-2018'e Göre Araştırılması

¹ M. Kemal Altınay, ^{*1} R. Tuğrul Erdem

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye
kemalaltinay506@hotmail.com, Orcid. 0000-0002-0155-6436,

^{*1}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye
email.tugrul.erdem@cbu.edu.tr, Orcid.0000-0002-8895-7602

Alıntı / Citation :

Altınay M.K, Erdem, R.T. (2023). *Investigation of the Structural System Safety of an Existing Reinforced Concrete Public Building According to TBEC-2018*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(2): 112-123. DOI: 10.53525/jster.1361250

ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Bu çalışma mevcut kamu binasının performansı hakkında literatüre katkı sunmaktadır
- Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan analiz ile elde edilmiştir.
- Benzer projeye sahip kamu binalarının performansı hakkında fikir sahibi olunmuştur.

Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 15 Eylül 2023
Kabul Tarihi : 22 Kasım 2023

DOI: 10.53525/jster.1361250

*Sorumlu Yazar:

R. Tuğrul Erdem,
tugrul.erdem@cbu.edu.tr
Tel: +90 236 2012326

ÖZET / ABSTRACT

Aktif fay hatlarının yoğun olarak bulunduğu ülkemizde, sıklıkla değişik büyüklüklerde depremler meydana gelmektedir. Yaşanan son yıkıcı depremler ile birlikte mevcut yapı stokunun performansının değerlendirilmesi için çalışmalar giderek hız kazanmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e (TBDY-2018) göre mevcut kamu binaları, deprem sonrasında kullanılması gereken bina sınıfına girmektedir. Bu sebeple, kamu binalarının olası büyük bir deprem sonrasında hizmete devam edebilmeleri için ayakta kalmaları önemlidir. Bu çalışma kapsamında, mevcut betonarme bir kamu binasının yapısal deprem performansı Protastructure bilgisayar yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Öncelikle, taşıyıcı sistemin statik projeye uygunluğu yerinde denetlenmiştir. Ardından, mevcut donatı durumu ve beton dayanımının belirlenmesi amacıyla malzeme testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında, yapı üç boyutlu olarak bilgisayar ortamında modellenmiştir. Mevcut binaya ait konum, yerel zemin sınıfı, beton sınıfı ve donatı detayları girilerek doğrusal olmayan itme analizi yöntemi ile yapısal elemanlarda oluşan hasar durumları ve buna bağlı olarak yapının taşıyıcı sistem güvenliği belirlenmiştir. Farklı deprem düzeyleri için yapılan analiz sonuçlarına göre, göçme bölgesinde birçok düşey taşıyıcı eleman bulunmaktadır. Bu sebeple, yapının hedeflenen performans düzeylerini karşılamadığı görülmüştür. Son olarak, çalışmadan elde edilen sonuçlar tablolar ve şekiller halinde sunulmuş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İtme analizi, Mevcut kamu binası, TBDY-2018, Taşıyıcı eleman



I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Türkiye, coğrafi konum itibariyle Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır ve ülkemizi etkileyen Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattı olmak üzere 3 adet temel fay hattı bulunmaktadır. Bu sebeple, nüfusun büyük bir bölümü deprem riski ile karşı karşıyadır. Tarihsel dönemlerdeki deprem aktiviteleri incelendiğinde, ülkemizde deprem tehlikesinin ne denli yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Geçmişte yaşanan büyük depremler neticesinde, önemli can ve mal kayıpları meydana gelmiştir.

Günümüzde hali hazırda kullanılmakta olan TBDY-2018’de gerek yeni yapılacak binalar için tasarım esasları, gerekse de mevcut bina taşıyıcı sistemlerinin değerlendirilmesi için analizi adımları ayrıntılı olarak tanımlanmıştır [1]. Ayrıca, kullanılacak malzeme kalitesi ve yerel zemin sınıfları ile ilgili güncelleştirilmeler yapılmıştır. Bunun yanında, Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) ile yapıya ait koordinatlar girilerek, farklı deprem düzeyleri için spektrum parametreleri ifade edilmiştir [2]. Bu parametreler, binaların performans değerlendirmelerinde kullanılmaktadır.

Betonarme binalarda dikkat edilmesi gereken konuların başında, yük aktarımının doğru şekilde oluşturulması gelmektedir. Betonarme bir taşıyıcı sistemde yük aktarımı genel olarak döşemelerden kirişlere, kolonlara ve temellere şeklinde meydana gelmektedir. Bu sebeple, yüklerin yapı içerisinde saplama kiriş vb. gibi uygulamalar neticesinde fazla dolaşmadan en kısa yoldan temele aktarılması önemlidir. Yaşanan depremlerin ardından incelenen binalarda oluşan hasarlar incelendiğinde bazı hataların farklı yerlerde tekrarlandığı görülmektedir. Projelendirme aşamasında yapılan hatalar, düşük malzeme kalitesi, uygulama hataları, birleşim bölgelerinde donatı eksikliği, kısa kolon ve yumuşak kat oluşumu bu hatalardan bazılarıdır.

Yaşanan son yıkıcı depremler neticesinde, mevcut fonksiyonları sebebiyle depremden sonra hizmete devam etmesi gereken mevcut kamu binalarının performanslarının değerlendirilmesi daha fazla önem kazanmıştır. Kamu yapı stokunda, hazırlanan tip projeler ile farklı bölgelerde benzer mimari ile yürürlükteki deprem yönetmeliğine göre inşa edilen binalar bulunmaktadır. TBDY-2018’de tanımlanan yeni esaslar göz önüne alındığında, özellikle eski deprem yönetmeliklerine göre projelendirilen kamu binalarının taşıyıcı sistem güvenliklerinin incelenmesi öncelik arz

etmektedir. Literatürde, ülkemizdeki kamu binalarının performanslarının incelendiği çalışmaların sayısı giderek artmaktadır [3-7].

