

Received: 28.08.2023

Accepted: 01.07.2024

Döşeme Süreksizlikleri Bulunan Mevcut Betonarme Bir Binanın Analizi ve Güçlendirilmesi

M. Kemal ALTINAY¹, R. Tuğrul ERDEM^{1*},

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, Türkiye

Özet

A2-Döşeme süreksizlikleri, Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018’de (TBDY-2018) tanımlanan planda düzensizlik durumlarından biridir. Bu düzensizlik, binalarda merdiven bölümünün geniş tutulması, özellikle iş yerlerinde geniş galeri boşluklarının bırakılması ve kat alanı küçük yapılarda büyük asansör boşlukları bırakılması gibi sebeplerle oluşabilmektedir. Döşemelerdeki yerel boşluklar, rijitliği azaltarak döşemelerin rijit diyafram çalışmasına engel olmaktadır. Bu durum, taşıyıcı sistemde yatay yüklerin güvenle aktarılmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca, döşeme süreksizlikleri nedeniyle yanal ötelenmeler artmaktadır. Bu sebeple, deprem yönetmeliğinde döşeme süreksizliklerine sınır getirilmiştir. Döşeme boşluklarının yanı sıra, döşemelerde meydana gelen düzlem içi rijitlik ve dayanımda ani azalmaların olması da A2 düzensizliğine sebep olmaktadır. Bu çalışmada, planda döşeme süreksizliği düzensizliğine sahip mevcut betonarme bir binanın taşıyıcı sistem güvenliği incelenmiştir. Mevcut binaya ait beton, donatı çeliği ve yerel zemin sınıfı bilgileri dikkate alınarak doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden artımsal itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra, kolon mantolama ve betonarme perdeler ile mevcut bina güçlendirilerek yapısal performans analizi tekrarlanmıştır. Bilgisayar ortamında yapılan analizlerde Protastructure 2022 programı kullanılmıştır. Mevcut ve güçlendirilmiş binalardan elde edilen analiz sonuçlarına göre taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları belirlenmiştir. Son olarak, sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: döşeme süreksizliği, güçlendirme, performans analizi, TBDY-2018

Analysis and Strengthening of an Existing Reinforced Concrete Building Having Slab Discontinuities

Abstract

A2-Slab discontinuities are one of the irregularities in the plan defined in the Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018). This irregularity may occur due to reasons such as keeping the staircase section wide in buildings, leaving wide gallery spaces especially in workplaces and leaving large elevator shafts in buildings with small floor areas. Local openings in the slabs prevent the rigid diaphragm behaviour of the slabs by reducing the stiffness. This situation makes it difficult to safely transfer horizontal loads in the structural system. Besides, lateral translations increase due to slab discontinuities. Therefore, slab discontinuities are limited in the earthquake code. In addition to slab openings, sudden decreases in the plane stiffness and strength of the slabs also cause A2 irregularity. In this study, structural safety system of an existing reinforced concrete building having slab discontinuity irregularity in plan is investigated. Incremental pushover analysis procedure that is one of the non-linear analysis methods is utilized by considering the information of concrete, reinforcement steel and local soil class of the existing building. Afterwards, structural performance analysis is performed again by strengthening the existing building with column jacketing and reinforced concrete shear walls. Protastructure 2022 program has been used in the analyses performed in the computer environment. Damage situations of the structural members have been determined according to the analysis results obtained from the existing and strengthened buildings. Finally, the results have been compared and evaluations have been carried out.

Keywords: slab discontinuity, strengthening, performance analysis, TBEC-2018

*Corresponding Author, e- mail: tugrul.erdem@cbu.edu.tr

1. Giriş

Türkiye, dünyanın önemli deprem kuşaklarında biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Ülkemizi etkileyen aktif fay hatları sonucunda geçmişte büyük depremler yaşanmıştır. Bu depremlerin meydana getirdiği can ve mal kayıpları dikkate alınarak deprem yönetmeliklerinde değişikliklere gidilmiştir. Hali hazırda, 1 Ocak 2019'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kullanılmaktadır [1]. TBDY-2018'de, yatay elastik tasarım spektrumunun yanında, düşey elastik tasarım spektrumu da ilk kez yer almaktadır. Ayrıca, TBDY-2018 için hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) ile incelenen binaya ait koordinat, yerel zemin sınıfı ve deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak, deprem parametreleri elde edilebilmektedir [2].

Döşemeler, düşey yüklerin yanı sıra yatay yükleri de düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarabilmek ile görevlidir. Binaya etkileyen deprem yükleri, kat kütleleri ile orantılı olarak değişmektedir. Betonarme binalarda kütlelerin büyük bir kısmı da kat seviyelerinde toplanmaktadır. Bu sebeple, döşemeler kendi düzlemleri içinde yatay yüklerin de etkisi altındadır. Döşemelerin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, yatay yükler düşey elemanlara rijitlikleri oranında aktarılmaktadır. Esnek diyafram durumunda ise, ötelenme hareketinin yanında döşemelerde şekil değiştirme de meydana gelmektedir. Bu sebeple, yatay yükler düşey taşıyıcılara rijitlikleri oranında dağıtılamamaktadır.

TBDY-2018'de, düzensiz binaları tanımlamak için planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar tanımlanmıştır. Planda düzensizlik durumlarından olan döşeme süreksizlikleri, A2 düzensizliği olarak verilmiştir. Döşemelerde düzlem için rijitlik ve dayanım azalmasına neden olan yerel boşluklar, A2 düzensizlik durumunu oluşturan başlıca unsurlardandır. A2 düzensizliğinin bulunması durumunda, kat döşemelerinin yatay yükleri düşey elemanlara güvenli bir şekilde aktarabildiği gösterilmelidir.

Sadat ve Arslan (2022) çalışmalarında, planda düzensiz betonarme binaların performansında optimum tasarımı araştırmışlardır. Bu sebeple, 6 katlı çerçeve ve perde-çerçeve taşıyıcı sisteminde oluşan ve döşeme süreksizlikleri bulunan betonarme binalar incelenmiştir. Ayrıca, oluşan düzensizlik katsayısına bir sınır getirebilmek amacıyla optimum tasarım, genetik algoritma uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir [3]. Özmen ve diğerleri (2014), çok katlı binalarda burulma düzensizliğini incelemişlerdir. Çalışma kapsamındaki binalar 6 gruba ayrılmıştır ve maksimum düzensizlik katsayıları karşılaştırılmıştır [4]. Gökalp ve Bağcı (2009) makale çalışmalarında, A2 düzensizliğine sahip betonarme bir binanın deprem performansını mod birleştirme yöntemi ile araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar durumları ve binanın performans düzeyi elde edilmiştir [5]. Yön ve diğerleri (2010) çalışmalarında, farklı zemin sınıflarına göre çok katlı betonarme bir binanın burulma düzensizliğini incelemişlerdir. Çalışmada taban burulma momentinin zamana göre değişimi 4 zemin sınıfı için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur [6].

Mevcut betonarme bir binanın taşıyıcı sistem güvenliği TBDY-2018'de doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler ile incelenmektedir. Ancak, doğrusal hesap yöntemlerinin uygulanabilmesi için belirli sınırlar tanımlanmıştır. Bunun yanında, daha fazla parametre ile yapının doğrusal olmayan davranışının incelendiği analiz yöntemleri, gelişen bilgisayar yazılımlarından faydalanılarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaların literatürde giderek arttığı gözlemlenmektedir. İncelenen yapının beklenen performans düzeyini karşılamadığı durumlarda ise, çeşitli güçlendirme yöntemlerinden faydalanılmaktadır.

