



**BETONARME OKUL BİNALARINDA
GÜÇLENDİRME İLKELERİNİN 2007 VE 2019
TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Mustafa Esat COŞKUN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Şenol GÜRSOY**

**BETONARME OKUL BİNALARINDA GÜÇLENDİRME İLKELERİNİN
2007 VE 2019 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Mustafa Esat COŞKUN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Şenol GÜRSOY**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Mustafa Esat COŞKUN tarafından hazırlanan “BETONARME OKUL BİNALARINDA GÜÇLENDİRME İLKELERİNİN 2007 VE 2019 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Şenol GÜRSOY

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 07 / 06 / 2022

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Şenol GÜRSOY (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Selçuk BAŞ (BARÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zehra Şule GARİP (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tez çalışmasındaki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mustafa Esat COŞKUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETONARME BİR BİNANIN 2007 VE 2019 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE ONARIM VE GÜÇLENDİRME TASARIM İLKELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mustafa Esat COŞKUN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Şenol GÜRSOY

Haziran 2022, 174 sayfa

Ülkemiz depremler açısından çok kritik bir konumda bulunmaktadır. Zaman zaman yaşanan depremler yapılarda büyük yıkımlar oluşturmuş dolayısıyla da depreme dayanıklı yapı tasarım yaklaşımını zorunlu duruma getirmiştir. Bu amaçla deprem yönetmelikleri yayınlanarak yapıların doğru bir şekilde tasarlanması hedeflenmiştir. Diğer taraftan zamanla yeni deprem yönetmelikleri yayınlansa da söz konusu yönetmeliklerdeki tasarım esaslarının doğru anlaşılması ve uygulama aşamalarında yapılan hatalar maalesef yapıların depremlere karşı dayanımını olumsuz olarak etkilemektedir. Ayrıca depremlere karşı dayanıklı olarak tasarlanan yapılarda zamanla yapısal kusurlar oluşabilmekte ve/veya yeni deprem yönetmeliği koşullarını sağlayamamaktadır. Bu durum mevcut yapıların statik açıdan uygunluğunu kontrol etmemizi ve gerekli durumlarda güçlendirilmesini gerektirmektedir.

Bu tez çalışmasının temel amacı betonarme binaların DBYBHY ve TBDY'e göre güçlendirmesi ilişkin tasarım ilkelerinin karşılaştırılarak aralarındaki farklılıkları incelemektir. Bu amaçla Karabük İl Milli Eğitim Müdürlüğüne bağlı betonarme iki adet okul binasının DBYBHY ve TBDY'e göre Sta4-Cad programıyla performans analizleri yapılarak mevcut ve güçlendirilmiş durumları karşılaştırılmaktadır. Böylece dikkate alınan hem yönetmelik farklılıklarının karşılaştırılması hem de söz konusu okul binalarının güçlendirme maliyetlerinin ekonomik açıdan yorumlanması hedeflenmektedir.

Bu amaçla hazırlanan tez çalışması toplam beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup, daha önceden yapılmış bazı çalışmalar özetlenmektedir. İkinci bölümde, DBYBHY ve TBDY'de belirtilen onarım ve güçlendirme tasarım ilkeleri verilmektedir. Üçüncü bölümde, bu tez çalışmasında örnek olarak seçilen okul binalarından, bilgi toplanması, gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve analiz yöntemlerinden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde, Sta4-Cad programıyla örnek olarak seçilen okul binalarının modelleri oluşturularak yapısal çözümlemeleri gerçekleştirilmekte ve elde edilen bulgular ve tartışılmaktadır. Beşinci bölümde ise bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve öneriler verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar dizini izlemektedir.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar, Karabük İl Milli Eğitim Müdürlüğüne bağlı örnek olarak seçilen okul binalarının mevcut durumları ile DBYBHY ve TBDY'e yönetmeliklerine göre yeterli performans seviyesini sağlayamadığını ortaya koymaktadır. Yönetmelikler karşılaştırıldığında, söz konusu okul binalarında DBYBHY'nin TBDY'e daha fazla onarım ve güçlendirme işlemleri yapılması gerektiği görülmektedir. Diğer taraftan binalarına güçlendirme kararı verilirken; binanın yaşının, kaba inşaat maliyetinin toplam güçlendirme maliyetine oranının, yapı yaklaşık maliyeti oranının ve güçlendirme maliyetlerinin dikkate alınması önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler : Betonarme yapılar, onarım-güçlendirme, performans analizi, Sta4-Cad.