Performans kavramı, yapıların olası bir deprem etkisine karşı göstermesi beklenen davranışın bir ölçüsüdür. Yeni yapılacak ve mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi, TBDY-2018’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Performans analizinde, her ne kadar doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri tanımlanmış olsa da, doğrusal yöntemlerin kullanılabilmesi için binaların sağlaması gereken şartlar bulunmaktadır. Bunun yanında, daha detaylı analiz adımları içeren doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar literatürde yerini almıştır. [9-16]. Ayrıca, geçmişteki depremlere ait ivme kayıtlarından yararlanılan zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaların sayısı, gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte giderek artmaktadır [17-20].

Bu çalışmada, mevcut betonarme bir kamu binasının deprem performansı incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, yapının bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmış, mevcut zemin koşulları ve malzeme özellikleri ile donatı detayları, Prota Yazılım firmasına ait Protastructure Enterprise 2022 lisanslı programına girilmiştir [21]. Ardından, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan artımsal itme analizi yapıya uygulanmıştır. Her iki doğrultuda gerçekleştirilen analizler neticesinde, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları ve buna bağlı olarak yapının performans düzeyi elde edilmiştir. Kamu binaları için benzer projeler uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, mevcut binanın doğrusal ötesi davranışı iki farklı deprem düzeyi için incelenmiştir. Bu sebeple, çalışmadan elde edilen sonuçların ileride yapılacak çalışmalar için faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

II. MALZEME VE YÖNTEM [MATERIALS AND METHOD]

İncelenen bina, 1991 tarihinde yapı kullanma belgesi almış bir belediye hizmet binasıdır. Bina, 2 adet bodrum kat, 1 adet zemin kat ve 3 adet normal kat olmak üzere toplam 6 kattan oluşmaktadır. Bina oturma alanı 383 m² olarak belirlenmiştir. Kat yükseklik değerleri, zemin katta 360 cm, normal katlarda 315 cm’dir. Bodrum kat yükseklikleri ise sırasıyla 315 ve 405 cm’dir. Yapının taşıyıcı sistem betonarmedir ve kirişli plak döşeme kullanılmıştır. Bina görünüşleri Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Bina cepheleri

Binanın mevcut beton dayanımını belirlemek amacıyla, bodrum katlar, zemin kat ve 1. kattan 3'er adet olmak üzere toplam 12 adet karot numunesi alınmıştır. Alınan

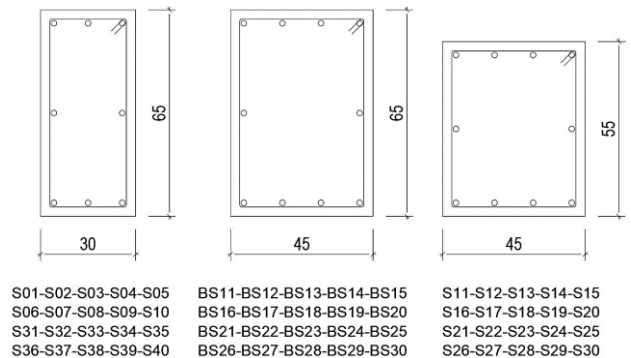
numunelere, aksel basınç yükü uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Karot test sonuçları

Yapı elemanı	Kat	Ortalama karot Çapı (mm)	Ortalama karot boyu (mm)	Basınç yüzeyi (cm ²)	Basınç yükü (kg)	Boy/Çap oranı düzeltme katsayısı	Beton basınç mukavemeti (N/mm ²)
S2B1	2.Bodrum	74	74	42.99	5120	1	11.9
S2B2	2.Bodrum	74	74	42.99	4570	1	10.6
S2B3	2.Bodrum	74	74	42.99	6170	1	14.4
S1B1	1.Bodrum	74	74	42.99	5680	1	13.2
S1B2	1.Bodrum	74	74	42.99	5420	1	12.6
S1B3	1.Bodrum	74	74	42.99	4340	1	10.1
S101	Zemin Kat	74	74	42.99	5460	1	12.7
S102	Zemin Kat	74	74	42.99	5150	1	12.0
S103	Zemin Kat	74	74	42.99	6000	1	14.0
S201	1.Kat	74	74	42.99	5300	1	12.3
S202	1.Kat	74	74	42.99	4890	1	11.4
S203	1.Kat	74	74	42.99	5100	1	11.9

Elde edilen karot numunesi sonuçlarına göre ortalama basınç mukavemeti 12.26 MPa, standart sapma ise 1.26 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu iki değer arasındaki fark 11.00 MPa'dır. Ortalama mukavemet değerine 0.85 katsayısının uygulanması ile elde edilen değer 10.40 MPa'dır. TBDY-2018 madde 15.2.5.3'e göre, projede tüm taşıyıcı elemanlar için kullanılacak beton basınç dayanımı C11 (11.00 MPa) olarak belirlenmiştir [1]. Taşıyıcı sistemin, projeye uygunluğunun belirlenmesi amacıyla ayrıntılı röleve çalışması yapılmıştır. Taşıyıcı sistemde kullanılan kolon boyutları 30x65, 45x65 ve 45x55 cm boyutlarındadır. Bodrum katlar haricinde, diğer tüm katlarda aynı kesit boyutları ve donatı düzeni kullanılmıştır. Yapıda düşey taşıyıcı olarak bodrum katlarda perdeler de mevcuttur. Kolon kesitleri ve donatı düzeni Şekil 2'de, enine ve boyuna donatı detayları ise Tablo 2'de görülmektedir. S11-S30 arasında isimlendirilen kolonlar, bodrum kattaki kolonların devamıdır ve kesit boyutları bodrum katlara göre

azalmıştır. Sıyırma testleri sonucunda, bodrum 1. katta yer alan sağ ve sol cephelerdeki perdeler ile S07 ve S08 kolon donatılarında korozyon tespit edilmiştir. Etriyelerde ise 135 derecelik kancaların uygulanmadığı görülmüştür. Ayrıca, yapısal elemanlarda farklı ve yetersiz paspayı mesafeleri ile karşılaşılmıştır.