Erdem ve Karal (2022), mevcut betonarme binaların doğrusal olmayan analizlerini iki farklı yönetmeliğe göre gerçekleştirmişlerdir. Ardından, binaları güçlendirerek analizleri tekrarlamış ve sonuçları karşılaştırmışlardır [7]. Golghate ve diğerleri (2013), 4 katlı betonarme bir binanın doğrusal olmayan statik itme analizini gerçekleştirerek, binanın deprem performansını incelemişlerdir [8]. Uyan ve Erdem (2021), düzensiz betonarme binaların deprem performansını sabit tek modlu itme yöntemini kullanarak, farklı zemin sınıfları için incelemişlerdir [9]. Foroughi ve Yüksel (2022), betonarme binaların doğrusal olmayan performans analizini TBDY-2018'e göre uygulamışlardır. 5 farklı model için yapılan analizler sonucunda, binalara ait taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi ve göreceli kat ötelemeleri elde edilmiştir [10]. Erdem (2016) çalışmasında, düşey doğrultuda düzensizliğe sahip mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem güvenliklerini incelemiştir [11]. İbiş ve Ulutaş (2021), betonarme bir binanın deprem performansını TBDY-2018'e göre araştırmışlardır. İtme analizleri sonucunda oluşan hasar durumlarını karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır [12]. Işık ve Öztürk (2021), farklı kat yüksekliklerinin betonarme binaların yapısal performansına olan etkisini incelemişlerdir ve binalarda oluşan hasar yüzdelerini karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır [13]. Ayrıca, farklı güçlendirme tekniklerinin uygulandığı betonarme yapısal elemanlara ait güncel çalışmalar literatürde yer almaktadır [14-16].

Bu çalışma kapsamında, döşeme süreksizlikleri düzensizliğine sahip 6 katlı mevcut betonarme bir binanın doğrusal olmayan analizi TBDY-2018'e göre gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar seviyeleri belirlendikten sonra mevcut bina kolon mantolaması ve perde duvarlar ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen bina için analiz tekrarlanmıştır. Bilgisayar analizleri Protastructure 2022 programı kullanılarak yapılmıştır [17]. Planda düzensiz mevcut betonarme bir binanın deprem performansının, güçlendirme öncesinde ve sonrasında incelendiği bu çalışmanın, ileride yapılacak çalışmalar için faydalı olacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliği

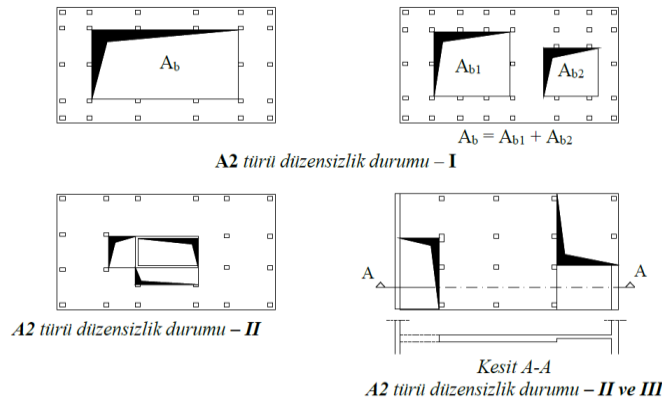
Planda düzensizlik durumlarından biri olan, A2-Döşeme Süreksizliği Düzensizliği, TBDY-2018'de tanımlanmıştır. Şekil 1'de, brüt kat alanı A ve boşluk alanları toplamı A_b ile gösterilmektedir.

Herhangi bir kattaki döşemede;

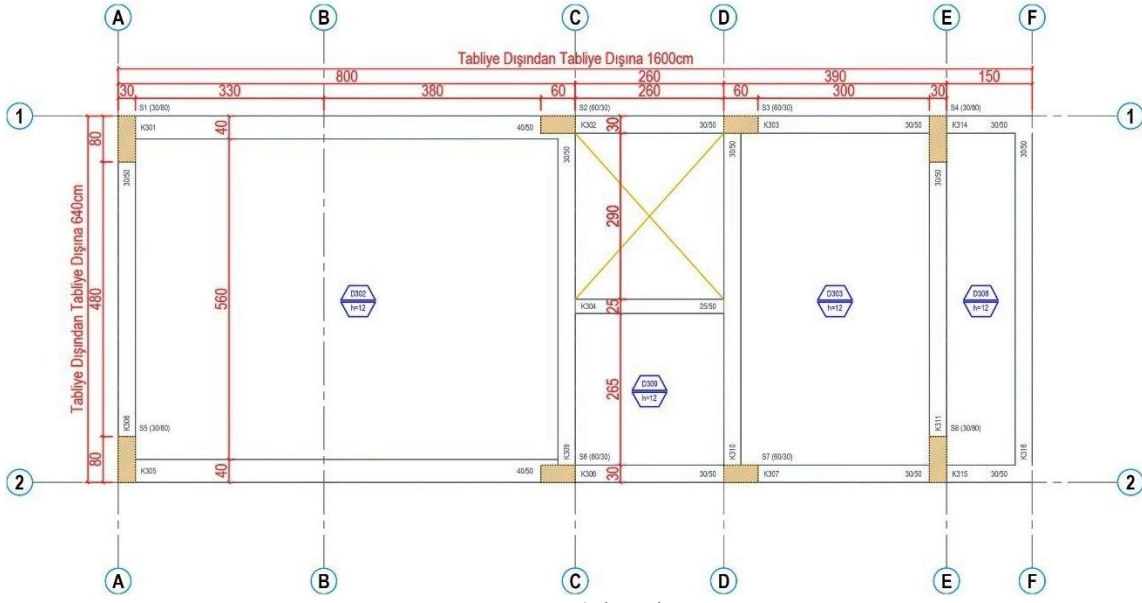
I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

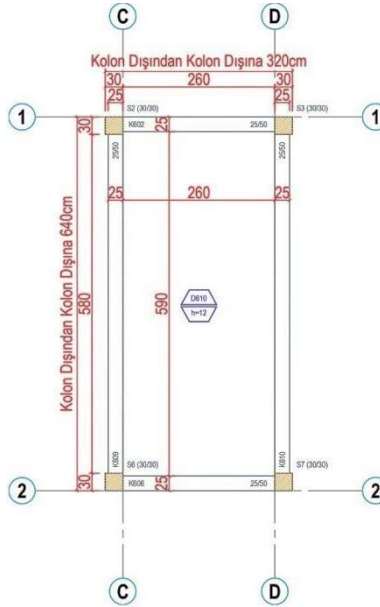
III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu



Şekil 1. A2 düzensizliği



c) 2., 3. ve 4. kat planı



d) 5. kat planı

Şekil 2. Kat planları

Mevcut binadan alınan özdeş karot numunelerine uygulanan laboratuvar testleri sonucunda beton sınıfı C14 olarak belirlenmiştir. Sıyırma testleri sonucunda ise donatı çeliği, enine donatılar için S220 (nervürsüz), boyuna donatılar için S420 (nervürlü) olarak alınmıştır. Programa girilen malzeme ve donatı özellikleri Şekil 3'te görülmektedir. Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar zemin cinsi özelliklerine sahip olan ZC yerel zemin sınıfı programa girilmiştir. Ayrıca, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi, DD-2 olarak binaya uygulanmıştır.