Bilim Kodu : 91102

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COMPARISON OF STRENGTHENING DESIGN PRINCIPLES IN REINFORCED CONCRETE SCHOOL BUILDINGS ACCORDING TO THE 2007 AND 2019 TURKISH EARTHQUAKE REGULATIONS

Mustafa Esat COŞKUN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Şenol GÜRSOY

June 2022, 174 pages

Our country is in a very critical position in terms of earthquakes. Earthquakes experienced from time to time have caused great destruction in buildings, thus making earthquake resistant building design approach compulsory. For this purpose, it is targeted to design the structures correctly by publishing earthquake regulations. On the other hand, although new earthquake regulations have been published over time, the wrong understanding of the design principles in the said regulations and the mistakes made during the implementation stages unfortunately negatively affect the resistance of the structures against earthquakes. In addition, structures designed to be resistant to earthquakes may occur structural defects over time and/or does not ensure the new earthquake regulation requirements. This situation requires us to check the static compatibility of existing structures and to strengthen them when necessary.

The main purpose of this thesis study is to examine the differences between them by compare the design principles of reinforced concrete buildings according to DBYBHY and TBDY. For this purpose, their current and strengthened conditions are compared by performance analyses of two reinforced concrete school buildings affiliated to Karabük Provincial Directorate of National Education are made with Sta4-Cad program according to DBYBHY and TBDY. Thus, it is be targeted to compare both the differences in regulations considered and to interpret the retrofitting costs of the said school buildings from an economic point of view.

The thesis study prepared for this purpose consists of a total of five chapters. The first chapter is the introduction, and some previous studies are summarized. In the second chapter, the repair and retrofit design principles specified in DBYBHY and TBDY are given. In the third chapter, the school buildings selected as an example in this thesis study, information gathering, the experimental studies carried out and the analysis methods are mentioned. In the fourth chapter, the models of the school buildings selected as an example with the Sta4-Cad program are created, their structural analysis is carried out, and the obtained findings are discussed. In the fifth chapter, the results and suggestions obtained from this thesis study are given. This section is followed by the references directory.

The results obtained from this thesis study reveal that the school buildings selected as an example affiliated to the Karabük Provincial Directorate of National Education cannot provide sufficient performance level according to the regulations of DBYBHY and TBDY with their current situation. When the regulations are compared, it is seen that DBYBHY needs to carry out more repair and retrofit works to TBDY in the said school buildings. On the other hand, while deciding to strengthen the buildings; it is suggested to consider the age of the building, the ratio of the rough construction cost to the total retrofit cost, the approximate cost of the building and the retrofit costs.

Key Word : Reinforced concrete structures, repair and retrofit, performance analysis, Sta4-Cad.

Science Code : 91102

TEŞEKKÜR

2007 ve 2019 Türkiye deprem yönetmeliklerine göre betonarme okul binalarının güçlendirme ilkelerinin karşılaştırılması konusundaki bu tez çalışmasını bana önererek; iş hayatındaki yoğun programına rağmen bu çalışmamı en başından sonuna kadar sürekli takip edip, bana araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşıl原因, tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesinden istifade ettiğim hocam sayın Prof. Dr. Şenol GÜRSOY'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmamın jüri üyeliğini kabul eden Doç. Dr. Selçuk BAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Zehra Şule GARİP'e değerli katkılarından dolayı minnettar olduğumu belirtmek isterim. Ayrıca bu çalışmamın içeriğini oluşturan konuları ve bilgileri kullanmamda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen İnşaat Mühendisi Diğdem CEFAKAR AKGÜL'e, tecrübesinden yararlandığım İnşaat Mühendisi Güray KÖSE'ye, mimari projeleri kullanma imkanı tanıyan Mimar Murat DÖNMEZ'e ve söz konusu okul binaları ile ilgili bilgileri kullanmama imkan tanıyan Karabük İl Özel İdaresi yetkililerine minnettar olduğumu bildirmek isterim.

Burada, öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygı ile anarken, bu çalışmam süresince beni sabır ve şefkatle destekleyen nişanlıma ve tüm aile bireylerine, özellikle ömrünü bizim yetişmemiz için adanmış olan anne ve babama, müteşekkir olduğumu belirtir, çalışmamın ülkemize yararlı olmasını temenni ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiii
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
1.1. KONUYLA İLGİLİ GEÇMİŞTE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR.....	2
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	9
BÖLÜM 2.	10
MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	10
2.1. MEVCUT BİNALARDAN BİLGİ TOPLANMASI	10
2.1.1. Bilgi Düzeyleri.....	10
2.1.1.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi	11
2.1.1.2. Betonarme Binalarda Orta Bilgi Düzeyi	13
2.1.1.3. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi.....	14
2.2. YAPISAL ELEMANLARDA HASAR SINIRLARI VE BÖLGELERİ.....	16
2.2.1. Kesit Hasar Sınırları	16
2.2.2. Kesit Hasar Bölgeleri.....	17
2.3. DEPREM HESABINA İLİŞKİN GENEL İLKE VE TASARIM KURALLARI.....	18
2.4. BİNA PERFORMANSININ DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ.....	22