Şekil 2. Kolon kesitleri



Tablo 2. Kolon boyut ve donatı detayları

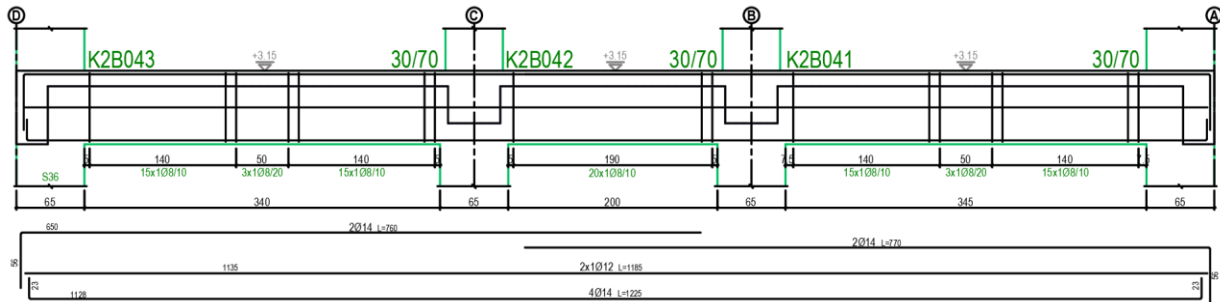
Kolon no	Kesit boyutları (cm)	Boyuna donatı	Enine donatı (cm)
BS11, BS12, BS13, BS14, BS15, BS16, BS17, BS18, BS19, BS20, BS21, BS22, BS23, BS24, BS25, BS26, BS27, BS28, BS29, BS30, (Bodrum katlar)	45x65	10Ø18	Ø8/20-30
S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S25, S26, S27, S28, S29, S30, (Diğer katlar)	45x55	10Ø18	Ø8/20-30
S01, S02, S03, S4, S05 S06, S07, S08, S09, S10 S31, S32, S33, S34, S35 S36, S37, S38, S39, S40	30x65	8Ø18	Ø8/10-20

Döşeme kalınlıkları tüm katlarda 15 cm'dir. Döşeme hareketli yük değerleri 2.00 kN/m², en üst katta ise çatı da oluşan yükler sebebiyle 3.00 kN/m² olarak alınmıştır [22]. Yapıda, 20 cm yalıtımlı ve 10 cm yalıtımsız olmak üzere iki çeşit duvar kalınlığı kullanılmıştır. Kiriş kesit boyutları kat içerisinde farklılık göstermektedir. Montaj donatısı olarak 2Ø14 kullanılmıştır. Örnek olması açısından, röntgen analizi yapılan kirişlere ait kesit detayları Tablo 3'te, K2B042 kirişi donatı açılımı Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kiriş boyut ve donatı detayları

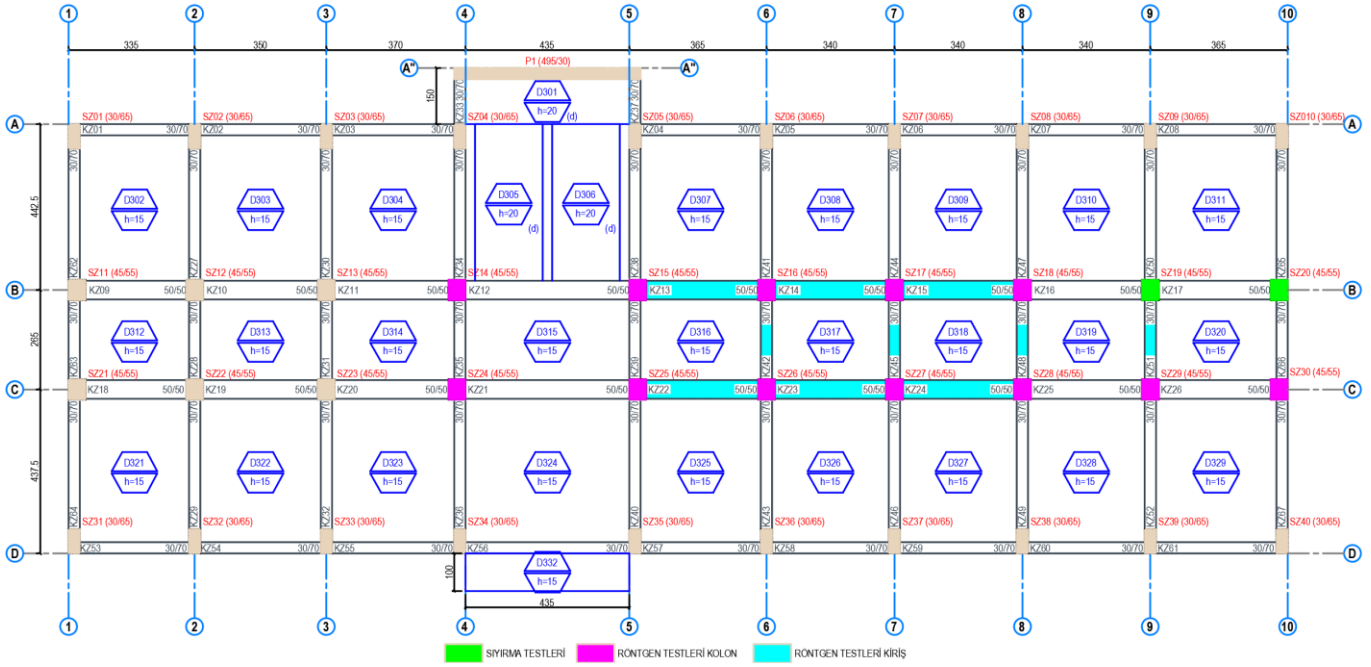
Kiriş no	Kesit boyutları (cm)	Açıklık	Gövde	Enine donatı (sarılma)	Enine Donatı (açıklık)
K2B023	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B024	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B025	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B026	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B027	30x70	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B021	50x50	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B039	30x70	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B042	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B045	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K2B048	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B021	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B035	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B039	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B042	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm

K1B045	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B013	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B022	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B023	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B014	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K1B015	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ18	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ19	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ20	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ21	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ22	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ23	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ24	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ25	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ26	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
KZ27	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K142	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K122	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K123	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K113	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K151	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K145	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K114	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K115	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K148	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K124	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K222	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K242	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K245	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K223	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K214	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K248	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K224	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K239	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K215	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K325	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K351	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K342	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K316	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K315	50x50 cm	6Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K348	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K324	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K314	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K339	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K345	30x70 cm	4Ø14	2Ø12	Ø8/15cm	Ø8/20cm
K323	50x50 cm	6Ø14	-	Ø8/15cm	Ø8/20cm