Analiz Formu

Analiz Öncesi Model Seçenekleri Analiz Analiz Sonrası Raporlar

Proje Parametreleri ve Yüklemeler

Ayır Merkezli Deprem Parametreleri Yükleme Kombinasyonları Rüzgar ve Yatay Kat Yükleri

Malzeme Bilgileri (Varsayılan)

	Malzeme	Donatı Çelüç Sınıfı
Kolonlar	C14	S420
Perdeler	C35	B420C
	Düvey Gövde Donatısı	B420C
	Yatay Gövde Donatısı	B420C
Kirgiler	C14	S420
Plak Döşemeler	C14	S420
Nervür Döşemeler	C16	S420
Temeller	C14	S420
Etiyeler		S220

Malzemeleri Düzenle

Eleman Birim Ağırlığı: 2.500 t/m³ (Kolon, Varsayılan)
Asmolen Birim Ağırlığı: 0.450 t/m³
Zal Gerilme Katsayısı: 0.00001 1/°C

Yönetmelikler: TS500-2000, TSC 2016 (LRFD), TS 498 TBOY 2018

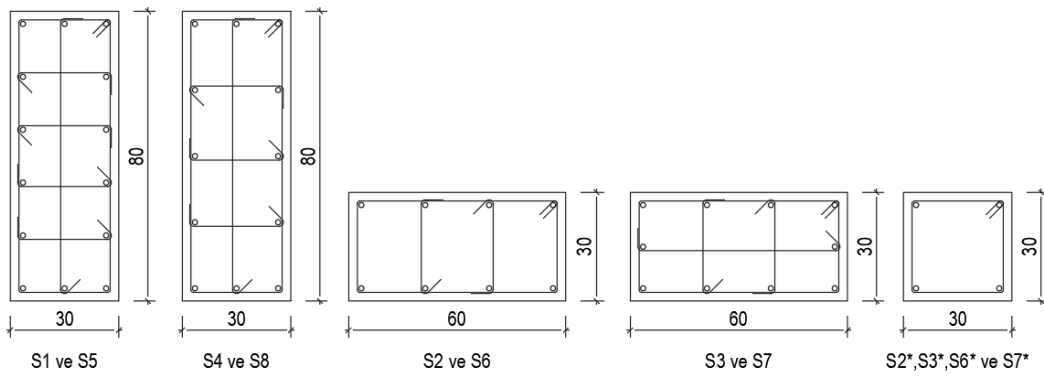
Yardım F1 Kapat

Şekil 3. Malzeme ve donatı özellikleri

Taşıyıcı sistemde kullanılan kolon boyutları 30x30, 30x60 ve 30x80 cm boyutlarındadır ve birinci kattan itibaren tüm katlarda aynı boyut ve donatı düzeni kullanılmıştır. Sadece merdiven kulesinde, kesit boyutları 30x30 cm olan kolonlar kullanılmıştır. Kolon kesit detayları Tablo 1’de, enine ve boyuna donatı düzeni ise Şekil 4’te sunulmuştur.

Tablo 1. Kolon kesit detayları

Kolon adı	Kesit boyutları	Boyuna donatı	Enine donatı
S1, S5	30x80 cm	12Ø14	Ø8/15 cm
S4, S8	30x80 cm	14Ø14	Ø8/15 cm
S2, S6	30x60 cm	8Ø14	Ø8/15 cm
S3, S7	30x60 cm	10Ø14	Ø8/15 cm
S2*, S3*, S6*, S7*	30x30 cm	4Ø14	Ø8/15 cm



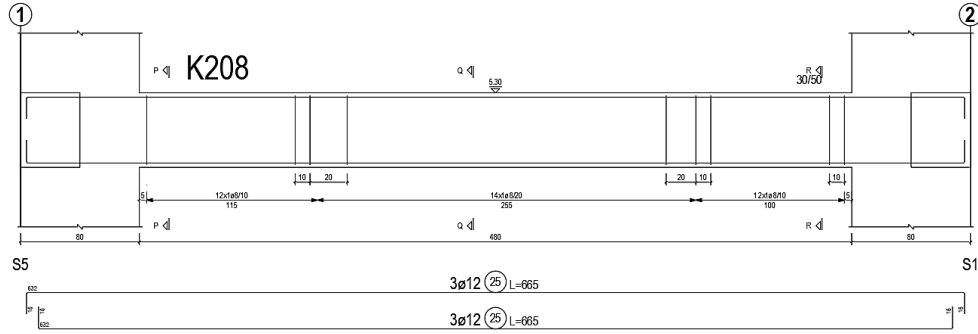
Şekil 4. Kolon kesitleri

Döşeme kalınlıkları tüm katlarda 12 cm’dir. Döşeme hareketli yük değeri normal katlarda 2.00 kN/m², en üst katta ise 1.50 kN/m² olarak alınmıştır [18]. Kiriş kesit boyutları kat içerisinde değişmektedir.

Örnek olması açısından zemin katın üstünde yer alan kata ait kiriş kesit detayları Tablo 2’de, K208 kirişi donatı açılımı Şekil 5’te verilmiştir.

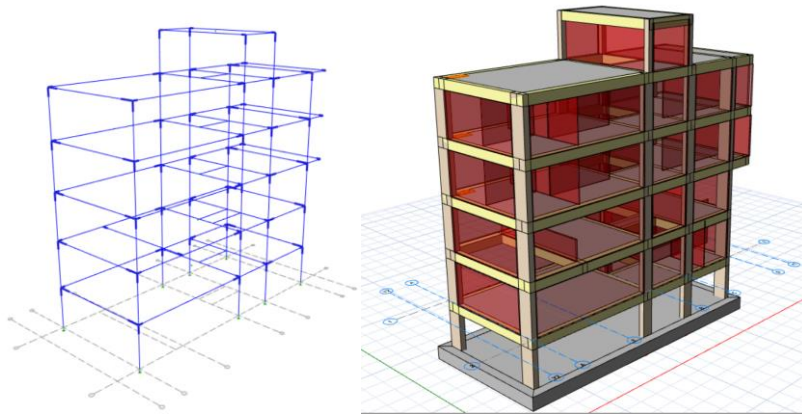
Tablo 2. Kiriş kesit detayları

Kiriş Boyutları (cm)	Montaj	Sol Üst	Sol Alt	Sağ Üst	Sağ Alt	Açıklık	Etriye Sarılma	Etriye Açıklık
K201, 40x50	4Ø12	2Ø14	1Ø12	2Ø14	2Ø12	4Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K202, 30x50	3Ø12	1Ø14	2Ø12	1Ø14	2Ø12	2Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K203, 30x50	3Ø12	1Ø14	2Ø12		1Ø12	2Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K204, 25x50	2Ø12					2Ø12	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K205, 25x50	4Ø12	2Ø14		2Ø14	1Ø12	4Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K206, 40x50	3Ø12	2Ø14	1Ø12	1Ø14	1Ø12	2Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K207, 30x50	3Ø12	1Ø14	1Ø12			2Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K208, 30x50	3Ø12					3Ø12	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K209, 30x50	3Ø12	2Ø14		2Ø14		3Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K210, 30x50	3Ø12	2Ø14		2Ø14		3Ø12	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K211, 30x50	3Ø12	1Ø14		1Ø14		2Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K212, 30x50	2Ø12					2Ø12	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm
K213, 25x50	3Ø12					5Ø14	Ø8/10 cm	Ø8/20 cm



Şekil 5. Kiriş donatı düzeni

Mevcut betonarme bina bilgisayar programında merdiven kulesi dahil toplam 6 katlı olarak modellenmiştir. Binaya ait çubuk eleman ve 3 boyutlu görünüşler Şekil 6’da görülmektedir.

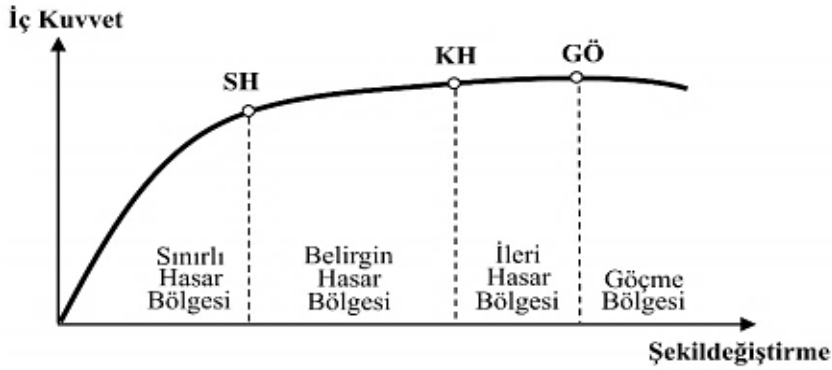


Şekil 6. Bina modeli

TBDY-2018’e göre A2-Döşeme Süreksizlikleri düzensizlik durumunu belirlemek amacıyla Şekil 7’de verilen kat kalıp planındaki brüt alan ve boşluk alanları toplamı hesaplanmıştır.