2.4.1. Hesap Yöntemleri	22
2.4.2. Betonarme Yapısal Elemanlarda Hasar Türlerinin Belirlenmesi	23
2.4.3. DBYBHY'e Göre Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	30
2.4.4. TBDY'e Göre Doğrusal Hesap Yöntemlerinin Uygulama Sınırları.....	31
2.5. BİNALARIN PERFORMANSININ DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ.....	32
2.5.1. DBYBHY'e Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri.....	32
2.5.1.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle İtme Analizi	36
2.5.1.2. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemiyle İtme Analizi	39
2.5.1.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	39
2.5.2. TBDY'e Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri.....	40
2.5.2.1. Tek Modlu İtme Yöntemleri.....	41
2.5.2.2. Çok Modlu İtme Yöntemleri	43
2.5.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	44
2.6. ŞEKİLDEĞİŞTİRME SINIRLARI.....	46
2.6.1. DBYBHY'e Göre Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi	46
2.6.2. DBYBHY'e Göre Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri	47
2.6.3. TBDY'e Göre Birim Şekildeğiştirme ve Plastik Dönme Taleplerinin Belirlenmesi	48
2.6.4. TBDY'e Göre Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme ve Plastik Dönme Sınırları	49
2.7. BİNA DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ.....	52
2.7.1. DBYBHY'e Göre Deprem Performansının Belirlenmesi	52
2.7.1.1. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri	53
2.7.2. TBDY'e Göre Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi	55
2.7.2.1. Mevcut veya Güçlendirilecek Binaların Deprem Performansı	55
2.8. BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ.....	57
2.8.1. DBYBHY'e Göre Binaların Güçlendirilmesi.....	57
2.8.1.1. Betonarme Binaların Güçlendirilmesi Türleri.....	57
2.8.2. TBDY'e Göre Binaların Güçlendirilmesi.....	64
2.8.2.1. TBDY'e Göre Betonarme Binaların Güçlendirilmesi Türleri.....	64

BÖLÜM 3.	71
KARABÜK İLİ MİLLİ EĞİTİM MÜDÜRLÜĞÜNE BAĞLI İLK VE ORTA ÖĞRETİM OKUL BİNALARINDAN BİLGİ TOPLANMASI	71
3.1. OKUL BİNALARI HAKKINDA BİLGİLER	71
3.1.1. Misakı Milli İlkokulu.....	71
3.1.2. Kalaycılar İlkokulu	81
 BÖLÜM 4.	91
YAPISAL ÇÖZÜMLEMELER VE ELDE EDİLEN BULGULARIN TARTIŞILMASI	91
4.1. MİSAKİ MİLLİ İLKOKULUNUN YAPISAL ÇÖZÜMLEMELERİ	91
4.1.1. Misakı Milli İlkokulunun Depremsiz Yapısal Çözümlemesi	91
4.1.2. Misakı Milli İlkokulunun DBYBHY'e Göre Performans Analizi	96
4.1.3. Misakı Milli İlkokulunun TBDY'e Göre Performans Analizi	101
4.2. KALAYCILAR İLKOKULUNUN YAPISAL ÇÖZÜMLEMELERİ.....	108
4.2.1. Kalaycılar İlkokulunun Depremsiz Yapısal Çözümlemesi.....	108
4.2.2. Kalaycılar İlkokulunun DBYBHY'e Göre Performans Analizi	111
4.2.3. Kalaycılar İlkokulunun TBDY'e Göre Performans Analizi	114
4.3. GÜÇLENDİRME PROJELERİNİN HAZIRLANMASI.....	118
4.3.1. Misakı Milli İlkokulunun Güçlendirilmiş Durumu	118
4.3.1.1. Güçlendirilmiş Misakı Milli İlkokulunun DBYBHY'e Göre Performans Analizi	120
4.3.1.2. Misakı Milli İlkokulu Güçlendirilmiş Binanın TBDY'e Göre Performans Analizi	123
4.3.2. Kalaycılar İlkokulunun Güçlendirilmiş Durumu.....	125
4.3.2.1. Güçlendirilmiş Kalaycılar İlkokulunun DBYBHY'e Göre Performans Analizi	127
4.3.2.2. Güçlendirilmiş Kalaycılar İlkokulunun TBDY'e Göre Performans Analizi.....	130
4.4. TABAN KESME KUVVETLERİ	133
4.4.1. Misakı Milli İlkokulu.....	133
4.4.2. Kalaycılar İlkokulu	136
4.5. SPEKTRAL İVME VE YERDEĞİŞTİRMELER	139