Şekil 3. K2B042 kiriş donatı düzeni

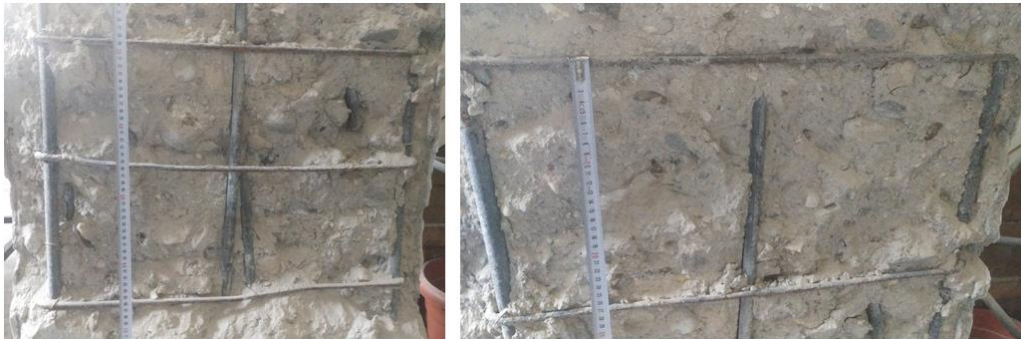
Mevcut binada, donatılarının belirlenmesi amacıyla giriş ve kolonlarda röntgen testlerinin yanı sıra sıyırma da yapılmıştır. Zemin kat üzerinde çalışma yapılan taşıyıcı sistem elemanları Şekil 4 üzerinde işaretlenmiştir.



Şekil 4. Zemin katta donatı tespiti yapılan elemanlar

Yapılan donatı çalışmaları sonucunda, tüm elemanlarda TBDY-2018’de kullanımına izin verilmeyen düz yüzeyle, dayanımı ve aderansı düşük olan BÇ I (S220) sınıfı donatı

çeliği kullanıldığı tespit edilmiştir. Sıyırma testlerine ait detaylar Şekil 5’te görülmektedir.



Şekil 5. Sıyırma testleri

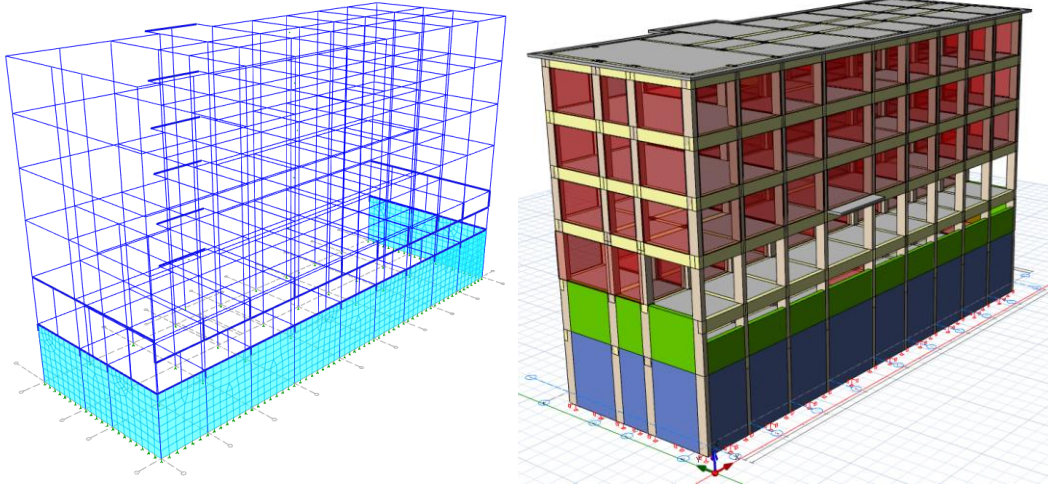
Belediye hizmet binası için yapılan geoteknik çalışmalar sonucunda, yerel zemin sınıfı orta sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları zemin cinsi özelliklerine sahip ZD olarak belirlenmiştir. Ayrıca, taşıma gücü yatak katsayısı

değeri 10.25 t/m^2 , zemin yatak katsayısı değeri ise 18600 t/m^3 tür. Mevcut betonarme binanın bulunduğu zeminde herhangi bir sıvılaşma riski bulunmamaktadır.

III. YAPISAL PERFORMANS ANALİZİ [STRUCTURAL PERFORMANCE ANALYSIS]

Mevcut bina performans analizi değerlendirmesi, TBDY-2018 Bölüm 15’te verilen esaslar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Yapı, öncelikle bilgisayar ortamında

modellenmiştir. Binaya ait çubuk eleman ve üç boyutlu görünüş Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Bina modeli

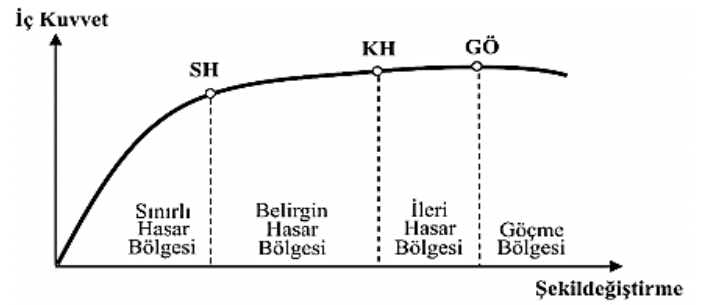
Modelleme işleminin ardından, TDTH uygulaması ile binaya ait konum, zemin ve deprem düzeyine ilişkin veriler sisteme girilmiştir ve interaktif web uygulamasından DD1 ve DD3 olmak üzere iki farklı deprem düzeyi için alınan değerler Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Spektral ivme değerleri

Parametre	DD1	DD3
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (SS)	1.747	0.366
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S1)	0.424	0.087
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SDS)	1.747	0.552
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (SD1)	0.795	0.209

