



2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİ SONUCU HASAR GÖREN 11 KATLI BETONARME BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Enes EKİNCİ^{1*}, Alper ÖZMEN¹

¹ Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 44280 Malatya, Türkiye

Özet: 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremleri ülkemizde bulunan mevcut yapı stokumuzun deprem güvenliği açısından incelenmesi gerektiğini gözler önüne sermiştir. Bu çalışmada 11 katlı betonarme bir yapının 2018 Deprem Yönetmeliğine göre deprem performans analizi aşamaları detayları gösterilmiş ve yapının deprem performansı elde edilmiştir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde verilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilen performans analizi sonucunda, çalışma kapsamında incelenen yapı her ne kadar kontrollü hasar performans hedefini sağlamış olsa da yapılan saha incelemesinde, yapının bazı taşıyıcı sistem elemanlarında hasarlar gözlemlenmiştir. Bu durum yapı tasarımı aşaması ile proje uygulamasının arasında bulunan birtakım uyumsuzluk, hata ve kusurların yapının deprem performansı üzerinde oldukça önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Sahada yapılan mevcut durum incelemesi ve performans analizi sonucunda elde edilen bulgular, yapı tasarımı ile ilgili birtakım önerileri de bünyesinde barındıracak şekilde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, Performans analizi, Güçlendirme, TBDY 2018, Deprem


Evaluation of the Earthquake Performance of an 11-Storey Reinforced Concrete Building Damaged After the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes


Abstract: The earthquakes that impacted Kahramanmaraş on February 6, 2023, have highlighted the necessity to evaluate the seismic safety of the current building inventory in our nation. This research provides a comprehensive seismic performance analysis of an 11-story reinforced concrete edifice executed in compliance with the 2018 Turkish Seismic Code. During field inspections, it was observed that specific structural elements of the building sustained damage following the 2023 Kahramanmaraş earthquakes, despite the fact that the controlled damage performance target was achieved, as indicated by the performance analysis, which was conducted in accordance with the 2018 Turkish Building Seismic Code. The situation demonstrated that certain discrepancies, errors, and defects between the structural design phase and project application have a significant impact on the earthquake performance of the structure. The results from the field research and performance analysis offer comprehensive insights and propose recommendations for enhanced design practices in next building projects.

Keywords: Concrete, Performance analysis, Retrofitting, TBDY 2018, Earthquake

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 44280 Malatya, Türkiye

E mail: enes.ekinci@inonu.edu.tr (E. EKİNCİ)

Enes EKİNCİ  <https://orcid.org/0000-0001-7669-887X>

Alper ÖZMEN  <https://orcid.org/0000-0003-1335-3780>

Gönderi: 20 Kasım 2024

Kabul: 24 Aralık 2024

Yayınlanma: 15 Mart 2025

Received: November 20, 2024

Accepted: December 24, 2024

Published: March 15, 2025

Cite as: Ekinci E, Özmen A. 2025. Evaluation of the earthquake performance of an 11-storey reinforced concrete building damaged after the 2023 Kahramanmaraş earthquakes. BSJ Eng Sci, 8(2): 285-297.

1. Giriş

Türkiye, dünya üzerindeki en aktif deprem kuşaklarından biri olan Akdeniz-Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almakta olup, bu durum ülkenin her bölgesinde ciddi bir sismik tehlike oluşturmaktadır. Özellikle Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatlarının etkisinde bulunan ülkemiz, bugüne kadar birçok yıkıcı depreme sahne olmuş ve bu durum yapı güvenliğini sürekli olarak gündemde tutmuştur. Nitekim Doğu Anadolu Fayı üzerinde meydana gelen 6 Şubat 2023 tarihli iki büyük deprem (Mw 7.6 Pazarcık ve Mw 7.7 Elbistan), mevcut yapı stoğumuzun önemli bir kısmının depreme karşı yetersiz olduğunu acı bir şekilde ortaya koymuştur. Bu bağlamda, mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi ve dayanıklılığı düşük olanların uygun

yöntemlerle güçlendirilmesi, can ve mal güvenliğini sağlamak adına büyük önem arz etmektedir (Küçükaslan ve Altan, 2021). 6 Şubat tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinin ardından, Hatay ilinde yapılan saha araştırmaları sonrasında binaların ağır hasar almasına ve çökmesine neden olan birçok farklı problem tespit edilmiştir. Bu problemlerin en belirgin olanları ise; yetersiz kesme donatısı kullanımı, beton kalitesinin düşük olması, güçlü kiriş-zayıf kolon etkisi, kısa kolon oluşumu, yumuşak kat ve burulma etkileri olarak sıralanmıştır (Altınsu vd., 2024). Meydana gelen bu büyük depremler sonrasında yapılan bir başka araştırmada ise, araştırmacılar endüstriyel yapıların hasar durumlarını incelemiştir. Çalışmada incelenen endüstriyel yapılar; sıvı depolama tankları, silolar,



prefabrik betonarme yapılar ve az katlı çelik konstrüksiyon taşıyıcı sisteme sahip farklı endüstriyel yapılar olarak belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar; sıvı depolama tanklarında duvar burkulması, petrol depolama tesisinde ankraj yetersizliğinden dolayı devrilme, silolarda iç basınç nedeniyle oluşan ürün deşarjlarının yaşanması ve kolon-kiriş elemanları arasındaki yetersiz bağlantılar şeklinde çok çeşitli hasar nedenlerinin gözlemlendiğini ortaya çıkarmıştır (Öztürk vd., 2024). Deprem yıkıcı etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada ise Kahramanmaraş depremlerinin neden olduğu yapısal hasarlar; zemin ve taşıyıcı sistem ilişkisi açısından değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları yapı-zemin etkileşiminin yapıların deprem performansları üzerinde en önemli etken olduğu ve özellikle zayıf zeminlerde inşa edilecek yapılarda hasarların oldukça ağır bir şekilde gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Araştırmacılar, ayrıca, depremler sonucunda elde edilen saha gözlemlerinin mevcut deprem yönetmeliğinde bulunan bazı hususlarının tekrar ele alınmasını gerekli kıldığını belirtmişlerdir (Avcil vd., 2024).

Nemutlu vd. (2023) tarafından Kahramanmaraş depremlerinin araştırıldığı bir başka çalışma ise deprem nedeniyle meydana gelen kayıpların önceden tahmin edilebilmesini mümkün kılan kayıp değerlendirilmesi metodolojisini kullanmayı amaçlamıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular; can kayıpları tahminlerinde kullanılan modifiye edilen katsayılar ile gerçek sonuçların benzerlik gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, oldukça büyük yıkım oranına sahip şehirlerde ağır hasarlı veya yıkılmış bina sayılarının tam olarak örtüşmemesine rağmen, kayıp tahmin aşamalarının uygulanması halinde benzer sonuçların elde edilebileceği belirlenmiştir.

6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sonrasında gerçekleştirilen saha araştırmalarına benzer olarak, çok yakın bir tarihte (2020) yaşanan Sivrice depreminin yapılar üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışmaya da rastlanılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular 2020 yılında meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki Sivrice depremi sonrasında binaların hasar almalarının başlıca nedenlerinin; gevrek davranış sergileyen elemanlar, düşük beton kalitesi, kısa kolonlar, güçlü kiriş-zayıf kolon oluşumları ve büyük açıklıklı ağır konsol durumları ve donatı detaylarındaki eksiklikler olduğu belirtilmiştir (Nemutlu vd., 2021). Bu sonuçlar; depremin büyüklüğü ve merkez üssü gibi değişkenlerden bağımsız olarak, yapılarda gözlenen deprem hasarlarının oluşum nedenlerinin oldukça benzer olduğunu ve deprem dirençli şehirlere ulaşma hedefinin ancak bilimsel temellere dayalı yapı stoğunun yenilenmesi ile mümkün olabileceğini göstermiştir.

Türkiye'de depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda ilk yönetmelik düzenlemeleri 1940'lı yıllarda yapılmış olup, bilimsel ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda zaman içinde revize edilmiştir. Bu bağlamda, ülkemizdeki mevcut ve yeni inşa edilecek binaların deprem güvenliğini sağlamak amacıyla 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında

Yönetmelik (DBYBHY-2007), 2018 yılında güncellenerek Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği adıyla son haliyle yürürlüğe konulmuştur. Bu yeni yönetmelik gerek mevcut yapıların performans analizinde gerekse yeni tasarımlarda daha kapsamlı ve detaylı bir analiz yaklaşımı sunmaktadır (Kap vd., 2019). Özellikle mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi konusunda performans seviyelerini tanımlayan kriterler, doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile net bir çerçeve oluşturulmuştur (Özmen ve Sayın, 2021). 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre deprem performans analizlerini karşılaştırmalı olarak ele alan güncel literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Yalın vd. (2021) DBYBHY-2007 ile TBDY-2018 esas alınarak mevcut bir okul binasının deprem performansını karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçta, 50 yılda %2 aşılma olasılığı olan depremler için yönetmelikler arasında uyumsuzluk olduğunu çıkarımında bulunmuşlardır. Küçükaslan ve Altan, 2021 tarafından yapılan bir çalışmada, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği (TDY) ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) kullanılarak İstanbul'daki 9 katlı betonarme bir yapının güçlendirme öncesi ve sonrasındaki sismik performansını analiz etmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin sismik etkileri tahmin etmede aralarında farklar ortaya çıktığını göstermiştir.