	<u>Sayfa</u>
4.5.1. Misakı Milli İlkokulu.....	139
4.5.2. Kalaycılar İlkokulu	140
4.6. İTERASYON ADIMLARI VE YAPISAL ELEMANLARIN PLASTİKLEŞMESİ.....	141
4.6.1. Misakı Milli İlkokulu.....	141
4.6.2. Kalaycılar İlkokulu	151
4.7. GÜÇLENDİRME MALİYETİ.....	162
4.7.1. Misakı Milli İlkokulu.....	162
4.7.2. Kalaycılar İlkokulu	163
BÖLÜM 5.	165
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	165
5.1. MİSAKİ MİLLİ İLKOKULU İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	165
5.2. KALAYCILAR İLKOKULU İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	167
KAYNAKLAR	171
ÖZGEÇMİŞ	174

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. DBYBHY'e göre tanımlanan kesit hasar bölgeleri.....	17
Şekil 2.2. TBDY'e göre tanımlanan kesit hasar bölgeleri.....	18
Şekil 2.3. Kolon ve betonarme duvarlarda moment-eksenel kuvvet etkileşim diyagramları	26
Şekil 2.4. Moment–eğrilik ilişkileri	35
Şekil 2.5. TBDY'de verilen yatay elastik tasarım spektrumu.....	45
Şekil 2.6. Kolonlar ve kirişlerde LP uygulanması.....	60
Şekil 2.7. Kirişlere dışarıdan etriye eklenmesi.....	62
Şekil 2.8. Sargı donatısının tasarım kuralları	67
Şekil 3.1. Misakı Milli İlkokul binasının ön ve arka cephelerinden görünüm.....	72
Şekil 3.2. Misakı Milli ilkokulu mimari rölevesi.	73
Şekil 3.3. Misakı Milli İlkokulu Statik Rölevesi.....	74
Şekil 3.4. Misakı Milli ilkokulunda temel muayene çukurunun açıldığı akslar	75
Şekil 3.5. Misakı Milli ilkokulunda temel muayene çukuru açılmasından görünüm.....	76
Şekil 3.6. Misakı Milli ilkokulunda laboratuvar deneyi yapılan yapısal elemanlar ve yerlerinin gösterimi.....	76
Şekil 3.7. Misakı Milli ilkokulunun bazı yapısal elemanlarda uygulanan sıyırma işleminden görünüm.....	77
Şekil 3.8. Misakı Milli ilkokulunun kolonlarından karot alma işleminden görünüm.....	77
Şekil 3.9. Kolonların donatı tespit raporu örneği	81
Şekil 3.10. Kalaycılar ilkokulu binasının ön ve arka cephelerinden görünüm.....	82
Şekil 3.11. Kalaycılar ilkokulu mimari rölevesi.....	83
Şekil 3.12. Kalaycılar ilkokulu Statik Rölevesi	84
Şekil 3.13. Kalaycılar ilkokulunda temel muayene çukurunun açıldığı akslar	85
Şekil 3.14. Kalaycılar ilkokulunda temel muayene çukuru açılmasından görünüm.....	85
Şekil 3.15. Kalaycılar ilkokulunda laboratuvar deneyi yapılan yapısal elemanlar ve yerlerinin gösterimi	86

Şekil 3.16. Kalaycılar ilkokulunun bazı kolonlarında uygulanan sıyırma işleminden görünüm.....	86
Şekil 3.17. Kalaycılar ilkokulunun bazı betonarme duvar ve kirişlerinde uygulanan sıyırma işleminden görünüm.....	87
Şekil 3.18. Kalaycılar İlkokulu kolonlarının donatı tespit raporu örneği.....	90
Şekil 4.1. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun 3 boyutlu modeli.....	92
Şekil 4.2. Misakı Milli ilkokulunun Sta4-Cad programıyla depremsiz durum yapısal çözümleme aşamaları.....	92
Şekil 4.3. Misakı Milli ilkokulunun bodrum katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi	93
Şekil 4.4. Misakı Milli ilkokulunun zemin katında E3 malzeme sınıfı bilgi girişi ..	93
Şekil 4.5. Misakı Milli ilkokulunun 1. katında E4 malzeme sınıfı bilgi girişi.....	94
Şekil 4.6. Depremsiz durum için Misakı Milli ilkokulunun yapısal çözümlemesinde Sta4-Cad programında proje bilgilerinin girişi	94
Şekil 4.7. Misakı Milli ilkokulunun depremsiz durum için gerçekleştirilen yapısal çözümlemesinden sonra donatı düzenlemesi	95
Şekil 4.8. Sıyırma işlemi bilgilerinin yapısal elemanlara girilmesi	96
Şekil 4.9. Röntgen işlemi bilgilerinin yapısal elemanlara girilmesi	96
Şekil 4.10. DBYBHY'e göre Misakı Milli ilkokulunun CG deprem etkisi için yapısal çözümleme proje parametreleri	97
Şekil 4.11. Misakı Milli ilkokulunun CG performans durumu	98
Şekil 4.12. DBYBHY'e göre Misakı Milli ilkokulunun HK deprem etkisi için yapısal çözümleme proje parametreleri	98
Şekil 4.13. Misakı Milli ilkokulunun HK performans durumu.....	99
Şekil 4.14. TBDY'e göre yapı genel bilgilerinin girilmesi	102
Şekil 4.15. TBDY'e göre DD1 deprem düzeyinin seçilmesi	103
Şekil 4.16. TBDY'e göre nonlinear analiz yönteminin seçilmesi.....	103
Şekil 4.17. Misakı Milli İlkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyi için performans analizi sonucu.....	104
Şekil 4.18. TBDY'e göre DD3 deprem düzeyinin seçilmesi	105
Şekil 4.19. Misakı Milli İlkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyi için performans analizi sonucu.....	105
Şekil 4.20. Kalaycılar İlkokulu mevcut durumunun 3 boyutlu modeli.....	108
Şekil 4.21. Kalaycılar ilkokulunun zemin katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi....	109
Şekil 4.22. Kalaycılar ilkokulunun 1. katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi	109
Şekil 4.23. Kalaycılar ilkokulunun 2. katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi	110