İncelenen mevcut bina, deprem sonrası kullanımı gereken bina sınıfına girdiği için bina kullanım sınıfı 1 ve bina önem katsayısı değeri 1.50 olarak alınmıştır. Yapının performans analizi için şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımı uygulanarak, DD1 için kontrollü hasar, DD3 için de sınırlı hasar performans hedeflerinin sağlanması gerekmektedir

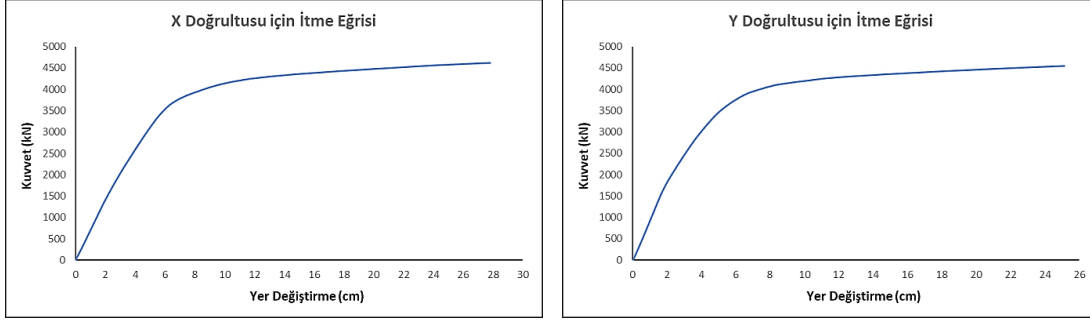
TBDY-2018'de, kesitler için Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları tanımlanmıştır. Ancak, gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir. Bu hasar sınır durumlarına bağlı olarak, kritik kesitlerinin hasar durumlarına göre oluşan hasar bölgeleri; Sınırlı Hasar Bölgesi (SHB), Belirgin Hasar Bölgesi (BHB), İleri Hasar Bölgesi (İHB) ve Göçme Bölgesi (GB) olarak Şekil 7'de isimlendirilmiştir [1].



Şekil 7. Hasar sınırları

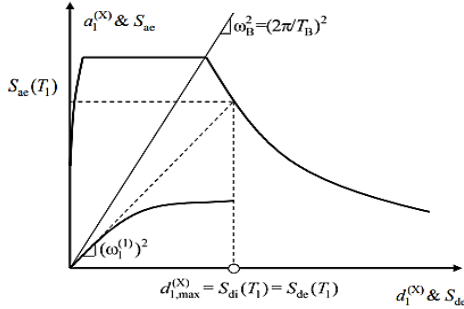
Deprem mühendisliğinde son yıllarda yapılan çalışmalar, klasik kuvvet esaslı tasarım yaklaşımı yerine yer değiştirme parametrelerinin göz önüne alındığı deplasman bazlı yaklaşımı esas almaktadır [23, 24]. Yeni yapılacak ya da mevcut betonarme binaların deprem performansları hakkında doğrusal yöntemlere göre daha gerçekçi sonuçlar veren statik ya da dinamik doğrusal olmayan yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, statik analiz yöntemleri daha pratik olmaları ve farklı bilgisayar yazılımlarında kolaylıkla uygulanabilmeleri sebebiyle tercih edilmektedir.

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden olan artımsal itme analizi ile yapının kuvvet ve deplasman ilişkisini ortaya koyan kapasite eğrisi elde edilmektedir. İtme analiz adımlarında, taban kesme kuvveti ve tepe noktası deplasmanın doğrusal ötesi değişimi izlenmektedir. Böylelikle, deplasman değerine bağlı olarak taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan deformasyonlar elde edilmektedir. Mevcut binada DD1 deprem düzeyi için elde edilen statik itme eğrileri Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Statik itme eğrileri

Statik itme analizinde, yapı hedef yer değiştirme noktasına kadar her bir doğrultuda itilerek, yapısal elemanlarda oluşan hasar durumları incelenmektedir. TBDY-2018’de tanımlanan koordinat dönüşümü ile modal kapasite diyagramı elde edilmektedir. Ardından, modal kapasite diyagramı, deprem spektrumu ile birlikte çizilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Modal kapasite diyagramı ve deprem spektrumu

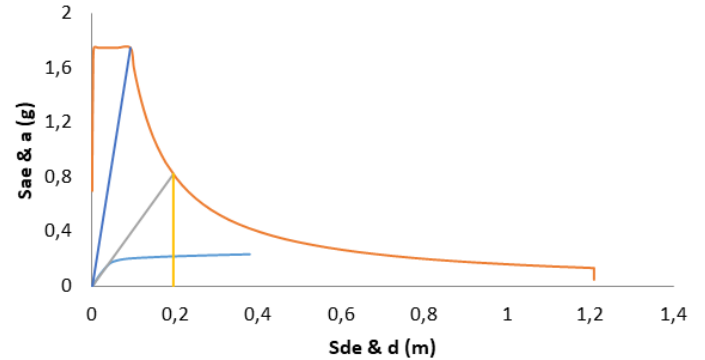
Mevcut binada deprem düzeyleri için elde edilen ve performans noktası olarak da isimlendirilen x ve y doğrultularındaki hedef yer değiştirme, DD1 için 25,85 cm ve 23,90 cm, DD3 için de 6.46 cm ve 6.64 cm olarak belirlenmiştir. Yapı, bu değerlere kadar itilerek, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumlarına göre performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Örnek olması açısından, DD1 deprem düzeyi için hesap adımları Tablo 5 ve Tablo 6’da verilmiştir. Ayrıca, hedef yer değiştirme tespiti için oluşturulan eğriler, Şekil 10 ve Şekil 11’de sunulmuştur.