Dalyan vd., 2019 5 katlı betonarme bir konut binasının taşıyıcı sistemi üzerinde doğrusal olmayan artımsal itme analizi gerçekleştirmiş ve hem DBYBHY (2007) hem de TBDY (2018) yöntemlerinden elde edilen sonuçları karşılaştırarak incelemiştir. Sarı, 2020 mevcut bir konut yapısının sismik performansını TBDY (2018) ve DBYBHY (2007) normlarına uygun olarak statik pushover analizi ile değerlendirmiştir. İncelenen konut binasının her iki kural uyarınca belirtilen performans standartlarına uygun olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca, Nemutlu 2019, TBDY (2018) ve DBYBHY (2007) kanunlarını Amerikan sismik kodu (ASCE 7-16) ile karşılaştırmalı olarak deprem hesaplamaları açısından analiz etmiştir. Coşkun vd., 2023 yaptıkları çalışmada, Karabük ilinde 2002 yılında inşa edilmiş betonarme bir okul binasını değerlendirmekte ve eski deprem kuralları altında güçlendirme ihtiyacını ortaya koymaktadır. Güçlendirme kararı verilirken bina yaşı, inşaat maliyet oranı ve birleşik maliyetler gibi faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerektiğini önermişlerdir. Bu çalışmaların yanı sıra, mevcut yapıların 2018 Deprem Yönetmeliği esasları dikkate alınarak deprem performansının analiz edildiği yapıldığı çalışmalar da mevcuttur (Yüzbaşı ve Yerli, 2018; Severcan ve Sınan, 2019; Kap vd., 2019; Foroughi ve Yüksel, 2022; Işık ve Tuncer, 2023).

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş depremlerinde hasar gören 11 katlı bir betonarme yapının, 2018 Deprem Yönetmeliği hükümlerine uygun olarak deprem performansı analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, yapının mevcut

durumunu değerlendirerek sahada gözlemlenen hasarların nedenlerini ortaya koymak ve deprem performansını belirlemektir. Ayrıca, analizler sonucunda elde edilen veriler ışığında, yapı tasarım ve uygulama süreçlerinde yapılan hataların etkisi üzerinde durulmuş; gelecekte benzer yapıların depreme karşı güvenli hale getirilmesi için öneriler geliştirilmiştir. Bu çalışmayı benzerlerinden ayıran temel özellik, 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında hasar görmüş mevcut bir yapının deprem performansının incelenmesine odaklanmasıdır. Mevcut hasarlı bir yapının deprem performansını, 2018 Deprem Yönetmeliği çerçevesinde değerlendiren bu çalışma, deprem sonrası gözlemlenen hasarların performans analizleri ile uyumunu ortaya koymayı amaçlamıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, incelenen binanın deprem dayanıklılığı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) kapsamında yer alan 'Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tasarımı İçin Özel Kurallar' başlıklı bölümde tanımlanan Doğrusal mayan Hesap Yöntemleri doğrultusunda Deprem Hesabı'na uygun şekilde analiz edilmiştir.

Şekil 1'de özetlenen adımlara bağlı kalınarak

gerçekleştirilmiştir. Bina Malatya ili Yeşilyurt ilçesi sınırlarında bulunmaktadır. Bina, bodrum, zemin ve 9 normal kat olmak üzere toplam 11 kattan oluşmaktadır. Kirişli plak döşemeli betonarme taşıyıcı sistem tarzında inşa edilen binada kat yükseklikleri bodrum katta 3 m, zemin katta 4.5 m ve normal katlarda ise 3 m'dir. Öncelikle yapının statik projesi incelenmiş ve sahada röleve çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra, yapının deprem performansının belirlenmesinde kullanılacak önemli bilgilerin elde edilmesi için saha çalışmaları yapılmıştır. Bina ile ilgili bilgiler ve analiz parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Her bir bina tipi için bilgi seviyesi ve TBDY 2018 bölüm 15.2.12'de belirtilen bilgi seviyesi katsayıları, binaların denetiminden elde edilecek temel bilgilerin kapsamına göre belirlenecektir. Bilgi seviyeleri buna göre kapsamlı ve sınırlı olarak sınıflandırılacaktır. Yapı elemanı kapasiteleri, elde edilen bilgi seviyeleri kullanılarak hesaplanacaktır. Taşıyıcı sistem özellikleri, sınırlı bilgi düzeyinde bina üzerinde alınması gereken ölçümlerle belirlenir. Kapsamlı bilgi seviyesinde sınırlı bilgi seviyesine göre daha fazla sayıda ölçüm yapılır. Bu çalışma kapsamında incelenen yapı Kapsamlı Bilgi Düzeyi dikkate alınarak incelenmiştir. Bu bölümde anlatılan işlemler kapsamlı bilgi düzeyine göre gerçekleştirilmiştir.



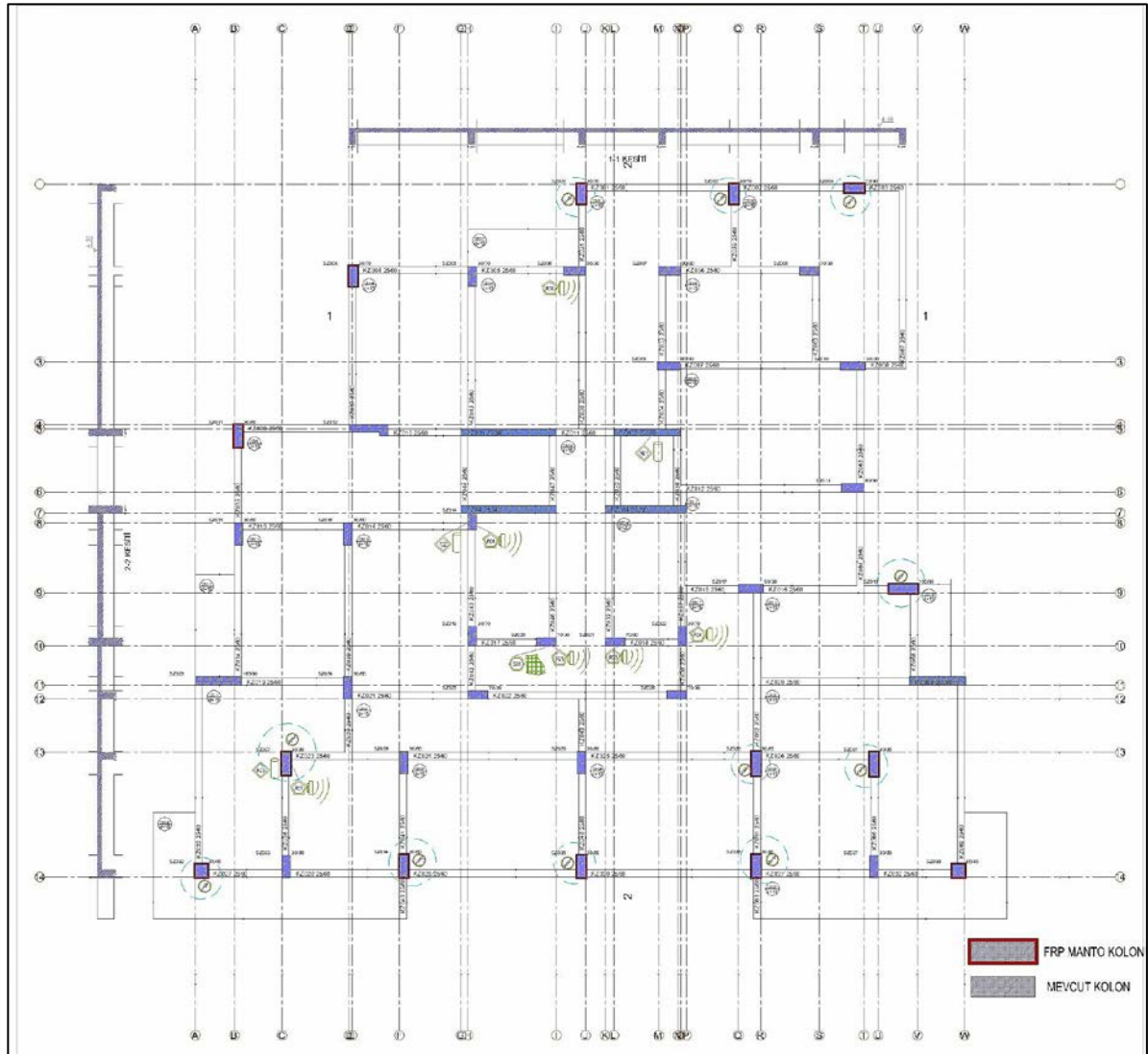
Şekil 1. TBDY 2018'e göre deprem performans analizi işlem adımları.

Binanın taşıyıcı sistem planını elde etmek amacıyla gerçekleştirilen saha çalışması kapsamında, yapısal elemanların mevcut durumu detaylı olarak incelenmiş ve taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları, malzeme özellikleri ve bağlantı detayları tespit edilmiştir. Bu veriler, bina modelinin oluşturulmasında temel referans olarak kullanılmıştır. Elde edilen bilgiler bir bina hesaplama modeli oluşturmak için yeterli olmalı ve her kat için, tüm betonarme elemanlar ve bölme duvarların konumu, malzemesi, eksen açıklıkları, yükseklikleri ve

boyutlarını içermelidir. Kat planlarında varsa kısa kolon ve hasarlı elemanlar belirtilmiştir. Binanın komşuları ile ilişkisi (ayrık, bitişik, bağlantılı/bağlantısız) belirtilmiştir. Saha çalışmalarında elde edilen örnek pafta Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu pafta üzerinde karot alınan, sıyırma yapılan, donatı tarama yapılan ve hasarlı olan elemanlar işaretlenmiştir. Ayrıca mevcut aplikasyondan farklı olan elemanların mevcut olması halinde yine bu pafta üzerinde gösterilecektir.