Şekil 4.24. Kalaycılar ilkokulunun sıyırma işlemi bilgilerinin yapısal elemanlara girilmesi	111
Şekil 4.25. Kalaycılar ilkokulunun CG performans durumu	112
Şekil 4.26. Kalaycılar ilkokulunun HK performans durumu	112
Şekil 4.27. Kalaycılar ilkokulunun TBDY'e göre DD1 deprem düzeyinin seçilmesi	115
Şekil 4.28. Kalaycılar ilkokulunun DD1 deprem düzeyine göre KH performans durumu	115
Şekil 4.29. Kalaycılar ilkokulunun DD3 deprem düzeyine göre KH performans durumu	116
Şekil 4.30. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmesi amacıyla ilave edilen betonarme duvarların yerleri	119
Şekil 4.31. Misakı Milli ilkokulunda uygulanan güçlendirme betonarme duvarlarının bir görünümü	120
Şekil 4.32. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun CG performans analizi sonucu	121
Şekil 4.33. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun HK performans analizi sonucu	121
Şekil 4.34. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DD1 performans analizi sonucu	123
Şekil 4.35. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DD3 performans analizi sonucu	124
Şekil 4.36. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmesi amacıyla ilave edilen betonarme duvarların konumları	126
Şekil 4.37. Kalaycılar ilkokulunda uygulanan güçlendirme betonarme duvarlarının bir görünümü	126
Şekil 4.38. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun CG performans analizi sonucu	127
Şekil 4.39. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun HK performans analizi sonucu	129
Şekil 4.40. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DD1 performans analizi sonucu	131
Şekil 4.41. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DD3 performans analizi sonucu	132
Şekil 4.42. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun x deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları	141

Şekil 4.43. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun y deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları	142
Şekil 4.44. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun CG deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	142
Şekil 4.45. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun CG deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	143
Şekil 4.46. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	143
Şekil 4.47. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	144
Şekil 4.48. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	144
Şekil 4.49. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar	145
Şekil 4.50. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	145
Şekil 4.51. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	146
Şekil 4.52. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun x deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları	147
Şekil 4.53. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun y deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları	147
Şekil 4.54. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun CG deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.....	148
Şekil 4.55. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun CG deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.....	148
Şekil 4.56. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun HK deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.....	149
Şekil 4.57. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun HK deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.....	149
Şekil 4.58. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD1 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.....	150

Şekil 4.59. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD1 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.....	150
Şekil 4.60. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD3 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.....	151
Şekil 4.61. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun x deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları	152
Şekil 4.62. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun y deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları	152
Şekil 4.63. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun CG deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	153
Şekil 4.64. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun CG deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	153
Şekil 4.65. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	154
Şekil 4.66. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	154
Şekil 4.67. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	155
Şekil 4.68. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	155
Şekil 4.69. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	156
Şekil 4.70. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar .	156
Şekil 4.71. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun x deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları	157
Şekil 4.72. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun y deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları	157
Şekil 4.73. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun CG deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar	158
Şekil 4.74. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun CG deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar	158
Şekil 4.75. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun HK deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar	159

Şekil 4.76. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun HK deprem düzeyinde
y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar159

Şekil 4.77. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD1 deprem düzeyinde
y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar160

Şekil 4.78. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD1 deprem düzeyinde
y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar160

Şekil 4.79. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD3 deprem düzeyinde
x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar161

Şekil 4.80. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD3 deprem düzeyinde
y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar161