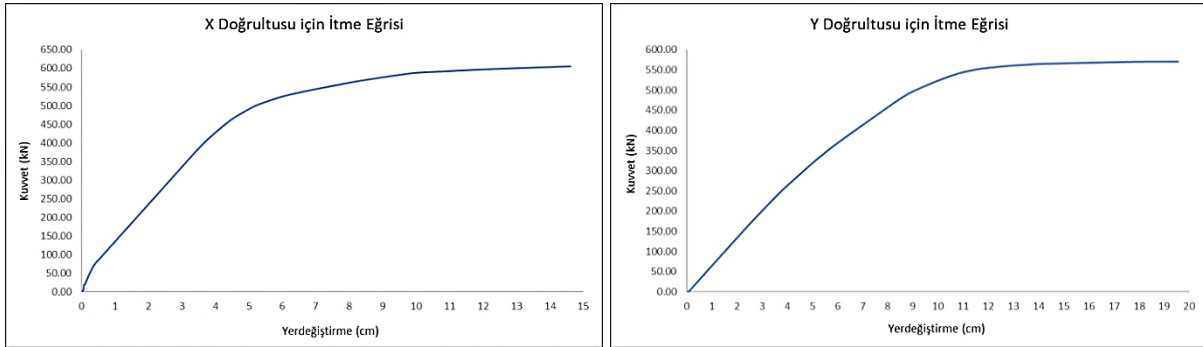
3. Mevcut Binanın Değerlendirilmesi

Bu bölümde, doğrusal olmayan artımsal itme analizi ile mevcut binanın yapısal performans seviyesi belirlenmiştir. Bu sayede, TBDY-2018’de tanımlanan hasar sınır değerleri dikkate alınarak, taşıyıcı sistem elemanlarının hasar bölgeleri elde edilmiştir (Şekil 9). Kesitte oluşan sınırlı elastik ötesi davranış sınırlı hasar sınırı ile, kesitteki dayanımın güvenle sağlanabildiği elastik ötesi davranış kontrollü hasar sınırı ile ve kesitteki ileri düzeyde oluşan elastik ötesi davranış ise göçme öncesi hasar sınırı ile gösterilmektedir.



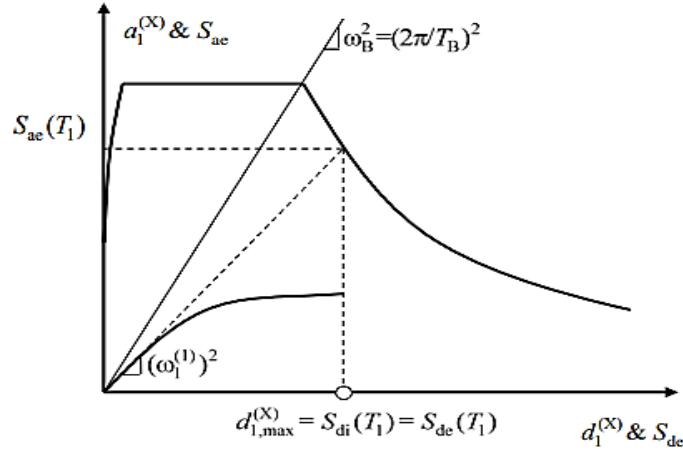
Şekil 9. Hasar bölgeleri

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden olan artımsal itme analizi için öncelikle her bir deprem doğrultusunda koordinatları taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirme olan statik itme eğrisi elde edilmiştir. Bu eğri kullanılarak, hedef yerdeğiştirme değeri belirlenmekte ve elemanlarda oluşan hasar durumlarına göre yapının performans seviyesi belirlenmektedir. Mevcut betonarme binanın her bir doğrultusu için elde edilen itme eğrileri Şekil 10’da sunulmuştur.



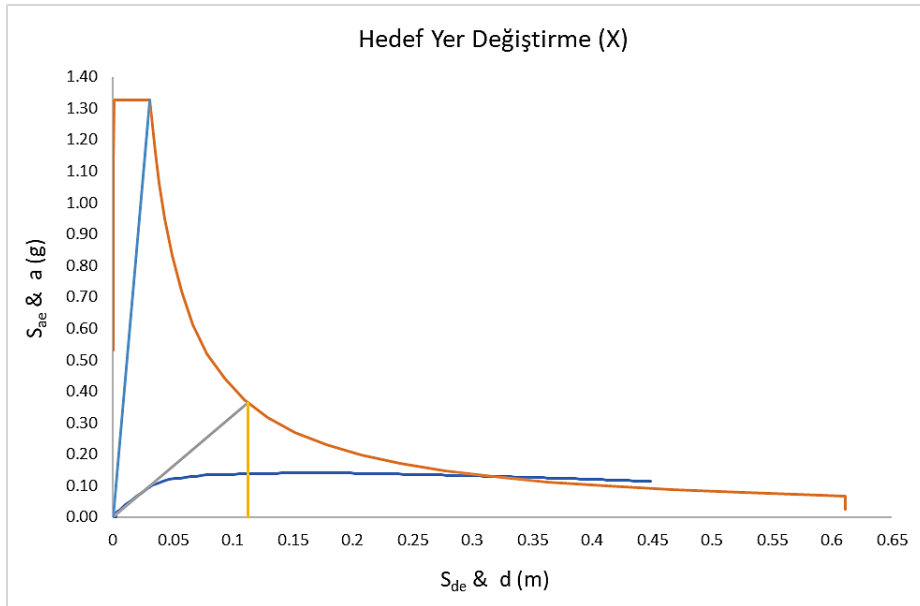
Şekil 10. Her iki doğrultu için itme eğrileri

Statik itme analizinin temel amacı, yapının hedef yerdeğiştirme değerinde, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumlarını belirlemek ve ardından yapısal performans sonuçlarını değerlendirmektir. İtme eğrisinin elde edilmesinin ardından, TBDY-2018’de belirtildiği şekilde koordinat dönüşümü uygulanarak, modal yerdeğiştirme – modal sözde ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilir. Daha sonra, bu diyagram koordinatları spektral yerdeğiştirme–spektral ivme olan doğrusal deprem spektrumu ile birlikte çizilmektedir.



Şekil 11. Modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu

Analizin son aşamasında, performans noktası adı verilen binanın tepe noktası hedef yerdeğiştirme değeri belirlenmektedir. Bina her bir deprem doğrultusu için performans noktasına kadar itilerek, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları ve binanın genel performans seviyesi elde edilmektedir. Hasarın daha fazla olduğu kritik doğrultu için elde edilen kapasite diyagramı ve spektrum eğrileri Şekil 12’de verilmiştir. Bu eğriler yardımı ile hesaplanan hedef yer değiştirme değeri, 11.246 cm olarak belirlenmiştir.