Tablo 1. İncelenen yapı ile ilgili bilgiler

| | |
|---|------------------------------------|
| Binanın Adresi | Yeşilyurt, Malatya |
| Kat Adedi | 11 (B+Z+N) |
| Kat Yükseklikleri | B - Z - N: 3.0m - 4.5m -3m |
| Binanın Toplam Yüksekliği | 31.50 m |
| Toplam Yapı Alanı | 4675 m ² |
| Bina Türü | Perdeli Çerçevesi Betonarme Sistem |
| Beton Sınıfı | C25/30 |
| Donatı Sınıfı | S420 |
| Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S _{ds} /S _{d1}) (DD2) | 0.725 / 0.178 |
| Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S _s /S ₁) (DD2) | 0.805 / 0.223 |
| Yerel Zemin Sınıfı | ZB |
| Yapı Önem Katsayısı (I) | 1 |
| Zemin Taşıma Kapasitesi | 63.7 t/m ² |
| Düşey Yatak Katsayısı | 3260 t/m ³ |
| Analiz Türü | Non-Linear Çok Modlu İtme Analizi |
| Kullanılan Yönetmelik Ve Standart | TBDY 2018, TS 498 |
| Kullanılan Yazılım | İDECAD STATİK 10 |



Şekil 2. Saha çalışmalarından elde edilen örnek kroki

2.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

2.1.1. Beton dayanımının elde edilmesi

TBDY 2018' Bölüm 15.2.5.3'de belirtilen esaslara uyularak yapı üzerinde farklı taşıyıcı elemanlardan karot örnekleri alınmıştır. Numuneler TS EN 12504-1'de belirtilen şartlara uygun olarak kolonlardan veya perdelerden alınmıştır. Mevcut betonun dayanımı; çapı ve uzunluğu 100 mm olan karotların test edilmesinden elde edilen dayanım değerleri kullanılarak herhangi bir katsayı uygulanmadan elde edilebilir. Farklı uzunluk/çap oranlarına sahip karot örneklerinden bulunan test sonuçlarının dönüştürülmesi uygun dönüştürme faktörleri kullanılarak yapılmalıdır. Elemanların kapasitesini belirlemek için, mevcut beton dayanımı (ortalamanın 0,85 katı) ve (ortalama eksi standart sapma) değerlerinde numunelerden elde

edilen değerlerden büyük olanı ile belirlenecektir.

En küçük değrin istatistiksel olarak sapkın bir sonuç olup olmadığını belirlemek için, bir grup beton numunesinin test sonuçları arasında kalan sonuçların ortalaması ile en küçük değer arasındaki fark değerlendirilmelidir. Bu nedenle, değerlendirme sırasında en düşük tek değerın kalan sonuçların ortalamasının %75'inden az olması durumunda gruptaki numune sonuçları dikkate alınmaz.

Bu bilgiler dikkate alınarak, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün imkânlarıyla söz konusu yapıdan zemin kattan 3 adet, diğer katlardan ise 2'şer adet olmak üzere toplan 23 adet karot örneği alınmıştır. Alınan karot örneklerinin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yapıdan alınan karot numunelerine ait sonuçlar

| Kat No | Karot No | Silindir Ebadı | | Boy / Çap | Kırılma Yüğü (N) | Basınç Dayanımı (MPa) |
|--------------------------|----------|----------------|----------------|-----------|------------------|-----------------------|
| | | Çap (mm) | Yükseklik (mm) | | | |
| K-B-1 | 1 | 100 | 100 | 1 | 256200 | 32,6 |
| K-B-2 | 2 | 100 | 100 | 1 | 212700 | 27,1 |
| K-Z-1 | 3 | 100 | 100 | 1 | 200300 | 25,5 |
| K-Z-2 | 4 | 100 | 100 | 1 | 306900 | 39,1 |
| K-Z-3 | 5 | 100 | 100 | 1 | 247500 | 31,5 |
| K-1-1 | 6 | 100 | 100 | 1 | 319100 | 40,6 |
| K-1-2 | 7 | 100 | 100 | 1 | 206000 | 26,2 |
| K-2-1 | 8 | 100 | 100 | 1 | 184600 | 23,5 |
| K-2-2 | 9 | 100 | 100 | 1 | 172400 | 22,0 |
| K-3-1 | 10 | 100 | 100 | 1 | 297900 | 37,9 |
| K-3-2 | 11 | 100 | 100 | 1 | 304700 | 38,8 |
| K-4-1 | 12 | 100 | 100 | 1 | 258600 | 32,9 |
| K-4-2 | 13 | 100 | 100 | 1 | 301800 | 38,4 |
| K-5-1 | 14 | 100 | 100 | 1 | 305300 | 38,9 |
| K-5-2 | 15 | 100 | 100 | 1 | 325000 | 41,4 |
| K-6-1 | 16 | 100 | 100 | 1 | 216900 | 27,6 |
| K-6-2 | 17 | 100 | 100 | 1 | 307600 | 39,2 |
| K-7-1 | 18 | 100 | 100 | 1 | 246400 | 31,4 |
| K-7-2 | 19 | 100 | 100 | 1 | 313700 | 39,9 |
| K-8-1 | 20 | 100 | 100 | 1 | 273900 | 34,9 |
| K-8-2 | 21 | 100 | 100 | 1 | 253600 | 32,3 |
| K-9-1 | 22 | 100 | 100 | 1 | 247000 | 31,4 |
| K-9-2 | 23 | 100 | 100 | 1 | 292100 | 37,2 |
| Ortalama Basınç Dayanımı | | 33,5 | | | | |
| Standart Sapma | | 5,94 | | | | |

Ortalama basınç dayanımı: $\frac{(32,6+27,1+25,5+\dots+37,2)}{23} = 33,5$
MPa olarak elde edilmiştir.

Standart Sapma değeri ise:

$$\sqrt{\frac{(32,6-33,5)^2+(27,1-33,5)^2+(25,5-33,5)^2+\dots+(37,2-33,5)^2}{(23-1)}}$$

= 5,94 olarak elde edilmiştir.

TBDY 2018'de yer alan "Bir grup beton örneğine ait deney sonuçları arasında en küçük değer ile geriye kalan sonuçların ortalaması arasındaki farkın değerlendirilmesi ile en küçük değer in istatistiki olarak sapan bir sonuç olup olmadığı kontrol edilecektir. Bu amaçla, gruptaki numune sonuçlarının değerlendirilmesinde, en düşük tek değer, geriye kalan diğer sonuçların ortalamasının %75'inden daha düşük ise bu numune değerlendirmeye alınmaz" ibaresi uyarınca en küçük basınç dayanımı değeri olan 22 MPa'nın değerlendirmeye alınıp alınmayacağı kontrol edilmiştir. En küçük dayanım hariç diğer 22 adet karot örneğinin ortalama basınç dayanımı = 34 MPa. $22 \leq 0,75 \cdot 34 = 25,5$ MPa sağlandığından en küçük basınç dayanımı değeri değerlendirmeye alınmamıştır. Sonuç olarak ortalama basınç dayanımı değeri 34 MPa olarak elde edilmiştir. Yine TBDY 2018'de yer alan "Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen (ortalama - standart sapma) değeri ile $(0,85 \times \text{ortalama})$ değeri arasından yüksek olan değer, mevcut beton dayanımı olarak kabul edilecektir." ibaresi uyarınca performans analizinde dikkate alınacak beton dayanım sınıfı belirlenmiştir.

| | | |
|-----------------|--|---|
| Basınç dayanımı | $\left\{ \begin{array}{l} 0,85 \times \text{ort. basınç dayanımı} \\ \text{Ort. Basınç dayanımı standart sapma} \end{array} \right.$ | değerlerinden büyük olanı seçilecektir. |
| | | değerlerinden büyük olanı seçilecektir. |

| | | |
|-----------------|---|--|
| Basınç dayanımı | $\left\{ \begin{array}{l} 0,85 \times 34 = 28,9 \text{ MPa} \\ 34 - 5,94 = 28,06 \text{ MPa} \end{array} \right.$ | değerlerinden 28,9 MPa olarak seçilmiştir. |
| | | değerlerinden 28,9 MPa olarak seçilmiştir. |

Beton basınç dayanımı 29 MPa olarak elde edilmiştir. Karot alınmasına örnek görseller, Şekil 3' te verilmiştir. TS EN 12504-1 madde 7.2'de belirtildiği üzere, karot alınan numunelerin boy/çap oranı 1 olması halinde küp basınç dayanımı olarak dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle, 100*100 mm boyutlarına sahip olan karot numunelerinin basınç dayanımı değeri C25/30 olarak belirlenmiştir. Yapı üzerinde karot alınması işlemlerine ilişkin örnekler Şekil 3'te verilmiştir.