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. TBDY ve DBYBHY yönetmeliklerine göre sınırlı bilgi düzeylerinin karşılaştırılması	13
Çizelge 2.2. TBDY ve DBYBHY yönetmeliklerine göre kapsamlı bilgi düzeylerinin karşılaştırılması	16
Çizelge 2.3. TBDY'e göre etkin kesit rijitliği çarpanları	21
Çizelge 2.4. TBDY'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalara ilişkin hususlar	22
Çizelge 2.5. DBYBHY'e göre betonarme kirişler için etki / kapasite oranları	29
Çizelge 2.6. DBYBHY'e göre betonarme kolonlar için etki / kapasite oranları	29
Çizelge 2.7. DBYBHY'e göre betonarme duvarlar için etki / kapasite oranları	29
Çizelge 2.8. Güçlendirilmiş dolgu duvarlar için etki / kapasite oranları (r_s) ve göreceli kat ötelemeleri	30
Çizelge 2.9. Göreceli kat ötelemesi sınırları	31
Çizelge 2.10. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri	54
Çizelge 2.11. Mevcut binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları	54
Çizelge 3.1. Misakı Milli ilkokulunun mevcut karot sonuçları	78
Çizelge 3.2. Misakı Milli ilkokulu hasarlı donatı tespit raporu	79
Çizelge 3.3. Misakı Milli ilkokulunun hasarsız donatı tespit raporu	80
Çizelge 3.4. Kalaycılar ilkokulunun mevcut karot sonuçları	87
Çizelge 3.5. Kalaycılar ilkokulu hasarlı donatı tespit raporu	88
Çizelge 3.6. Kalaycılar ilkokulunun hasarsız donatı tespit raporu	89
Çizelge 4.1. CG performans hedefinde kiriş hasar yüzdeleri	100
Çizelge 4.2. CG performans hedefinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri	100
Çizelge 4.3. CG performans hedefinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	100
Çizelge 4.4. HK performans hedefinde kiriş hasar yüzdeleri	100
Çizelge 4.5. HK performans hedefinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri	101

Çizelge 4.6. HK performans hedefinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	101
Çizelge 4.7. DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri	106
Çizelge 4.8. DD1 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.....	106
Çizelge 4.9. DD1 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	107
Çizelge 4.10. DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri	107
Çizelge 4.11. DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.....	107
Çizelge 4.12. DD3 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	107
Çizelge 4.13. CG performans depreminde kiriş hasar yüzdeleri.....	113
Çizelge 4.14. CG performans depreminde kolon kesme kuvveti yüzdeleri	113
Çizelge 4.15. CG performans depreminde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	113
Çizelge 4.16. HK performans depreminde kiriş hasar yüzdeleri.....	114
Çizelge 4.17. HK performans depreminde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.....	114
Çizelge 4.18. HK performans deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	114
Çizelge 4.19. DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri	117
Çizelge 4.20. DD1 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.....	117
Çizelge 4.21. DD1 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	117
Çizelge 4.22. DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri	118
Çizelge 4.23. DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.....	118
Çizelge 4.24. DD3 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	118
Çizelge 4.25. CG / HK performans deprem düzeylerinde kiriş hasar yüzdeleri.....	122
Çizelge 4.26. CG / HK performans deprem düzeylerinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri	122
Çizelge 4.27. CG / HK performans deprem düzeylerinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.....	122
Çizelge 4.28. DD1 ve DD3 deprem düzeylerinde kiriş hasar yüzdeleri	125
Çizelge 4.29. DD1-DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.....	125

Sayfa

Çizelge 4.30. DD1 ve DD3 deprem düzeylerinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	125
Çizelge 4.31. CG performans depreminde kiriş hasar yüzdeleri	128
Çizelge 4.32. CG performans depreminde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.....	128
Çizelge 4.33. CG performans depreminde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	128
Çizelge 4.34. HK performans deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.....	129
Çizelge 4.35. HK performans deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri..	129
Çizelge 4.36. HK performans deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	130
Çizelge 4.37. DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.....	130
Çizelge 4.38. DD1 deprem düzeyinde kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.....	131
Çizelge 4.39. DD1 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	131
Çizelge 4.40. DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.....	133
Çizelge 4.41. DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri	133
Çizelge 4.42. DD3 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri	133
Çizelge 4.43. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumu için taban momenti ve kesme kuvveti oranları.....	134
Çizelge 4.44. Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulu taban momenti ve kesme kuvveti oranları.....	135
Çizelge 4.45. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumu için taban momenti ve kesme kuvveti oranları	136
Çizelge 4.46. Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulu taban momenti ve kesme kuvveti oranları.....	137
Çizelge 4.47. Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının performans seviyesindeki spektral ivme değerleri	139
Çizelge 4.48. Misakı Milli ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumunun spektral yerdeğiştirme değerleri.....	139
Çizelge 4.49. Kalaycılar ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının performans seviyesindeki spektral ivme değerleri.....	140