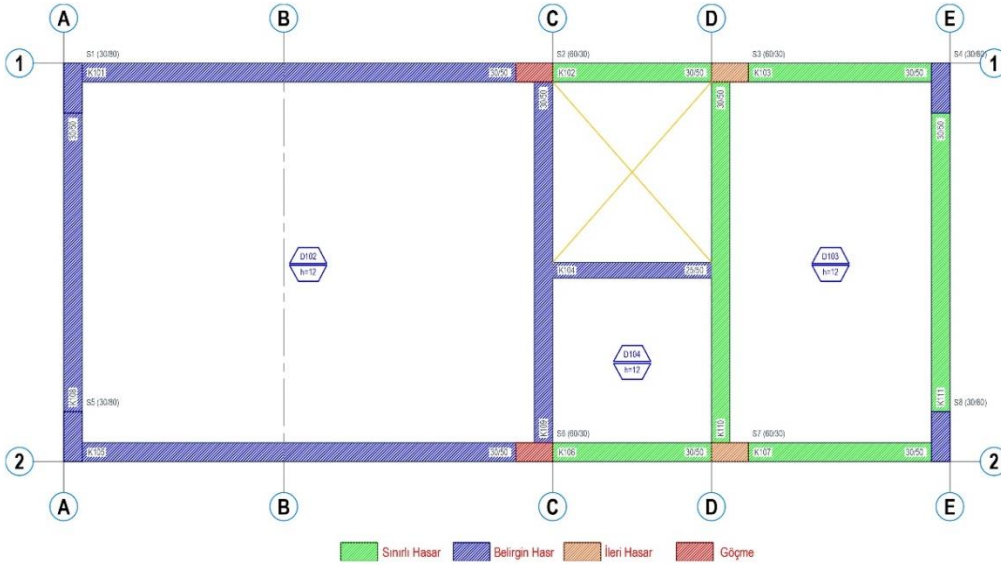
Şekil 12. Mevcut binada modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu eğrileri

Yapılan doğrusal olmayan analiz ile mevcut binanın yapısal performans değerlendirmesi, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumlarına göre yapılmıştır. Her bir kat için, kolonların ve kirişlerin bulunduğu hasar bölgeleri, kritik deprem doğrultusu için Tablo 3’te verilmiştir.

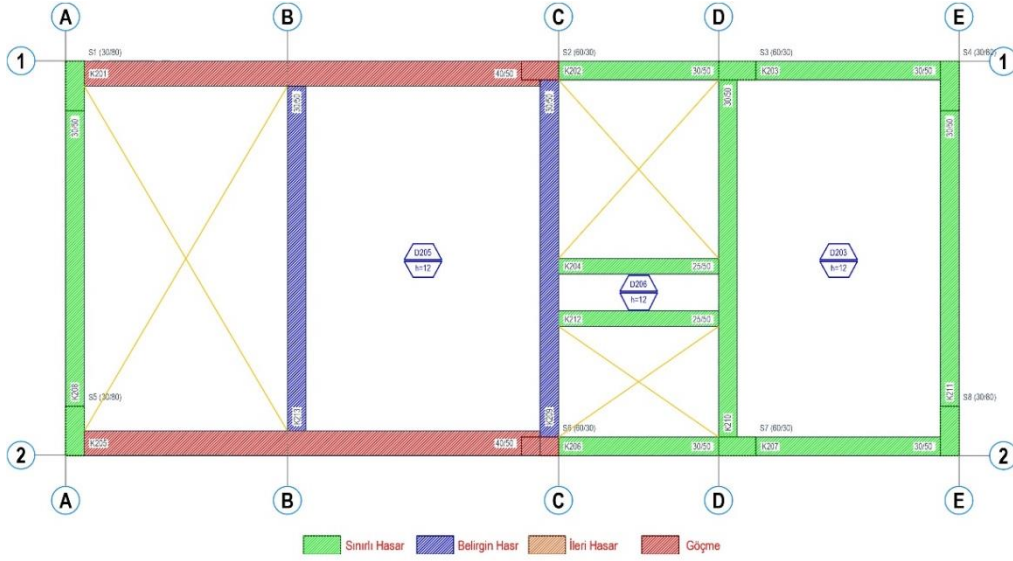
Tablo 3. Mevcut bina elemanlarında oluşan hasar durumları

Eleman	Kat No	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	Zemin	0	4	2	2
	1	6	0	0	2
	2	4	4	0	0
	3	4	4	0	0
	4	6	2	0	0
	5	4	0	0	0
Kiriş	Zemin	5	6	0	0
	1	9	2	0	2
	2	8	6	0	0
	3	8	6	0	0
	4	8	6	0	0
	5	4	0	0	0

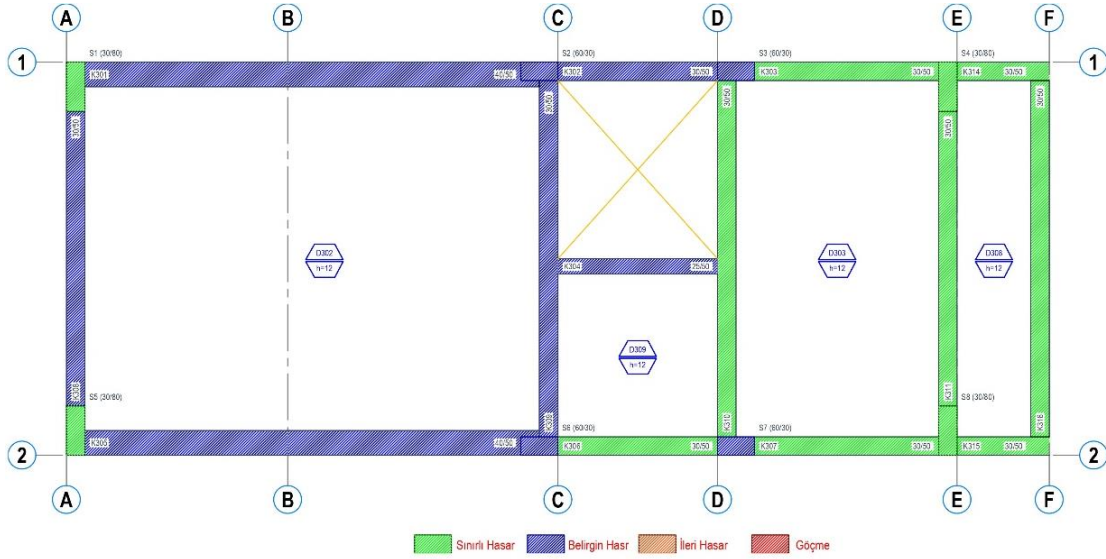
Binada, A2 düzensizliğinin bulunduğu 2. Kat, en kritik kat olarak değerlendirilmiştir. TBDY-2018'e göre göçmenin önlenmesi performans düzeyinin sağlanması için kirişlerin en fazla %20'sinin göçme bölgesinde bulunmasına izin verilmektedir. Diğer taşıyıcı elemanlar ise sınırlı hasar, belirgin hasar ya da ileri hasar bölgesinde olmalıdır. Yapılan doğrusal olmayan analiz ile mevcut binanın yapısal performans değerlendirmesine ait sonuçları kat planları üzerinde gösterilerek, hangi kolon ve kirişlerde hasar olduğu Şekil 13'te belirtilmiştir. Mevcut binada göçme bölgesinde kolonlar ve kirişler bulunmaktadır. Bu sebeple, binada DD2 deprem düzeyine göre hedeflenen performans hedefi sağlanamamaktadır ve binada göçme durumu söz konusudur. Mevcut binanın performans değerlendirme özeti Tablo 4'te sunulmuştur.