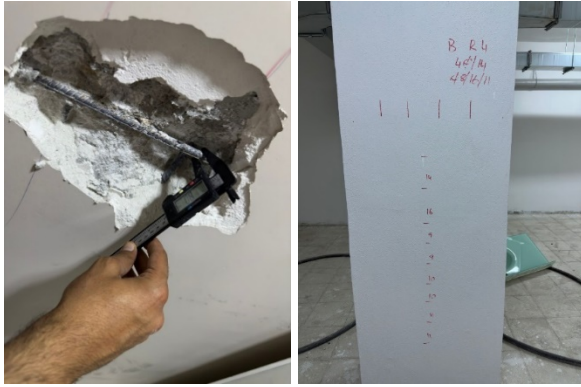


Şekil 3. Örnek karot alma işlemi

2.1.2. Donatı detaylarının belirlenmesi

Binanın betonarme detay projelerine ulaşılabilmesi koşuluyla, donatının projesine uygun olduğunu doğrulamak için aynı miktarda betonarme eleman üzerinde TBDY 2018 Bölüm 15.2.4.2'de belirtilen işlemler uygulanacaktır. Ayrıca, beton örtüsü kaldırılmamış durumdaki perdelerin ve kolonların %20'sinde, çerçeve kirişlerin ise %10'unda enine ve boyuna donatıların miktarı ve konumları, donatı tespit cihazları yardımıyla detaylı bir şekilde belirlenecektir. Bu işlem, yapının taşıyıcı elemanlarına dair doğru ve kapsamlı bilgi sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Proje ile uygulama arasında herhangi bir uyumsuzluk tespit edilmesi durumunda, perdeler, kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı olmak üzere donatı gerçekleştirme katsayısı hesaplanacaktır. Bu hesaplamalar, mevcut durumun projedeki tasarım değerleriyle olan farklılıklarını niceliksel olarak ortaya koymak amacıyla yapılacaktır. Bu katsayı, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatı miktarına oranını ifade etmektedir. Donatısı tespit edilmeyen elemanlara bu katsayı diğer tüm uygulanarak potansiyel donatı miktarları elde edilecektir. Betonarme projelerin ya da inşaat uygulama çizimlerinin bulunmadığı durumlarda, her katta en az iki adet olacak şekilde, kolon ve perdelerin %10'unda beton örtüsü sıyırılarak donatı tespiti yapılacaktır. Bu işlem, mevcut donatı düzeni ve miktarının doğru bir şekilde belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilecektir. Sökülen yüzeyler yüksek mukavemetli tamir harcı ile kaplanacaktır. Ayrıca, beton örtüsü kaldırılmayan kolon ve perdelerin %30'unda ve kirişlerin %15'inde enine ve boyuna donatı miktarını ve yerini tespit etmek için donatı tespit cihazları kullanılacaktır. Bu işlem adımları dikkate alınarak yapının donatı durumunu tespit etmek amacıyla aşağıda detayları verilen işlemler gerçekleştirilmiştir.

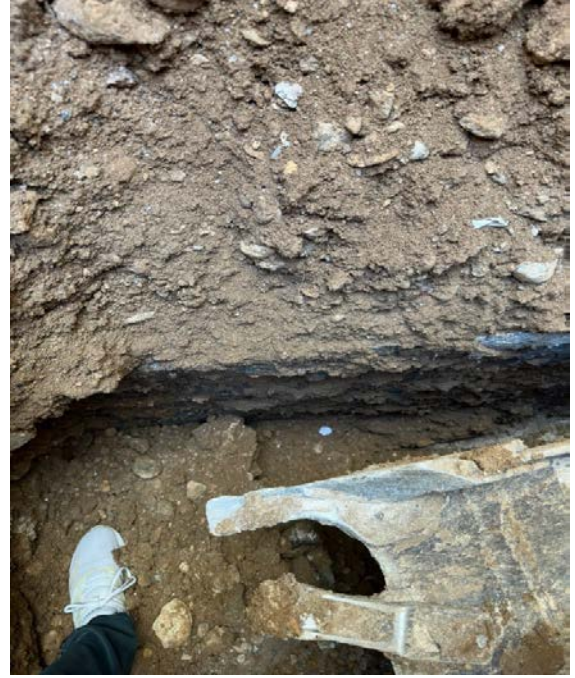
Yapının taşıyıcı sistem elemanları üzerinde donatı adet ve yerleşim detaylarının belirlenmesi amacıyla donatı taramaları ve pas payı sıyırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı elemanların donatı yerleşimleri ve çapları, yüzey durumları, etriye kanca açıları ve elemanların net beton örtüleri gibi parametrelerin belirlenmiştir. Pas payı sıyırma işlemleri ile donatı sınıfı S420 olarak tespit edilmiştir. Donatı tespit çalışması yapılan elemanlarda boyuna donatı oranının yönetmelikte belirtilen %1 minimum donatı oranına karşılık geldiği tespit edilmiştir. Donatı tarama işlemleri ve pas payı sıyırma işlemlerine ait görseller Şekil 4'te verilmiştir. Donatı tarama işlemleri neticesinde boyuna donatı sayıları, etriye aralıkları gibi detaylar pafta üzerinde işlenmiş ve bu detaylar yapının modellenmesinde dikkate alınmıştır.



Şekil 4. Pas payı sıyırma ve donatı tarama işlemlerine ait görseller

2.2. Temel Sisteminin Belirlenmesi

Yapı temelinin belirlenmesi amacıyla temel gözlem çukuru açılmış ve yapıda 85 cm kalınlığında bir radye temel bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan gözlem çukuru incelemesi sonucu yapının temelinin projeye uygun olduğu belirlenmiştir. Gözlem çukuruna ait fotoğraflar Şekil 5' de verilmiştir.



Şekil 5. Temel gözlem çukuru açılması

2.3. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

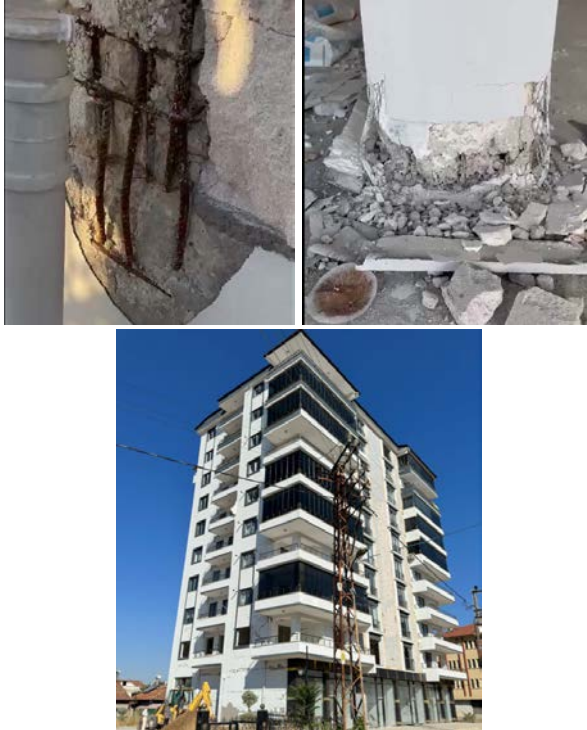
Özel bir firma tarafından yapının oturduğu zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla zemin etüdü yaptırılmış ve zemine ait özellikler Tablo 3'de verilmiştir. Zemin etüt sonuçlarına göre yapının oturduğu zemin ZB sınıfı olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. Zemin etüt raporundan elde edilen parametreler

| | | | |
|---|-----------------------------------|-------|-------|
| Koordinat | 38.3379°- 38.2592° | | |
| Yeraltı Su Seviyesi (m) | Yok | | |
| Yerel Zemin Sınıfı | ZB | | |
| Deprem Yer Hareket Düzeyi | DD-2 | | |
| Spektral İvme Katsayısı | Ss=0.805 | | |
| | S1=0.223 | | |
| | Sds=0.725 | | |
| | Sd1=0.178 | | |
| En Büyük Yer İvmesi (g) ve hızı (cm/sn) | PGA=0.336 | | |
| | PGV=20.909 | | |
| Yapı Önem Katsayısı (I) | 1 | | |
| Deprem Tasarım Sınıfı | DTS=1 | DTS=2 | DTS=3 |
| Zemin Taşıma Kapasitesi | 63.7 t/m ² | | |
| Oturma Miktarı (cm) | - | | |
| Analiz Türü | Non-Linear Çok Modlu İtme Analizi | | |
| Bina Kullanım Sınıfı | BKS=3 | | |
| Sıvılaşma Potansiyeli | Sıvılaşma Yoktur | | |
| Düşey Yatak Katsayısı | 3260 t/m ³ | | |
| Köşe Periyotları (Ta, Tb)(sn)(AFAD) | Ta=0.049 | | |
| | Tb=0.246 | | |

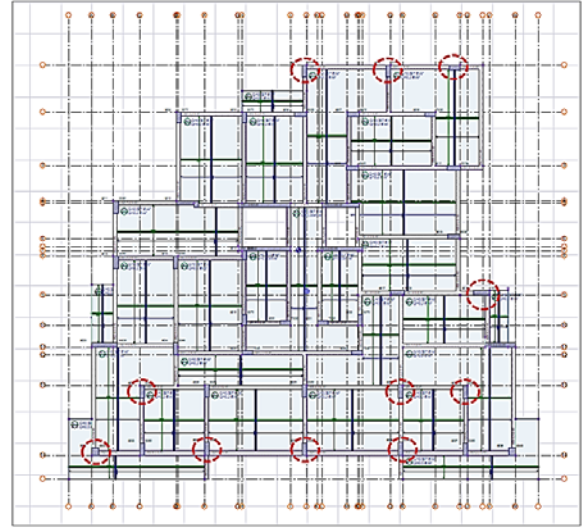
2.4. Bina Genel Durumunun Tespit Edilmesi

Binanın giriş katında birden fazla kolonda kabuk atma şeklinde hasar oluşumları gözlenmiştir. Zemin katta bulunan kolonların alt kısımlarında yeterli vibrasyon uygulaması yapılamaması segregasyon (ayrışma) oluşumuna neden olmuştur. Segregasyon oluşumunun ise deprem kuvveti etkisi altında kabuk atma hasarına zemin hazırladığı belirlenmiştir. Ayrıca, binanın giriş kısmında gözlenen hasarın da boğaz etriyesi kullanılmaması sebebiyle olduğu belirlenmiştir. Zemin kat kolonlarında gözlenen kabuk atma hasarları Şekil 6'da verilmiştir. Yapının statik projesi incelendiğinde, yapının y yönünde deprem perdeleriyle donatılmamış olduğu ve yapının bu yönde perde rijitliğinin yeterli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Mevcut hasarların daha çok y yönünde ortaya çıkmasındaki en önemli faktörün ise bu durum olduğu düşünülmüştür. Ayrıca kabuk atma şeklinde hasar alan elemanlarda korozyon oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durumun ortaya çıkmasına ise pas payı mesafesinin yetersiz olmasının sebep olduğu belirlenmiştir. İlgili binanın bazı girişlerinde sıva çatlakları gözlenmiş olsa da önemli sayılabilecek bir giriş hasarına rastlanmamıştır.