Sayfa

Çizelge 4.50. Kalaycılar ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumunun spektral yerdeğiştirme değerleri	141
Çizelge 4.51. Misakı Milli ilkokulu kaba inşaat güçlendirme maliyeti	162
Çizelge 4.52. Misakı Milli ilkokulunun bina yaşı-maliyet oranı ilişkisi	163
Çizelge 4.53. Kalaycılar ilkokulunun kaba inşaat güçlendirme maliyeti.....	164
Çizelge 5.1. Misakı Milli ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumları için performans analizi sonuçları	166
Çizelge 5.2. Kalaycılar ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumları için performans analizi sonuçları	169



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- b : Yatay plakaların genişliği
- D : Dayanım fazlalığı katsayısı
- d : Kesitin faydalı yüksekliği
- $d_1^{(p)}$: 1. moda ilişkin modal yerdeğiştirme istemi
- f_{yw} : Çelik sargıdaki çeliğin akma dayanımı
- L_p : Plastik mafsal boyu veya plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu
- L_s : Kesme açıklığı
- R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (süneklik katsayısı)
- S_{di1} : 1. moda ilişkin doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
- s : Yatay plakaların aralığı
- $u_{xN_1}^{(i)}$: Binanın N . katında (tepesinde) depremin x doğrultusu için i . itme adımı sonunda hesaplanan 1. moda ilişkin yerdeğiştirme
- V_s : Enine donatının katkısı
- V_w : Kesme kuvveti dayanımına enine donatının katkısı
- $V_{x1}^{(i)}$: Depremin x doğrultusunda i . itme adımı sonunda hesaplanan 1. moda ilişkin taban kesme kuvveti
- Φ_{xN_1} : Binanın N . katında (tepesinde) depremin x doğrultusu için 1. moda ilişkin mod şekli genliği
- Γ_{x1} : Depremin x doğrultusunda 1. moda ilişkin modal katkı çarpanı
- w_j^s : Tipik sonlu elemanın j düğüm noktasına etkiyen tekil ağırlık (kN)
- $w_{G,j}^s$: Tipik sonlu elemanın j düğüm noktasına etkiyen tekil sabit ağırlık (kN)
- $w_{Q,j}^s$: Tipik sonlu elemanın j düğüm noktasına etkiyen tekil ek (hareketli) ağırlık (kN)

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
I	: Bina önem katsayısı
BH	: Belirgin Hasar
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik
DD2	: 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (Tekrarlanma Periyodu 475 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
EKO	: Etki Kapasite Oranı
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi Hasar Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
İH	: İleri Hasar
KH	: Kontrollü Hasar
KKO	: Kütle Katılım Oranı
LP	: Lifli Polimer
MN	: Minimum Hasar Sınırı
SH	: Sınırlı Hasar
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Türkiye’de sıklıkla yaşadığımız doğal afetlerin başında depremler gelmektedir. Bu nedenle ülkemizde sık sık meydana gelen depremler, yapılarımız üzerinde oldukça ciddi biçimde hasarlar oluşturmakta ve oluşturmaya da devam edecektir. Türkiye’de günümüze kadar yaşamış olduğumuz; sırasıyla 1939’da 7,9 ve 1992’de 6,8 büyüklüğündeki Erzincan, 1999’da 7,8 büyüklüğündeki Kocaeli, yine 1999’da 7,5 büyüklüğündeki Düzce, 2011’de 7,2 büyüklüğündeki Van, 2020’de 6,8 büyüklüğündeki Elazığ ve son olarak 30 Ekim 2020’de 6,6 büyüklüğündeki İzmir depremleri sonucu maalesef binlerce insanımız hayatını kaybetmiştir. Söz konusu depremlerin meydana geldiği yerleşim yerleri incelendiğinde hasar gören ve/veya yıkılan yapıların tasarım ve inşaa aşamalarında gerekli özenin gösterilmediği görülmektedir. Ayrıca bazı yapılarda oluşan hasarlar kabul edilebilir düzeyde kalırken bazılarında ise can güvenliği sınırını aşmaktadır. Bunlardan kabul edilebilir seviyede olan yapılardaki hasarlar ufak çaplı onarım ve/veya güçlendirme işlemleriyle ortadan kaldırılmaktadır. Ancak can güvenliği sınırını aşan yapılarda karşımıza iki seçenek çıkmaktadır. Bunlardan birincisi yapıları yıkıp yeniden yapmak, diğeri ise güçlendirme (takviye) yapılarak istenilen performans seviyesine getirmektir. Bu seçeneklerden hangisini uygulayacağımıza maliyet kavramıyla karar verilmektedir. Eğer güçlendirme maliyeti yeniden inşa etme maliyetinin %40’ını geçiyorsa yapıyı yıkıp yeniden yapmak daha rasyonel olacaktır.