Tablo 5. DD1 düzeyinde x doğrultusu için hesap adımları

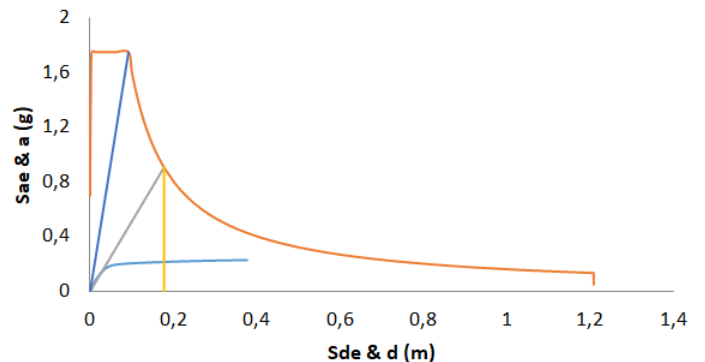
Parametre	Değer
1. Periyot değerlerine göre spektral yer değiştirme oranı	$T_1 = 0.582$ s ve $T_B = 0.455$ s için $Cr = 1.00$
2. T1’e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme	$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) = 1 \times 0.20 = 0.20$ m $d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) \rightarrow d_{1,max}^{(x)} = 0.20$
3. Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi	$\Gamma = 43.08$ ve $\Phi_{di} = 0.03$
4. Modal katkı çarpanı	$U_{xN1}^{(p)} = \Phi_{di} \times \Gamma \times d_{1,max}^{(x)} = 0.03 \times 43.08 \times 0.20 = 0.2585$ m
5. Tepe noktası mod şekli genliği	$T_1 = 0.582$ s, $T_B = 0.455$ s için $Cr = 1.00$
6. Yer değiştirme değeri	$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) = 1 \times 0.20 = 0.20$ m $d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) \rightarrow d_{1,max}^{(x)} = 0.20$

Tablo 6. DD1 düzeyinde y doğrultusu için hesap adımları

Parametre	Değer
1. Periyot değerlerine göre spektral yer değiştirme oranı	$T_1 = 0.510$ s ve $T_B = 0.455$ s için $Cr = 1.00$
2. T1’e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme	$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) = 1 \times 0.18 = 0.18$ m $d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) = 0.18$ m
3. Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi	$\Gamma = 44.26$ ve $\Phi_{di} = 0.03$
4. Modal katkı çarpanı	$U_{xN1}^{(p)} = \Phi_{di} \times \Gamma \times d_{1,max}^{(x)} = 0.03 \times 44.26 \times 0.18 = 0.2390$ m
5. Tepe noktası mod şekli genliği	$T_1 = 0.510$ s ve $T_B = 0.455$ s için $Cr = 1.00$
6. Yer değiştirme değeri	$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) = 1 \times 0.18 = 0.18$ m $d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) = 0.18$ m



Şekil 10. X doğrultusu için kapasite diyagramı ve spektrum eğrisi



Şekil 11. Y doğrultusu için kapasite diyagramı ve spektrum eğrisi



Her iki deprem düzeyi için tamamlanan artımsal itme analizleri sonucunda, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar bölgeleri belirlenmiştir. Oluşan hasar durumları,

kritik deprem doğrultusu için Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir. Kolon ve perde elemanlar, tabloda düşey eleman olarak isimlendirilmiştir.

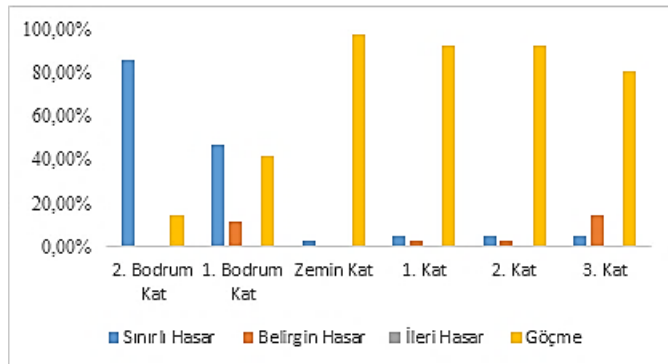
Tablo 7. DD1 deprem düzeyi için oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Düşey eleman	Bodrum 2. kat	53	0	0	9
	Bodrum 1. kat	29	7	0	26
	Zemin kat	1	0	0	40
	1. kat	2	1	0	38
	2. kat	2	1	0	38
	3. kat	2	6	0	33
Kiriş	Bodrum 2. kat	42	9	0	1
	Bodrum 1. kat	44	17	0	0
	Zemin kat	40	24	3	0
	1. kat	43	24	0	0
	2. kat	39	28	0	0
	3. kat	41	26	0	0

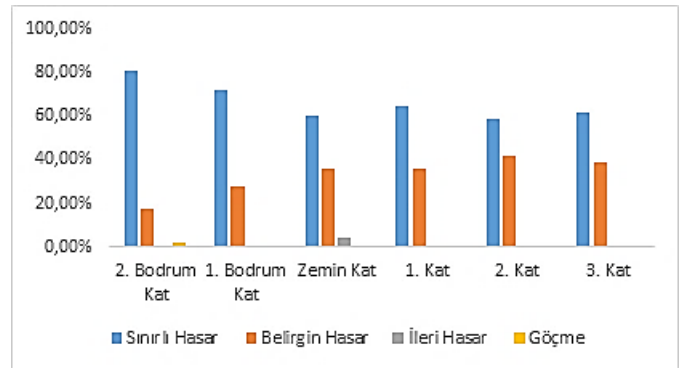
Tablo 8. DD3 deprem düzeyi için oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Düşey eleman	Bodrum 2. kat	53	0	0	9
	Bodrum 1. kat	29	7	0	26
	Zemin kat	1	0	0	40
	1. kat	3	1	0	37
	2. kat	2	2	0	37
	3. kat	6	2	0	33
Kiriş	Bodrum 2. kat	26	26	0	0
	Bodrum 1. kat	35	24	0	2
	Zemin kat	35	32	0	0
	1. kat	38	24	0	0
	2. kat	38	28	0	0
	3. kat	39	28	0	0

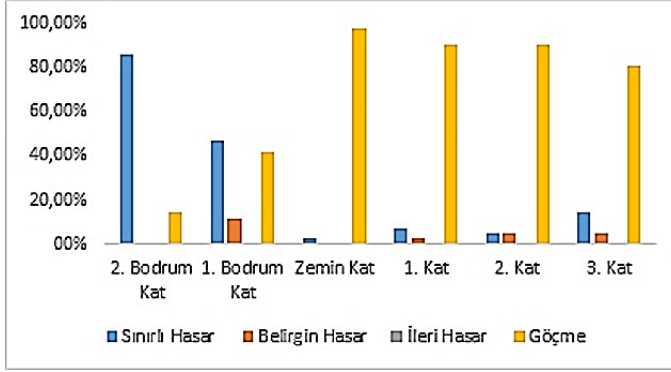
DD1 ve DD3 deprem düzeyleri için oluşan hasar durumlarının görsel olarak sunulması amacıyla, hasar bölgelerinde bulunan yapısal elemanların yüzde olarak dağılımları, kritik doğrultu için Şekil 12-15 arasında sunulmuştur.