Şekil 6. Bina genel durumu ve gözlenen hasarlardan bazıları.

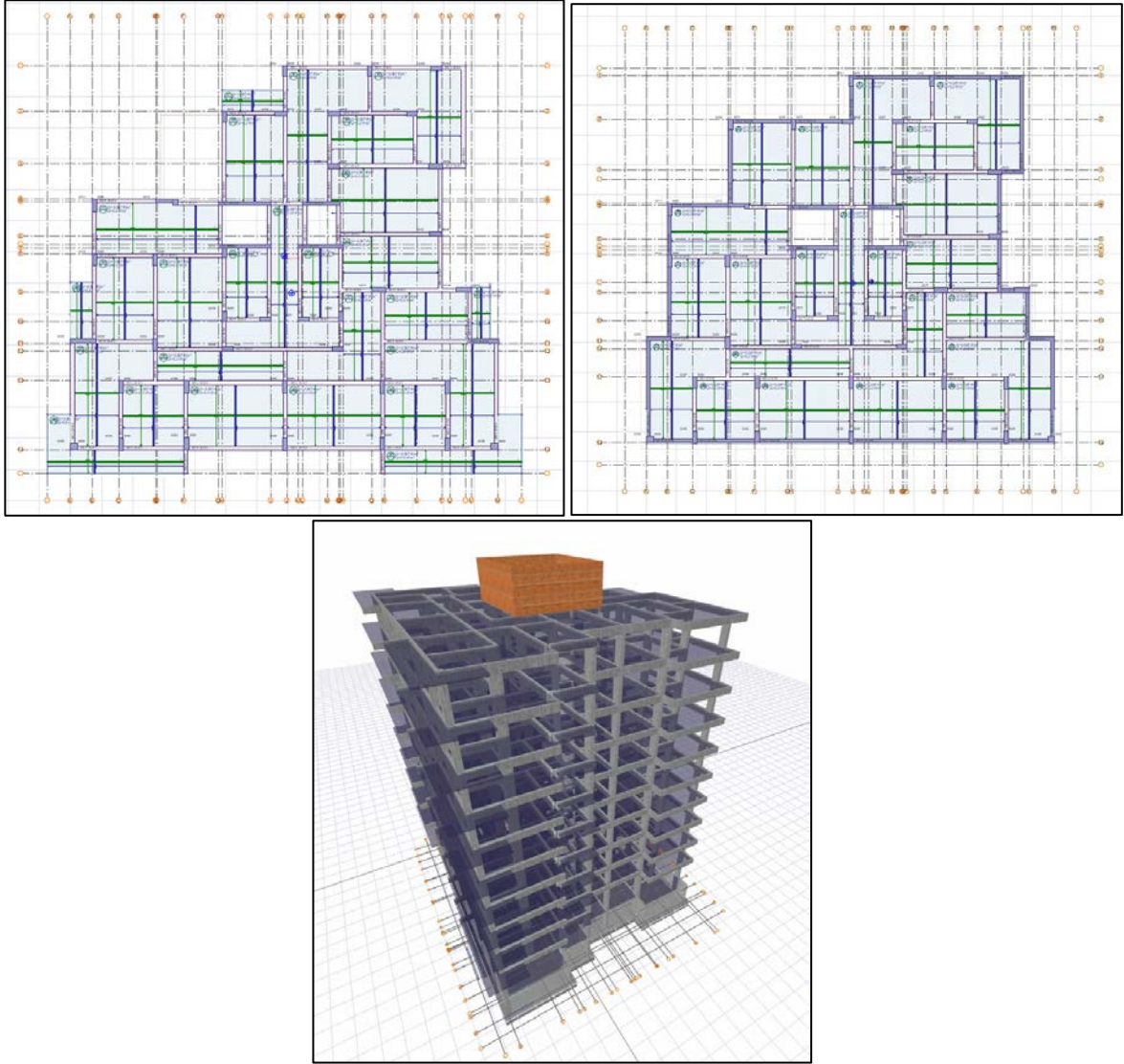
Taşıyıcı sistem elemanlarının boyut, adet ve mesafe kontrollerini içeren röleve incelemeleri yapılmıştır. Röleve çalışmaları sonrasında yapının kat planı çizilmiş ve zemin katta kabuk atma hasarı gözlenen elemanlar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Hasar alan elemanların proje üzerinde gösterimi.

2.5. Binanın 3D Modelinin Oluşturulması

Yapının üç boyutlu modeli İDECAD STATİK 10 programı kullanılarak oluşturulmuş olup, Şekil 8'de sunulmuştur. Modelleme sürecinde, TS 498'e göre ölü yükler, hareketli yükler ve mimari projeye uygun olarak duvar yükleri modele dâhil edilmiştir. Beton dayanımı, donatı sınıfı ve kesit özellikleri saha çalışmaları neticesinde elde edilen değerlere göre programa girilmiştir. Donatı düzenlemesi yapabilmek amacıyla öncelikle doğrusal analiz yapılmış daha sonra donatı düzenlemesi yapılarak donatı miktarları ve etriye aralıkları donatı tespit işlemi yapılan kolonlara uygulanmıştır. Geriye kalan taşıyıcı elemanlar üzerinde donatı gerçekleştirme katsayısı dikkate alınmıştır. Bu projede donatı gerçekleştirme katsayısı 1 olarak dikkate alınmıştır. Beton sınıfı C25/30 ve donatı sınıfı S420 olarak girilmiştir.



Şekil 8. Yapının 3D modeli ve kalıp planı.

3. Bulgular ve Tartışma

2018 TBDY'ne göre yapıda hedeflenen performans seviyesi; DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem) için KH (Kontrollü Hasar) olarak değerlendirilmektedir. Değerlendirme ve tasarım yaklaşımı olarak ise ŞGDT (şekil değiştirmelere göre değerlendirme ve tasarım) yaklaşımı kullanılmaktadır.

3.1. Performans Hesabında Kullanılacak Analiz Yöntemleri

Yapının deprem performansı TBDY 2018'de verilen doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak bulunabilir. Düşey yüklerin ve depremlerin birleşik etkileri sonucunda yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvetlerin, yer değiştirmelerin ve deformasyonların doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için binanın taşıyıcı sistem modelinin yüksek hassasiyetle oluşturulması gerekmektedir. Binadan toplanan verilerin kapsamına bağlı olarak, mevcut binaların yapısal sistemlerindeki belirsizlikleri hesaplama yöntemlerine yansıtma için TBDY 2018 Bölüm 15,2'de tanımlanan bilgi seviyesi katsayıları kullanılmıştır. İlgili yapıda bilgi düzeyi

katsayısı 1 olarak dikkate alınmıştır. Eğilme etkisindeki betonarme elemanlar için çatlama kesite ait etkin kesit rijitlikleri kullanılmıştır, bu rijitlikler TBDY 2018'in 4.5.8. Bölümüne göre hesaplanmıştır. Doğrusal olmayan hesaplama yöntemleri, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem etkileri altındaki yapısal performansını belirlemek ve güçlendirme hesaplamaları için tasarlanmıştır. Bu yöntemlerin amacı, sünek davranış için plastik şekil değiştirme ve plastik dönme taleplerini ve belirli bir deprem için gevrek davranış için iç kuvvet taleplerini hesaplamaktır. Daha sonra, kesit ve bina seviyelerindeki yapısal performans, talep büyüklükleri ile deplasman ve iç kuvvet kapasiteleri değerlendirilir. TBDY 2018'e göre mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını değerlendirmek amacıyla çeşitli doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında yer alan Tek Modlu İtme Yöntemleri, genellikle basit sistemlerin analizinde tercih edilirken, Çok Modlu İtme Yöntemleri, daha karmaşık yapılar için daha ayrıntılı sonuçlar sunar. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ise, yapının deprem anındaki dinamik tepkisini doğrudan zaman fonksiyonu

çinde inceleyerek daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Konut projeleri için Bina Kullanım Sınıfı (BKS) 3 olarak, bina önem katsayısı ise $I=1$ olarak kabul edilmiştir. DD-2 deprem düzeyine göre kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}), AFAD İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak yapının konum bilgileri üzerinden hesaplanmış ve 0.805 olarak belirlenmiştir. Bu parametreler, deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılan temel değerleri oluşturur ve yapı güvenliğinin sağlanması açısından önemli rol oynar. Yapıya ilişkin dikkate alınacak diğer temel bilgiler ise Tablo 4'te detaylandırılmıştır. Bu bilgiler, yapının deprem performans analizinde doğru bir modelleme ve hesaplama yapılmasını desteklemektedir.