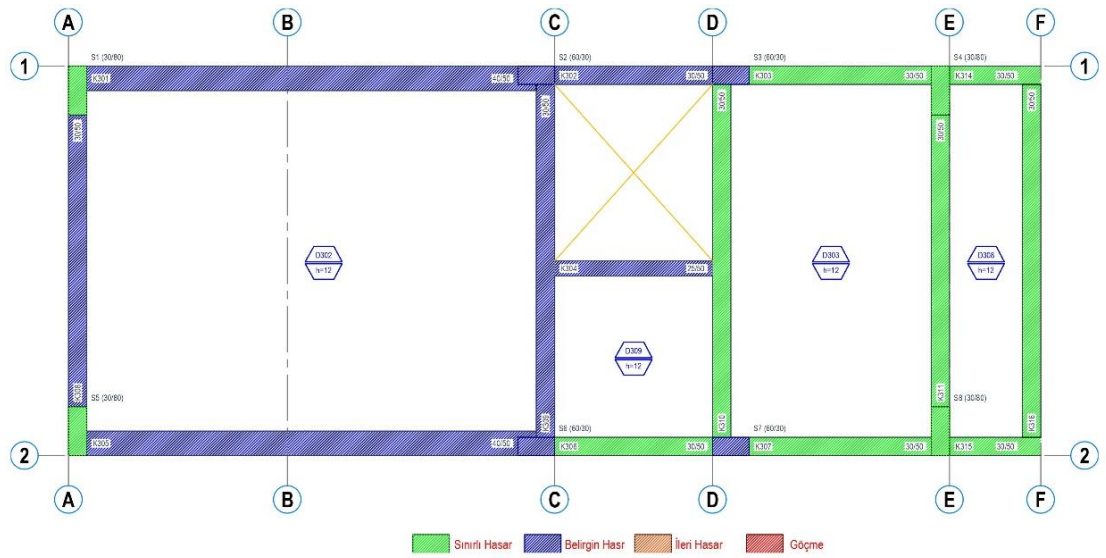
a) Zemin kat planı hasar durumları



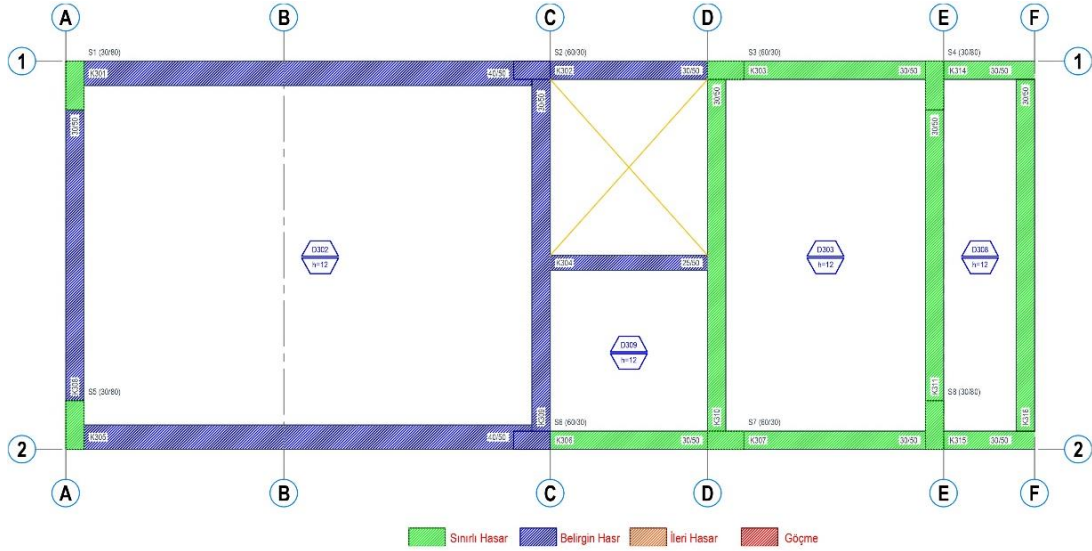
b) 1. kat planı hasar durumları



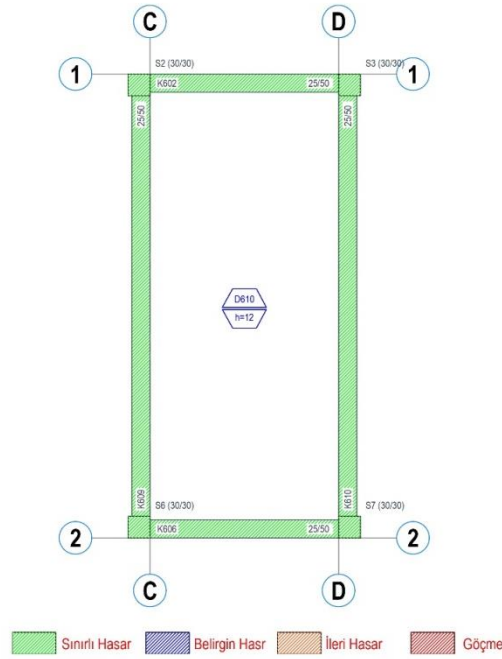
c) 2. kat planı hasar durumları



d) 3. kat planı hasar durumları



e) 4. kat planı hasar durumları



f) 5. kat planı hasar durumları

Şekil 13. Katlarda oluşan hasar durumları

Tablo 4. Mevcut binada performans değerlendirme özeti

Deprem düzeyi	Performans hedefi	Belirlenen bina performans düzeyi	Durum
DD2	Kontrollü hasar	Göçme	X

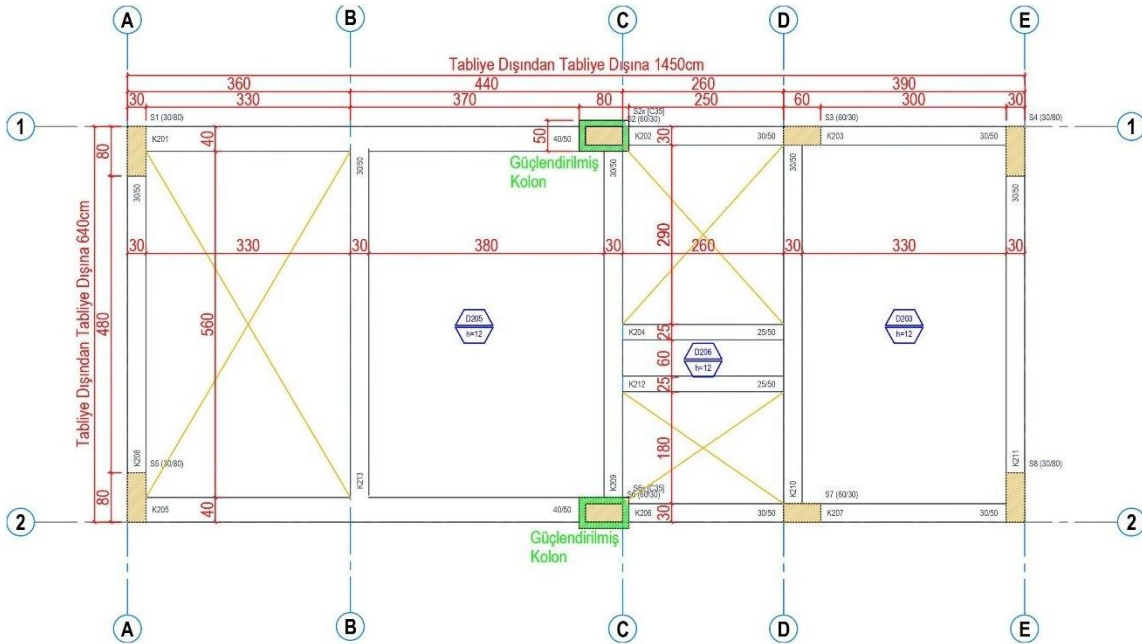
4. Güçlendirilmiş Binanın Değerlendirilmesi

Mevcut betonarme binanın performans düzeyinin iyileştirilmesi için güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, güçlendirmede en sık başvurulan yöntemlerden olan kolon mantolama ve güçlendirme perdeleri kullanılmıştır.