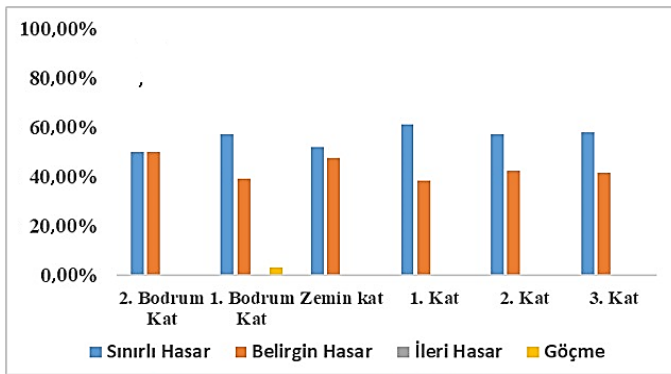
Şekil 12. DD1 deprem düzeyinde düşey elemanlar için oluşan hasar dağılımları



Şekil 13. DD1 deprem düzeyinde kirişler için oluşan hasar dağılımları



Şekil 14. DD3 deprem düzeyinde düşey elemanlar için oluşan hasar dağılımları



Şekil 15. DD3 deprem düzeyinde kirişler için oluşan hasar dağılımları

Mevcut binanın performans değerlendirme özeti Tablo 9 ve Tablo 10'da görülmektedir. Analizler sonucunda, rijitliğin en düşük olduğu ve kolon ebatlarında ani değişkenliğe maruz kalınan zemin kat, performans düzeyi en kritik kat olarak değerlendirilmiştir. Binanın her iki deprem düzeyi için sağlaması gereken performans düzeyi farklıdır. DD1 deprem düzeyi için kontrollü hasar, DD3 deprem düzeyi için ise sınırlı hasar performans hedefleri konulmuştur. Fakat her iki deprem düzeyi için de performans düzeyi göçme olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. DD1 deprem düzeyi için bina performansı

Deprem düzeyi	Performans hedefi	En kritik kat	Bina performans düzeyi	Durum
DD1	Kontrollü hasar	Zemin kat	Göçme	X

Tablo 10. DD3 deprem düzeyi için bina performansı

Deprem düzeyi	Performans hedefi	En kritik kat	Bina performans düzeyi	Durum
DD3	Sınırlı hasar	Zemin kat	Göçme	X

TBDY-2018'e göre, kontrollü hasar performans düzeyinin sağlanması için mevcut betonarme binanın herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %35'inin ileri hasar bölgesine geçebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Sınırlı hasar düzeyi için yapılan hesap sonucunda, kirişlerin en fazla %20'si belirgin hasar bölgesine geçebilir. Ancak, diğer taşıyıcı elemanlarının tümünün sınırlı hasar bölgesinde olması gerekmektedir [24]. Mevcut belediye hizmet binası için yapılan analizler sonucunda, her iki deprem düzeyinde göçme bölgesinde kiriş ve kolonların olduğu görülmektedir. Bu sebeple, hedeflenen performans hedefleri karşılanamamıştır.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Ülkemizde yaşanan son büyük depremler neticesinde, yapı stokunun büyük bir kısmını oluşturan mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla çalışmalar giderek artmaktadır. Özellikle, bina kullanım amaçlarına bağlı olarak deprem sonrasında kullanılması gereken mevcut binaların taşıyıcı sistem güvenliklerinin belirlenmesi önemlidir. Mevcut binalardaki performans hedeflerinin sağlanamaması durumunda, binanın yıkılıp, tekrar inşa edilmesi ya da ekonomik açıdan da uygun olması şartıyla güçlendirme yöntemlerinden bir ya da birkaçı uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada, mevcut betonarme bir kamu binasının taşıyıcı sistem güvenliği araştırılmıştır. Yerinde yapılan ölçümler ile binanın statik projesine uygunluğu incelenmiştir. Daha sonra, yapılan malzeme deneyleri ile mevcut beton dayanımı ve taşıyıcı elemanlardaki donatı düzeni elde edilmiştir. Binanın beton sınıfı C11, donatı çeliği sınıfı ise düz donatılardan oluşan BÇI olarak belirlenmiştir. Yüksek dayanımlı beton ve nervürlü donatı kullanılmadığı için, beton ve donatı arasında yüksek düzeyde aderans bulunmamaktadır.

Mevcut betonarme bina bilgisayar ortamında modellenerek, doğrusal olmayan itme analizi her iki deprem doğrultusunda binaya uygulanmıştır. Binanın kullanım amacına bağlı olarak, TBDY-2018'e göre iki farklı deprem düzeyi için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, her bir kat düzeyinde bulunan düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları elde edilmiştir. Bu hasar oranlarına bağlı olarak, binanın deprem performansı ortaya çıkarılmıştır.

Binanın sağlaması gereken performans hedefi, DD1 deprem düzeyi için kontrollü hasar, DD3 deprem düzeyi



için de sınırlı hasardır. Kontrollü hasar performans düzeyinde, can güvenliğini sağlamak üzere, yapısal elemanlarda onarılması mümkün olan hasar düzeyleri oluşabilmektedir. Sınırlı hasar performans düzeyinde ise yapısal elemanlarda sınırlı hasara izin verilmektedir. Kritik deprem doğrultusundaki analiz sonuçları incelendiğinde, DD1 düzeyi için 190 adet elemanın, DD3 düzeyi için de 184 adet elemanın göçme bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Bu sebeple, hedeflenen performans düzeyi, her iki deprem düzeyi için elde edilememiştir.