Tablo 4. Deprem hesabında dikkate alınacak bazı bilgiler

| Yerel Zemin Sınıfı | ZB |
|----------------------------|-------|
| Deprem Yer Hareketi Düzeyi | DD2 |
| S_s | 0.805 |
| S_1 | 0.223 |
| PGA | 0.336 |
| S_{DS} | 0.725 |

Bu çalışma kapsamında incelenen yapının deprem performansının elde edilmesinde, bina yükseklik sınıfı (BYS) 5'den küçük ($BYS = 4$) olduğundan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden doğrusal olmayan çok modlu itme analizi uygulanmıştır.

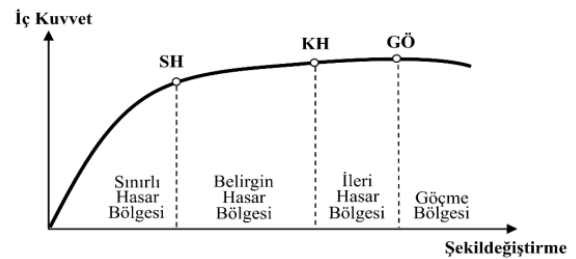
3.2. Yapının Deprem Performansının Değerlendirilmesi

Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) 1, 2, 3, 3a, 4 ve 4a için DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde normal bir performans hedefi bulunmamaktadır. Ancak ileri performans hedefi olarak Sınırlı Hasar (SH) hedefi belirlenmiş olup, bu durumda Şartlı Güvenlik Dayanıklılık Tasarımı (ŞGDT) yaklaşımı uygulanacaktır. Aynı DTS sınıfları için DD-2 seviyesinde, normal performans hedefi Kontrollü Hasar (KH) olarak belirlenmiş ve ŞGDT değerlendirme/tasarım yaklaşımı kullanılmaktadır; ileri performans hedefi ise bulunmamaktadır. DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde ise normal performans hedefi tanımlanmamış olup, ileri performans hedefi olarak Kontrollü Hasar (KH) seçilmiş ve yine ŞGDT yaklaşımı uygulanmaktadır. DTS sınıfları 1a ve 2a için DD-3 seviyesinde normal bir performans hedefi bulunmazken, ileri performans hedefi olarak Sınırlı Hasar (SH) hedefi belirlenmiş ve ŞGDT değerlendirme/tasarım yaklaşımı öngörülmüştür. DD-2 düzeyinde hem normal hem de ileri performans hedefi tanımlanmamışken, DD-1 seviyesinde normal performans hedefi bulunmamakta, ancak ileri performans hedefi olarak Kontrollü Hasar (KH) belirlenmiş ve ŞGDT yaklaşımı uygulanmaktadır. Bu tablo, farklı deprem seviyeleri ve yapı tasarım sınıflarına göre gerekli performans hedeflerini ve uygulanacak analiz yöntemlerini göstermektedir.

Bina performans seviyeleri, sismik aktiviteden kaynaklanan yapısal bileşenlere verilen farklı hasar derecelerini ifade eder. Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Seviyesi, yapısal elemanların hiç hasar görmediği veya minimum hasar gördüğü bir durumu tanımlar. Sınırlı Hasar (SH) Performans Seviyesi, yapısal sistemin doğrusal olmayan davranışının kısıtlandığı ve minimum hasarla sonuçlandığı bir durumu ifade eder. Kontrollü Hasar (KH) Performans Seviyesi, hasarın ağırlıklı olarak onarılabılır olduğu ve aşırı derecede şiddetli olmadığı, dolayısıyla can güvenliğinin sağlandığı bir senaryo ile ilgilidir. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Seviyesi, önemli hasarların meydana geldiği, ancak binanın kısmen veya tamamen çökmesinin önlenildiği bir senaryoyu tanımlar. Tablo 5'e göre çalışma kapsamında incelenen binanın DD-2 deprem düzeyinde KH performans hedefini sağlaması gerekmektedir.

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde kabul edilen binalarda bazı koşullar sağlanmalıdır. Öncelikle gevrek hasar almış elemanların güçlendirilmesi gerekmektedir. Betonarme yapılarda, her bir deprem yönü için yapılan analizlerde, ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'inin ve düşey elemanların belirli bir kısmının İleri Hasar Bölgesi'ne geçişine izin verilebilir." İkinci olarak, İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların her katta taşıdıkları kesme kuvveti toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta bu oran %40'ı geçmemelidir. Diğer taşıyıcı elemanların ise Sınırlı Hasar veya Belirgin Hasar Bölgesi'nde kalması gerekmektedir; ancak herhangi bir katta, alt ve üst kesitlerinde eşzamanlı olarak Belirgin Hasar Sınırı'nı aşan düşey elemanların, tüm düşey elemanlar tarafından taşınan toplam kesme kuvvetine katkısı %30'u geçmemelidir.

TBDY 2018 Bölüm 15.3, yapı elemanlarının kesit düzeyinde farklı hasar durumları ve bölgelerini tanımlamaktadır. Sünek elemanlar için üç ana hasar durumu ve sınır değerleri belirlenmiştir: Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) (Şekil 9).



Şekil 9. TBDY 2018'e göre kesit hasar sınırları.

Sınırlı Hasar, elemanda sınırlı elastik ötesi davranışı tanımlarken, Kontrollü Hasar, elemanın dayanımını güvenli bir şekilde sürdürebileceği bir elastik ötesi davranışı ifade eder. Göçme Öncesi Hasar ise, elemanda ileri düzeyde elastik ötesi deformasyonların olduğu durumu tanımlar. Bu sınıflandırma, gevrek hasar almış elemanları kapsamaz. Tanımlara göre, elemanlar kritik kesitlerdeki hasar durumlarına göre farklı hasar

bölgelerine ayrılmaktadır. Kritik kesitleri Sınırlı Hasar (SH) seviyesine ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ile Kontrollü Hasar (KH) arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile Göçme (GÖ) arasında yer alan elemanlar ise İleri Hasar Bölgesi'nde sınıflandırılır. GÖ seviyesini aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde değerlendirilir.

Çalışmalar neticesinde elde edilen veriler dikkate alınarak binanın taşıyıcı sistemi İDECAD V10 yazılımında oluşturulmuş ve doğrusal olmayan çok modlu itme analizi gerçekleştirilerek yatay ve düşey taşıyıcı elemanların kesit hasar durumları elde edilmiştir. Düşey taşıyıcı elemanların hasar durumları Şekil 10a' da ve kirişlerin hasar durumları ise Şekil 10b'de sunulmuştur.

| KAT | +X+0.3Y | | | | +X-0.3Y | | | | -X+0.3Y | | | | -X-0.3Y | | | | KAT | +Y+0.3X | | | | +Y-0.3X | | | | -Y+0.3X | | | | -Y-0.3X | | | | | |
|------|---------|------|----|----|---------|------|----|----|---------|------|----|----|---------|------|----|----|------|---------|----|----|------|---------|----|----|------|---------|----|----|------|---------|----|----|----|----|----|
| | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH |
| 10 | 77.5 | 22.5 | 0 | 0 | 76.2 | 23.8 | 0 | 0 | 70.1 | 29.9 | 0 | 0 | 58.1 | 41.9 | 0 | 0 | 93.9 | 6.1 | 0 | 0 | 82.6 | 17.4 | 0 | 0 | 89.8 | 10.2 | 0 | 0 | 68.5 | 31.5 | 0 | 0 | | | |
| 9 | 87.5 | 12.5 | 0 | 0 | 90.33 | +9.7 | 0 | 0 | 91.9 | 8.1 | 0 | 0 | 79.8 | 20.2 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 95.7 | 4.3 | 0 | 0 | | | |
| 8 | 93 | 7 | 0 | 0 | 93.5 | 6.5 | 0 | 0 | 95.3 | 4.7 | 0 | 0 | 90 | 10 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 96 | 4 | 0 | 0 | 96.4 | 3.6 | 0 | 0 | | | |
| 7 | 95.7 | 4.3 | 0 | 0 | 9.1 | 3.9 | 0 | 0 | 97.7 | 2.3 | 0 | 0 | 98 | 2 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 96 | 4 | 0 | 0 | 92.1 | 7.9 | 0 | 0 | | | |
| 6 | 100 | 0 | 0 | 0 | 96 | 4 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 98.1 | 1.9 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 96.1 | 3.9 | 0 | 0 | 96.4 | 3.6 | 0 | 0 | | | |
| 5 | 98 | 2 | 0 | 0 | 96 | 4 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 98.2 | 1.8 | 0 | 0 | 93.4 | 6.6 | 0 | 0 | 93.6 | 6.4 | 0 | 0 | 96.3 | 3.7 | 0 | 0 | 96.6 | 3.4 | 0 | 0 | | | |
| 4 | 98 | 2 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 97.1 | 2.9 | 0 | 0 | 97.4 | 2.6 | 0 | 0 | 94.8 | 5.2 | 0 | 0 | 96.4 | 3.6 | 0 | 0 | 96.5 | 3.5 | 0 | 0 | | | |
| 3 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 97.1 | 2.9 | 0 | 0 | 94 | 6 | 0 | 0 | 94 | 6 | 0 | 0 | 96.4 | 3.6 | 0 | 0 | 96.6 | 3.4 | 0 | 0 | | | |
| 2 | 98.5 | 1.5 | 0 | 0 | 99.2 | 0.8 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 97.4 | 2.6 | 0 | 0 | 93.6 | 6.4 | 0 | 0 | 93.8 | 6.2 | 0 | 0 | 93.2 | 6.8 | 0 | 0 | 91.3 | 8.7 | 0 | 0 | | | |
| 1 | 86.6 | 13.4 | 0 | 0 | 88.9 | 11.1 | 0 | 0 | 86.3 | 13.7 | 0 | 0 | 87.5 | 12.5 | 0 | 0 | 76.8 | 23.2 | 0 | 0 | 75.4 | 24.6 | 0 | 0 | 63.3 | 36.7 | 0 | 0 | 55.4 | 44.6 | 0 | 0 | | | |
| B | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 23.8 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | | | |
| Max. | 100 | 22.5 | | | 100 | 23.8 | | | 100 | 29.9 | | | 100 | 41.9 | | | 100 | | | | 100 | 24.6 | | | 100 | 36.7 | | | 100 | 44.6 | | | | | |