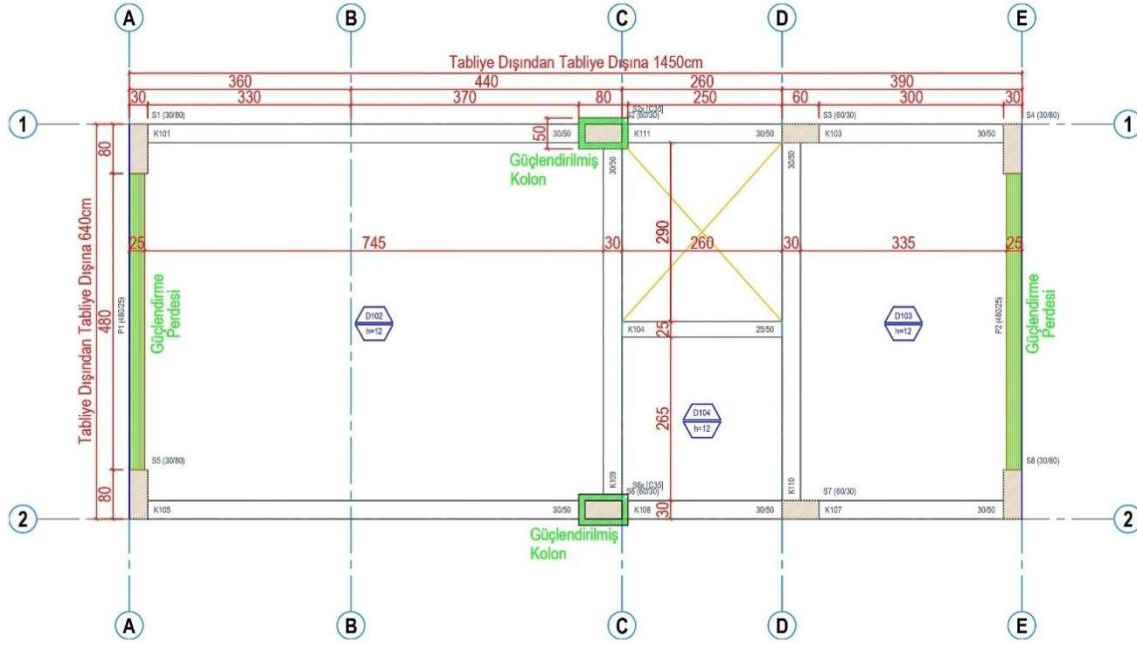
Kolon mantolama yönteminde, mevcut kolonun aksenal yük düzeyi ile kesme ve eğilme kapasiteleri arttırılmaktadır. Yapılan işlem ile ek donatının mevcut donatı ile birlikte çalışmasına, donatıların sürekli olarak katlar arasında devam etmesine ve dayanımı daha yüksek mantolama betonu ile mevcut beton arasında segregasyon oluşmamasına dikkat edilmelidir.

Betonarme perde duvarların çerçeve açıklıklarına uygulanarak mevcut binanın güçlendirilmesi sonucunda, yapının yanal rijitliği önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca, deprem yükleri etkisi altında oluşan yer değiştirmeler sınırlandırılmaktadır. Böylelikle, mevcut taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumlarında iyileştirmeler meydana gelmektedir.

Güçlendirilmiş binada kontrollü hasar düzeyini sağlamak amacıyla, mevcut binada göçme bölgesinde yer alan kolonlarda mantolama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yanal deplasmanın sınırlandırılması için A ve D dış akslarına güçlendirme perdeleri kullanılmıştır. Perde elemanların y doğrultusunda uygulanmasının sebebi, bu doğrultuda oluşan büyük deplasman değerleri ve zemin kattaki kesme kuvvetinin karşılanamamasıdır. Güçlendirme elemanlarında kullanılan beton sınıfı C35'tir. Güçlendirme perdeleri ve mantolanmış kolonları göstermek amacıyla, güçlendirilmiş binaya ait zemin kat ve birinci kata ait planlar, Şekil 14'te görülmektedir.



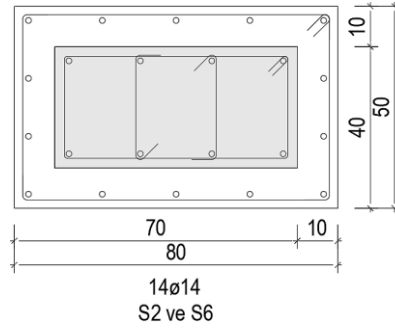
a) 1. kat güçlendirilmiş kat planı



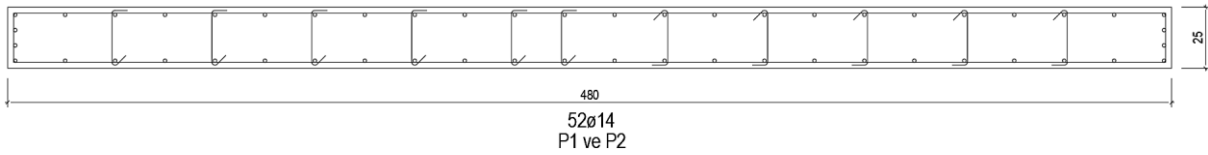
b) Zemin kat güçlendirilmiş kat planı

Şekil 14. Güçlendirilmiş kat planı

Mantolama işleminin uygulandığı 50x80 cm boyutlarındaki kolonlara ve 25x400 cm boyutlarındaki güçlendirme perdelerine ait kesit detayları Şekil 15'te verilmiştir. Ayrıca, güçlendirilmiş binanın 3 boyutlu modeli Şekil 16'da sunulmuştur.

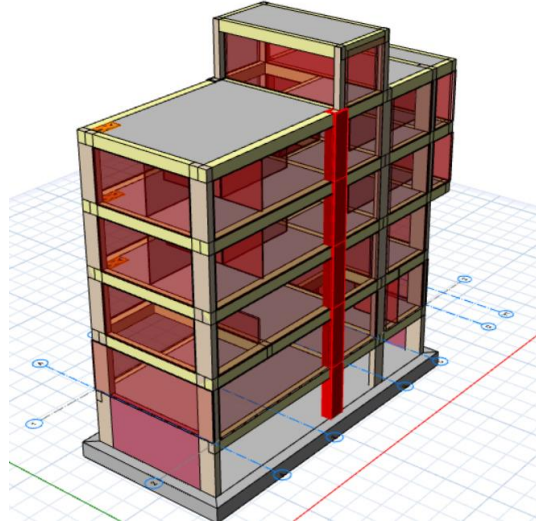


a. Mantolanmış kolon kesiti



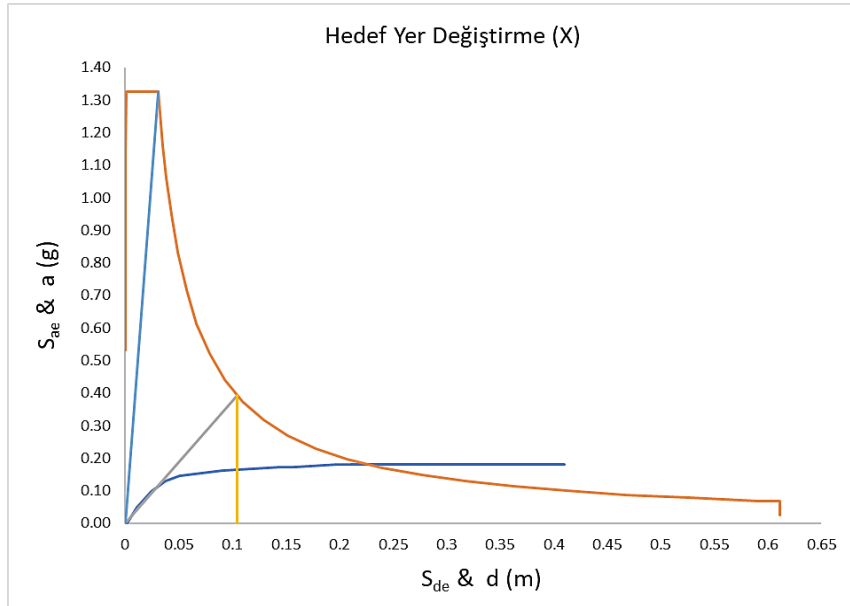
b. Perde duvar kesiti

Şekil 15. Mantolanmış kolon ve perde kesit detayları



Şekil 16. Güçlendirilmiş bina modeli

Mevcut binanın doğrusal olmayan performans değerlendirilmesinde izlenen analiz adımları, güçlendirilmiş bina için de uygulanmıştır. Hedef yerdeğiştirme değerinde, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları belirlenmiştir. Kritik doğrultu için elde edilen kapasite diyagramı ve spektrum eğrileri değerleri Şekil 17’de görülmektedir. Bu eğriler kullanılarak hedef yerdeğiştirme değeri, 10.499 cm olarak belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar durumları ise her bir kat seviyesi için Tablo 5’te verilmiştir. Güçlendirilmiş binada perde duvar da bulunduğu için, tabloda düşey eleman olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 17. Güçlendirilmiş binada modal kapasite diyagramı ve doğrusal deprem spektrumu eğrileri