Çalışmaya konu olan mevcut kamu binasının doğrusal olmayan analiz sonuçları incelendiğinde, birçok düşey taşıyıcı elemanın göçme bölgesinde bulunduğu belirlenmiştir. Hedeflenen performans düzeylerine ulaşamamanın en önemli sebepleri, beton basınç dayanımının düşük olması ve bazı kolonlarda yetersiz boyuna donatı alanı ile sarılma bölgelerinde kullanılan etriyelerin sıklaştırma yetersizliğidir.

Kolonlarda mantolama işlemi ve taşıyıcı sisteme ilave perde duvarların eklenmesi ile mevcut yapının güvenliği artırılabilir. Ancak, göçme bölgesinde bulunan elemanların fazlalığı sebebiyle, yapılacak güçlendirme çalışmasının maliyetinin de yüksek çıkacağı öngörülmektedir.

TBDY-2018, Bölüm 15 kapsamında mevcut betonarme binaların performans değerlendirmesi doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu çalışmada, yapının deprem performansının daha gerçekçi olarak elde edilebildiği doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, incelenen yapının mevcut kamu binası olması sebebiyle, iki farklı deprem düzeyi için analizler gerçekleştirilmiştir. Kamu binalarında tip projelerin uygulandığı hesaba katıldığında, bu çalışmadan elde edilen sonuçların benzer binalar için de yol gösterici olacağı ve çalışmanın deprem mühendisliği alanında literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] TBDY-2018, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [2] “Türkiye Deprem Tehlike Haritası,” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [3] C. Cicen, “Mevcut Bir Betonarme Kamu Binasının Performans Analizi ve Güçlendirilmesi,” *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
- [4] İ. Koçak, “Seçilen Bir Kamu Binasının Doğrusal Ötesi Davranışında Beton Dayanımı ve Etriye Aralığının Etkisi,” *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2007.
- [5] H. Bilgin, “Kamu Yapılarının Deprem Performanslarının Doğrusal Ötesi Analiz Yöntemleriyle Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri,” *Doktora Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2007.
- [6] A. Boztepe, “Bir Kamu Binasının Doğrusal Olmayan Davranışının Mevcut Yönetmeliklere Göre İncelenmesi,” *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2005.
- [7] İ. İ. Atabey and R. Kanit, “Yığma bir okul binasının deprem performans analizi.” *Selçuk Univ. J. of Eng. Sci.*, vol. 13, no. (1), 2014, pp. 1-11.
- [8] R. T. Erdem, “Performance evaluation of reinforced concrete buildings with softer ground floors,” *Gradevinar*, vol. 68, no. (1), 2016, pp. 39-49.
- [9] B. Uyan ve R. T. Erdem, “Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği bulunan betonarme binaların deprem performansının araştırılması,” *ALKÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 3, no. (3), 2021, pp. 42-54.
- [10] K. Golghate, B. Vijay, and S. Amit, “Pushover analysis of 4 storey’s reinforced concrete building,” *Int. J. of Latest Trends in Eng. and Tech.*, vol. 2, no. (3), 2013, pp. 80-84.
- [11] M. Bosco, A. F. Giovanna, A. Ghersi, E. Marino, and P. R. Rossi, “Seismic assessment of existing rc framed structures with in-plan irregularity by nonlinear static methods,” *Earth. and Struct.*, vol. 8, no. (2), 2015, pp. 401-422.
- [12] R. T. Erdem, and K. Karal, “Performance evaluation and strengthening of reinforced concrete buildings,” *Rev. de la Constr.*, vol. 21, no. (1), 2022, pp. 53-68.
- [13] L. Halder, and S. Paul, “Seismic damage evaluation of gravity load designed low rise rc building using nonlinear static method,” *Proc. Eng.*, vol. 144, 2016, pp. 1373-1380.
- [14] S. Foroughi ve S. B. Yüksel, “TBDY 2018’e göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile betonarme yapı sistemlerinin performans analizi,” *OKÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 5, no. (1), 2022, pp. 33-55.
- [15] L. Martins, and V. Silva, “Development of a fragility and vulnerability model for global seismic risk analyses,” *Bull. Earth. Eng.*, vol. 19, 2021, pp. 6719-6745.
- [16] F. Parisi, M. Scalvenzi, and E. Brunesi, “Performance limit states for progressive collapse analysis of reinforced concrete framed buildings,” *Struct.*, vol. 20, no. (1), 2019, pp. 68-84.
- [17] M. E. Öncü, B. Yön, ve Z. Ç. Ulucan, “Zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak binalardaki A3 düzensizliğinin incelenmesi,” *SDÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 13, no. (2), 2009, pp. 147-155.



- [18] D. Öztürk, ve K. B. Bozdoğan, “Elastik ötesi spektrum kullanılarak yapıların doğrusal olmayan analizi,” *Uluslar. Tek. Bil. Derg.*, vol. 5, no. (3), 2013, pp. 49-55.
- [19] A. S. Patil, and P. D. Kumbhar, “Time history analysis of multistoried rcc buildings for different seismic intensities,” *Int. J. Stuct. and Civ. Eng. Res.*, vol. 2, no. (3), 2013, pp. 1-8.
- [20] D. M. Seyedi, P. Gehl, J. Douglas, L. Davenne, N. Mezher, and S. Ghavamian, “Development of seismic fragility surfaces for reinforced concrete buildings by means of nonlinear time-history analysis,” *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 39, no. (1), 2010, pp. 91-108.
- [21] ProtaStructure 2022, Prota Yazılım, Ankara, 2022.
- [22] TS-498, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları,” Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [23] I. Gün, ve F. Tuncer, “Bursa’da yıkım kararı verilen tescilli betonarme yapıların deprem performans analizleri etkinliğinin tartışılması,” *Kent Akad.*, vol. 16, no. (1), 2023, pp. 297-317.
- [24] T. İbiş, ve H. Ulutaş, “Yeni yapılacak betonarme bir binanın TBDY 2018’e göre deprem performansının belirlenmesi,” *BEÜ Fen Bilim. Derg.*, vol. 10, no. (3), 2021, pp. 1104-1124.