a) Düşey elemanların hasar yüzdeleri

| KAT | +Y+0.3X | | | | +Y-0.3X | | | | -Y+0.3X | | | | -Y-0.3X | | | | KAT | +Y+0.3X | | | | +Y-0.3X | | | | -Y+0.3X | | | | -Y-0.3X | | | | | |
|------|---------|------|----|----|---------|------|----|----|---------|------|----|----|---------|------|----|----|------|---------|------|----|------|---------|------|----|------|---------|------|----|------|---------|------|----|----|----|----|
| | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH | IH | GB | SH | BH |
| 10 | 54.8 | 45.2 | 0 | 0 | 61.3 | 38.7 | 0 | 0 | 67.7 | 32.3 | 0 | 0 | 67.7 | 32.3 | 0 | 0 | 82.9 | 17.1 | 0 | 0 | 77.1 | 22.9 | 0 | 0 | 85.7 | 14.3 | 0 | 0 | 85.7 | 14.3 | 0 | 0 | | | |
| 9 | 34.4 | 65.6 | 0 | 0 | 37.5 | 62.5 | 0 | 0 | 37.5 | 62.5 | 0 | 0 | 28.1 | 71.9 | 0 | 0 | 66.7 | 33.3 | 0 | 0 | 38.9 | 61.1 | 0 | 0 | 55.6 | 44.4 | 0 | 0 | 63.9 | 36.1 | 0 | 0 | | | |
| 8 | 18.8 | 81.2 | 0 | 0 | 21.9 | 78.1 | 0 | 0 | 25 | 75 | 0 | 0 | 18.8 | 81.2 | 0 | 0 | 41.7 | 58.3 | 0 | 0 | 36.1 | 63.9 | 0 | 0 | 33.3 | 66.7 | 0 | 0 | 36.1 | 63.9 | 0 | 0 | | | |
| 7 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 21.9 | 78.1 | 0 | 0 | 18.8 | 81.2 | 0 | 0 | 15.6 | 84.4 | 0 | 0 | 22.2 | 77.8 | 0 | 0 | 22.2 | 77.8 | 0 | 0 | 22.2 | 77.8 | 0 | 0 | 27.8 | 72.2 | 0 | 0 | | | |
| 6 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 12.5 | 87.5 | 0 | 0 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 12.5 | 87.5 | 0 | 0 | 13.9 | 86.1 | 0 | 0 | 13.9 | 86.1 | 0 | 0 | 16.7 | 83.3 | 0 | 0 | 22.2 | 77.8 | 0 | 0 | | | |
| 5 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 12.5 | 87.5 | 0 | 0 | 8.3 | 91.7 | 0 | 0 | 8.3 | 91.7 | 0 | 0 | 8.3 | 91.7 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | | | |
| 4 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | | | |
| 3 | 3.1 | 96.9 | 0 | 0 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 3 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | | |
| 2 | 3.1 | 96.9 | 0 | 0 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 6.2 | 93.8 | 0 | 0 | 2 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | | |
| 1 | 3.1 | 96.9 | 0 | 0 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 12.5 | 87.5 | 0 | 0 | 9.4 | 90.6 | 0 | 0 | 1 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | 5.6 | 94.4 | 0 | 0 | | |
| B | 73.7 | 26.3 | 0 | 0 | 63.2 | 36.8 | 0 | 0 | 63.2 | 36.8 | 0 | 0 | 78.9 | 21.1 | 0 | 0 | 36 | 64 | 0 | 0 | 40 | 60 | 0 | 0 | 40 | 60 | 0 | 0 | 48 | 52 | 0 | 0 | | | |
| Max. | 73.7 | 96.9 | | | 63.2 | 93.8 | | | 67.7 | 90.6 | | | 78.9 | 93.8 | | | 82.9 | 94.4 | | | 77.1 | 94.4 | | | 85.7 | 94.4 | | | 85.7 | 94.4 | | | | | |

b) Kirişlerin hasar yüzdeleri

Şekil 10. Elemanların hasar yüzdeleri; a) düşey elemanların hasar yüzdeleri, b) kirişlerin hasar yüzdeleri.

Doğrusal olmayan sismik hesapların uygulanması, TBDY Bölüm 15.6.2'den türetilen birim şekildeğiştirme taleplerinin, birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılmasını ve dolayısıyla yapısal sistem performansının kesit düzeyinde değerlendirilmesini içerir. Kolon ve kirişlerde yığılı plastik davranış modelinden elde edilen plastik mafsallı dönme değerlerinin, mevcut binaların performans analizi yoluyla belirlenen plastik dönme sınır değerleriyle karşılaştırılmasını içerir. Benzer şekilde, perde duvarlar ve poligon duvarlar için yayılı plastik davranış modeli ile belirlenen beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme değerleri, birim şekil değiştirme sınır değerleri ile kıyaslanır. Plastik mafsallı dönmesi ve birim yer değiştirme değerleri pushover analizi kullanılarak türetilmiş ve kesit performansı sınır değerlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. İzin verilen birim şekil değiştirme ve plastik dönme sınırları, TBDY bölüm

5.8.1.1, 5.8.1.2, 5.8.1.3 ve 5.8.1.4'te belirtildiği gibi belirlenir. Sünek eleman kesitleri için hasar limitleri olarak adlandırılan üç performans seviyesi belirlenmiştir. Bunlar, Göçmenin Önlenmesi (GÖ), Kontrollü Hasar (KH) ve Sınırlı Hasar (SH)' dir. Mevcut binaların performans analizinde, her bir kesit için birim şekil değiştirme ve plastik dönme sınırları hem doğrusal hem de doğrusal olmayan hesaplama yöntemleri için geçerli olan belirtilen performans seviyelerine göre belirlenir. Binaların performansı, birim şekil değiştirme ve plastik dönme talepleri yukarıda belirtilen sınır değerlere göre değerlendirilerek değerlendirilir. İncelene yapıda hedeflenen performans düzeyi KH olduğundan bu bölümde KH kesit hasar sınırları için gerekli bilgiler paylaşılmıştır. TBDY Madde 5.8.1.3 'e göre Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi için yayılı plastik davranış modeli 'ne göre hesaplanan beton malzemesinin birim

şekildeğiştirme sınır değeri ε_c (KH) ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme sınır değeri ε_s (KH) eşitlik 1 ile hesaplanır. Aynı performans düzeyi için Yığılı plastik davranış modeli 'ne göre hesaplanan plastik dönmelerin sınır değeri θ_p (KH) eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır. Ayrıca $\theta_p^{(GÖ)}$ ifadesinin açılımı eşitlik 3'de verilmiştir.

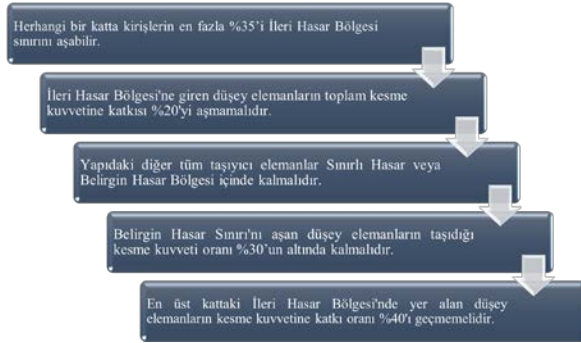
$$\varepsilon_c(KH) = 0.75 \left(\varepsilon_c^{(GÖ)} \right); \varepsilon_s(KH) = 0.75 \left(\varepsilon_s^{(GÖ)} \right) \quad (1)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (2)$$

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

$\theta_p^{(GÖ)}$, Göçme ötesi (GÖ) bölgesinde elemanın maruz kaldığı plastik dönmeyi ifade eder. ϕ_u , elemanın plastik kapasitesine ulaştığı noktadaki maksimum eğrilik değeri. ϕ_y akma eğriliğini, L_p plastik mafsalsal uzunluğu, L_s elemanın serbest uzunluğunu ve d_b donatı çapını ifade eder. Bu hesaplamalardan elde edilen veriler her bir kat için Şekil 10' da yüzdelik olarak verilmiştir.

Şekil 10'dan elde edilen sonuçlar ışığında binanın performans düzeyi 2018 TBDY'nde belirlenen sınır değerler (Şekil 11) kapsamında değerlendirilmiştir. Taşıyıcı elemanlardan elde edilen değerler Şekil 11' de verilen KH performans hedefi şartlarının yerine getirdiğinden yapının performans düzeyi, Kontrollü Hasar olarak belirlenmiştir.



Şekil 11. KH performans düzeyinin sağlanması için gerekli koşullar.