Tablo 5. Güçlendirilmiş bina elemanlarında oluşan hasar durumları

Eleman	Kat No	SHB	BHB	İHB	GB	
Kolon	Zemin	2	6	0	0	
	1	6	3	0	0	
	2	8	0	0	0	
	3	8	0	0	0	
	4	8	0	0	0	
	5	4	0	0	0	
	Kiriş	Zemin	5	6	0	0
		1	7	6	0	0
		2	8	6	0	0
		3	8	6	0	0
4		8	6	0	0	
5		4	0	0	0	

Kiriş ve kolonlarda oluşan hasar oranlarına göre, güçlendirilmiş binanın yapısal performans düzeyi Tablo 6’da sunulduğu şekilde kontrollü hasar olarak elde edilmiştir. Kontrollü hasar performans düzeyinde, binanın taşıyıcı sisteminde onarılması mümkün hasarların meydana gelebileceği kabul edilmektedir. Ayrıca, kirişlerin en fazla %35’inin ileri hasar bölgesine geçebileceği ve ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısının %20’nin altında olması gerektiği belirtilmiştir. Analiz sonucuna göre, güçlendirilmiş binada DD2 deprem düzeyi için performans hedefi sağlanmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, planda A2-Döşeme süreksizlikleri düzensizliğine sahip mevcut betonarme bir binanın taşıyıcı sistem güvenliği, doğrusal olmayan performans analizi ile incelenmiştir. Mevcut binaya ait; malzeme, kesit, yerel zemin sınıfı, kat planları, kat yükseklikleri ve konum detayları elde edildikten sonra Protastructure 2022 programında modelleme ve doğrusal olmayan analiz işlemleri TBDY-2018’e göre gerçekleştirilmiştir.

Mevcut binanın taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları incelenmiş ve binanın performans düzeyi göçme olarak belirlenmiştir. Performans düzeyini iyileştirmek için mevcut binanın güçlendirilmesine karar verilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, belirlenen kolonlarda mantolama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 1. katta dış akslara simetrik olarak 2 adet perde duvar yerleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar durumlarında iyileştirmeler meydana gelmiştir. Sonuç olarak, güçlendirilmiş binanın performans düzeyi kontrollü hasar olarak belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, daha fazla hasarın meydana geldiği kritik doğrultuda değerlendirmeler yapılmıştır. Mevcut binaya ait kirişler incelendiğinde, kirişlerin büyük çoğunluğunun sınırlı hasar bölgesi ve belirgin hasar bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, 2 adet kiriş göçme bölgesinde bulunmaktadır. Kirişlerde oluşan hasar yüzdeleri, 60% SHB, 37.14% BHB ve 2.86% GB şeklinde oluşmuştur. Kolonlarda ise tüm hasar bölgelerinde eleman bulunmaktadır. Analiz sonucunda, 54.55% SHB, 31.82% BHB, 4.55% İHB, 9.09% GB şeklinde kolonların hasar yüzdeleri belirlenmiştir.

Mantolama ve perde duvar uygulanması sonucunda güçlendirilen binanın taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar değerlendirmesi mevcut binada olduğu şekilde kritik doğrultuda yapılmıştır. Analiz sonucunda, kolonlar ve perde duvarlardan oluşan düşey elemanlar ile kirişlerde

ileri hasar bölgesi ve göçme bölgesinde eleman bulunmamaktadır. Tüm taşıyıcı elemanların sınırlı hasar bölgesi ve belirgin hasar bölgesinde bulunduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda, planda düzensizlik durumlarından olan döşeme süreksizlikleri düzensizliğine sahip mevcut ve güçlendirilmiş betonarme bir binanın deprem performansı incelenmiştir. Yapı stokunda önemli bir yere sahip olan orta katlı mevcut binanın TBDY-2018’de belirtilen kontrollü hasar performans düzeyini sağlamamasından dolayı, uygulamada sıklıkla kullanılan kolon mantolama ve perde duvar eklenmesi ile bina güçlendirilmiştir. Doğrusal olmayan analiz sonucuna göre, güçlendirilmiş binanın deprem performansının iyileştirildiği görülmüştür. Bu çalışma, planda ve düşeyde düzensizlik durumlarına sahip mevcut betonarme binaların incelenmesi ile geliştirilebilir.

5. Kaynaklar

- [1] Türkiye bina deprem yönetmeliği (2018). *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara.
- [2] Türkiye deprem tehlike haritası (2018). *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara.
- [3] Sadat Z., Arslan A.S. (2022). Betonarme yapılarda burulma düzensizliğinin önlenmesinde genetik algoritma yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(3), 1469-1482.
- [4] Özmen G., Girgin K., Durgun Y. (2014). Torsional irregularity in multi-story structures. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 6, 121-131, 2014.
- [5] Gökalp E., Bağcı M. (2009). A2 düzensizliği bulunan betonarme bir binanın, mod birleştirme yöntemi ile deprem performansının belirlenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 37-48.
- [6] Yön B., Öncü M.E., Sayın, E. (2010). Binalardaki burulma düzensizliğinin farklı zemin sınıflarına göre değerlendirilmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 19-32.
- [7] Erdem R.T., Karal K. (2022). Performance evaluation and strengthening of reinforced concrete buildings. *Revista de la Construcción*, 21(1), ss. 53-68.
- [8] Golghate K., Vijay B., Amit S. (2013). Pushover analysis of 4 storey’s reinforced concrete building. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 2(3), 80-84.
- [9] Uyan B., Erdem R.T. (2021). Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği bulunan betonarme binaların deprem performansının araştırılması. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 3(3), 42-54.
- [10] Foroughi S., Yüksel S.B. (2022). TBDY 2018’e göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile betonarme yapı sistemlerinin performans analizi. *OKU Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 33-55.
- [11] Erdem R.T. (2016). Performance evaluation of reinforced concrete buildings with softer ground floors. *Grđevinar*, 68(1), 39-49.
- [12] İbiş T., Ulutaş, H. (2021). Yeni yapılacak betonarme bir binanın TBDY 2018’e göre deprem performansının belirlenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1104-1124.
- [13] Işık E., Öztürk G. (2017). Betonarme binalarda kat yüksekliğinin yapı performansına etkisi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 299-305.
- [14] Mercimek Ö. (2021). Numerical investigation of a reinforced concrete structure rehabilitated by new reinforced concrete layers. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3), 286-297.
- [15] Mercimek Ö., Ghoroubi, R., Özdemir, A., Anil, Ö., Erbaş, Y. (2022). Investigation of strengthened low slenderness RC column by using textile reinforced mortar strip under axial load. *Engineering Structures*, 259, 114191.
- [16] Mercimek Ö., Ghoroubi, R., Erbaş, Y., Anil, Ö. (2022). Comparison of strengthening methods to improve punching behavior of two-way RC flat slabs. *Structures*, 46, 1495-1516.
- [17] ProtaStructure (2022). *Prota Yazılım*, Ankara.
- [18] TS 498 (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.