Yapının performans düzeyi KH olarak elde edilmiş olsa da 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası yapının taşıyıcı sisteminde birtakım hasarlar gözlemlenmiştir. Depremler sonrası binalarda gözlenen hasarların analitik performans değerlendirmeleriyle uyumsuz olabileceği, mevcut yapıların tasarım ve analiz standartlarının saha performansını tam yansıtmayabileceğine işaret etmektedir. Özellikle, Türkiye gibi yüksek sismisiteye sahip bölgelerde, binaların karmaşık zemin-yapı etkileşimleri, işçilik hataları ve çevresel etkenler nedeniyle kontrol dışı davranışlar sergileyebileceği literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır. Örneğin, saha çalışmalarında görülen hasar, kullanılan analiz yöntemlerinin, özellikle doğrusal olmayan davranışları tam olarak yansıtmakta yetersiz kalabileceğini ve yapıların teorik olarak belirlenen performans seviyelerinin sahada farklılık gösterebileceğini

göstermektedir (Er vd., 2023; Yenidoğan, 2024). Bu bağlamda, Kahramanmaraş depremleri sonrası hasar gören yapının teorik olarak KH performans seviyesinde olsa da analiz ve gerçek hasar düzeyi arasındaki farklılığın sebeplerini incelemek önemlidir. Bu sebepler arasında yapının inşaat kalitesi, yaş ve bakım durumu, zemin özellikleri ve yapısal elemanların birbirleriyle etkileşimi yer almaktadır. Bu tür incelemeler, deprem performansı analizlerinin güncel saha verileri ışığında sürekli olarak güncellenmesi gerektiğini ve gelecekteki analiz yöntemlerinde bu etkenlerin daha doğru bir şekilde dikkate alınmasının önemini vurgular.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde hasar gören 11 katlı bir betonarme yapının deprem performansı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) esaslarına göre analiz edilmiştir. Analiz sonucunda yapının performans düzeyi, Kontrollü Hasar olarak belirlenmiştir. Bu durum, yapının deprem etkisi altında güvenlik sınırları içinde kalabildiğini, ancak taşıyıcı sistemde gözle görülür hasarların oluşabileceğini göstermektedir. Ancak, 2023 depremleri sonrası yapılan saha gözlemlerinde, yapının bazı taşıyıcı elemanlarında beklenenden fazla hasar tespit edilmiştir. Bu uyumsuzluk, tasarım ve analiz sonuçları ile saha performansı arasındaki potansiyel farklılıkları gündeme getirmektedir. Örnek vermek gerekirse, yapıda gözlenen hasar oluşumlarının neredeyse tümünde düğüm noktalarında boğaz etriyesi kullanılmadığı tespit edilmiştir. Bu kritik bölgelerde kullanılması gereken boğaz etriyesinin kullanılmaması ve bu nedenle kabuk atma hasarlarının gözlenmiş olması yapının deprem performansının tasarlandığı şekilde değil inşa edildiği şekilde olacağı gerçeğini gözler önüne sermektedir. Diğer bir yandan, kabuk atma hasarı oluşan kolonlarda yapılan incelemelerde donatı korozyonunun mevcut olduğu ve yeterli pas payı mesafesinin bırakılmadığı tespit edilmiştir. İşçilikten kaynaklanan problemlere ek olarak, yapının yönünde deprem perdeleriyle donatılmadığı ve bu nedenle yapının bu yönde rijitliğinin yeterli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Yapıda meydana gelen hasarların daha çok yönünde oluşması da bu çıkarımı doğrular niteliktedir. Çalışmada elde edilen bulgular, analiz yöntemleri ve yönetmelik esaslarının teorik olarak yeterli bir güvenlik sağlamasına karşın, pratik uygulamalarda işçilik kalitesi, malzeme kullanımı, zemin-yapı etkileşimi gibi faktörlerin performans üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Yapının performans analizinde doğrusal olmayan çok modlu itme analizinin kullanılması, TBDY 2018'e uygun bir yaklaşım sergilese de saha koşullarının birebir yansıtılamaması, gerçek performansın analiz sonuçlarından sapmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, binaların performans analizlerinin sahadaki gerçek davranışlarıyla uyumluluğunun artırılması için kullanılan modelleme teknikleri, yapı detayları ve işçilik kalitesinin daha ayrıntılı bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

Bu bağlamda, Kahramanmaraş depremlerinden elde edilen saha gözlemleri, gelecekte yapılacak deprem dayanıklılığı çalışmalarında referans niteliği taşımaktadır. Özellikle, benzer yapısal özelliklere sahip binaların depreme karşı dayanıklılığı artırmak adına tasarım sürecinde sahadan elde edilen verilerin analiz süreçlerine entegre edilmesi önemlidir. Ayrıca, bu tür analizler, ülkemizde mevcut yapı stokunun deprem performansını iyileştirmek ve depreme dayanıklı tasarım hedeflerini sağlamak için kritik bilgiler sunmaktadır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

| | E.E. | A.Ö. |
|-----|------|------|
| K. | 60 | 40 |
| T | 40 | 60 |
| Y | 40 | 60 |
| VTI | 60 | 40 |
| VAY | 40 | 60 |
| KT | 40 | 60 |
| YZ | 60 | 40 |
| KI | 50 | 50 |
| GR | 70 | 30 |
| PY | 60 | 40 |
| FA | 50 | 50 |

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Laboratuvar imkânlarını kullandığımız İnönü Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Altunsu E, Güneş O, Öztürk S, Sorosh S, Sarı A, Beeson S.T. 2024. Investigating the structural damage in Hatay province after Kahramanmaraş-Türkiye earthquake sequences. Engin Failure Analy, 157: 107857.
- Avcil F, Işık E, İzol R, Büyüksaraç A, Arkan E, Arslan MH, Harirchian E. 2024. Effects of the February 6 2023 Kahramanmaraş earthquake on structures in Kahramanmaraş city. Natural Hazards. 120(3): 2953-2991.
- Coşkun ME, Gürsoy Ş, Garıp ZŞ. 2023. Betonarme bir okul binasında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması. Gümüşhane Üniv Fen Bilim Derg, 13(1): 127-144.
- Dalyan İ, Şahin B. 2019. Mevcut betonarme bir binanın 2007 ve

- 2018 deprem yönetmeliklerine göre deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performansının değerlendirilmesi. Türk Deprem Araş Derg, 1(2): 134-147.
- Foroughi S, Yüksel B. 2022. TBDY 2018'e göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile betonarme yapı sistemlerinin performans analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniv Fen Bilim Enstit Derg, 5(1): 33-55.
- Işık G, Tuncer F. 2023. Bursa'da yıkım kararı verilen tescilli betonarme yapıların deprem performans analizleri etkinliğinin tartışılması. Kent Akad, 16(1): 297-317.
- Kap T, Özgan E, Uzunoğlu MM. 2019. Betonarme bir okul binasının 2018 deprem yönetmeliğine göre incelenmesi. Düzce Üniv Bilim Teknol Derg, 7(3): 1140-1150.
- Kap T, Özgan E, Uzunoğlu MM. 2019. Taşıma gücü zayıf zeminde inşa edilmiş betonarme bir binanın performans analizi. Düzce Üniv Bilim Teknol Derg, 7(1): 795-809.
- Küçükcaslan N, Altan MF. 2021. Güçlendirilen mevcut bir yapının tdy 2007 ile 2018 yeni türkiye bina deprem yönetmeliğine göre performansının tekrar incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniv Uluslararası Müh Fen Bilim Derg, 4(1): 18-36.
- Nemutlu ÖF. 2019. 2007-2018 Türk deprem yönetmeliklerinin ve Amerikan deprem yönetmeliğinin deprem hesapları açısından karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, ss: 112.
- Nemutlu OF, Balun B, Sari A. 2021. Damage assessment of buildings after 24 January 2020 Elazığ-Sivrice earthquake. Earthquak Struct, 20(3): 325-335.
- Nemutlu ÖF, Sarı A, Balun B. 2023. 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde(mw 7.7-mw 7.6) meydana gelen gerçek can kayıpları ve yapısal hasar değerlerinin tahmin edilen değerler ile karşılaştırılması. Afyon Kocatepe Üniv Fen Müh Bilim Derg, 23(5) 1222-1234.
- Özmen A, Sayın E. 2021. Deprem etkisinde çok katlı betonarme bir binanın tdy-2007 ve tbdy-2018 deprem yönetmeliklerine göre eşdeğer deprem yüklerinin karşılaştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniv Fen Bilim Enstit Derg, 4(2): 124-133.
- Öztürk S, Altunsu E, Güneş O, Sarı A. 2024. Investigation of industrial structure performances in the Hatay and Gaziantep provinces during the Türkiye earthquakes on February 6 2023. Soil Dynam Earthquak Engin, 179 :108569.
- Sarı O. 2020. Mevcut Konut Türü Bir Binanın DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 Deprem yönetmeliklerine göre deprem performansının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, Türkiye, ss: 103.
- Severcan MH, Sınanı B. 2019. Mevcut betonarme yapıların deprem performansının analizi. Niğde Ömer Halisdemir Üniv Müh Bilim Derg, 8(2): 936-947.
- Yalın M, Ulutaş H. 2021. Mevcut okul türü bir binanın deprem performansının 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniv Müh Bilim Derg, 10(2): 648-661.
- Yeniçelk N, Er Ş, Sıcacık EA. 2023. Farklı beton ve çelik sınıfı kullanımının yapıların zaman tanım alanında analiz sonuçlarına etkilerinin incelenmesi (Ocak 2020 Elazığ depremi örneği). Inter J Engin Res Develop, 15(3): 166-178.
- Yenidoğan C. 2024. 6 Şubat 2023 depremleri ve saha gözlemlerine dayalı bina hasarları hakkında ön değerlendirme. Turkish J Civil Engin, 35(5): 75-113.
- Yüzbaşı J, Yerli HR. 2018. Betonarme yapıların deprem etkisi altında performans analizlerinin yapılması ve güçlendirilmesi. Çukurova Üniv Müh-Mim Fak Derg, 33(2): 273-286.