Türkiye’de geçmişten günümüze kadar yayınlanmış olan deprem yönetmelikleri incelediğinde, yapıların güçlendirme konusundan ilk olarak 1 Ocak 1998 yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinde bahsedilmiştir. Daha sonra 2007 yılında yayınlanan deprem yönetmeliğine göre performans analizleri yapılsa da ortaya çıkan sonuçlardan eksik yapılan şeylerin olduğu görülerek 1 Ocak 2019’da hem tasarım

hem de güçlendirme konularında daha katı kurallar içeren deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye 2007 deprem yönetmeliğinin 7. bölümündeki ve 2019 deprem yönetmeliğinin 15. bölümündeki “*Mevcut Yapıların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi*” başlığı altında belirtilen tasarım ilkeleri seçilen örnek binalarda modellenerek karşılaştırılmalı olarak incelenecektir. Bu amaçla Karabük il merkezinde bulunan Milli Eğitim Müdürlüğüne bağlı seçilen okul binaları 2007 ve 2019 Türkiye Deprem Yönetmeliklerine göre Sta4-Cad (Sta4-Cad, 2020) programıyla modellenerek performans değerlendirmesi ve yapısal çözümlemeleri gerçekleştirilecektir. Bu tez çalışmasının sonunda okul modellerinin gerçekleştirilen performans değerlendirmeleri ve yapısal çözümlemelerden elde edilen bulgular, dikkate alınan yönetmeliklere göre, karşılaştırmalı olarak irdelenerek bazı sonuçlar ve öneriler sunulacaktır.

1.1. KONUyla İLGİLİ GEÇMİŞTE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında teknik literatürdeki betonarme binaların onarım ve güçlendirilmesiyle ilgili yapılan bazı çalışmalar incelenmiş ve söz konusu tezin olgunlaşp-gelişmesinde kaynak olarak kullanılmıştır. Betonarme binaların onarım ve güçlendirilmesiyle ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Ceritli (2006) yaptığı çalışmada, betonarme bir yapıyı güçlendirmek amacıyla uygulanan mantolama ve perde duvar ekleme yöntemlerini irdelemiş ve can kaybına yol açmayacak şekilde boyutlandırılmasıyla ilgili çalışmalar yapmıştır. Sonuç olarak betonarme duvar eklenmesi ve kolon mantolaması ile yapılan güçlendirme maliyetinin toplam yapı maliyetinin yaklaşık %11,41 kadar olduğunu ifade etmiştir.

Erdem (2008) yapmış olduğu tez çalışmasında, Konya ili Akşehir ilçesinde bulunan İmam Hatip Lisesinin güçlendirmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Buna göre söz konusu binanın yapım maliyeti ve güçlendirme maliyetini hesaplayarak yapım maliyeti ile güçlendirme maliyetini karşılaştırmıştır. Sonuç olarak

güçlendirme maliyetinin yapım maliyetinin %50'si olduğunu hesaplayarak bazı önerilerde bulunmuştur.

Özaltaş (2008) çalışmasında, 2007 deprem yönetmeliğinde belirtilen doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerini incelemiştir. Bu amaçla söz konusu yönetmelikte verilen 1. ve 2. derece deprem bölgelerindeki Z2 ve Z3 zemin sınıflarında, 3 ve 5 katlı hastane yapılarının performans analizini yaparak elde ettiği sonuçları birbiriyle karşılaştırmıştır. Ayrıca hastane gibi depremlerden hemen sonra kullanılması gereken yapılarda istenilen performans hedefi sağlanması gerektiğinden bu yapılarda da güçlendirme işlemlerini değerlendirmiştir. Diğer taraftan perdesiz süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan 9 ve 11 katlı hastane binalarının depremden sonra kullanılabilirliği üzerinde çalışmalar yapmıştır. Sonuç olarak sistem bazında güçlendirmenin daha etkili bir yöntem olduğunu belirtmiştir.

Atay (2010) yapmış olduğu çalışmada, yapı taşıyıcı sistemini belirleyip, görmüş olduğu hasara göre hangi güçlendirme yöntemlerinin kullanılacağını irdelemiştir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden olan mantolama ve perde duvar eklenmesinin oluşturduğu avantaj ve dezavantajları belirtmiştir. Ayrıca lifli polimerler (LRP) üzerinde de çalışmalar yapmıştır. Çalışmasının sonunda betonarme mantolama uygulanması durumunda yapısal elemanların enerji yutma kapasitesinin arttığını ve LRP uygulandığında yapısal elemanın eğilme ve kesme kapasitesinin arttığını vurgulamıştır.

Parlakoğlu (2010) yapmış olduğu tez çalışmada, 6 adet mevcut betonarme binanın 2007 deprem yönetmeliğine göre performans analizini yapmıştır. Performans analizlerinin sonucunda istenen performans hedefinin sağlamadığını görmüştür. Söz konusu binanın mimari planını bozmayacak şekilde hedeflenen performans seviyesini sağlamak amacıyla sırasıyla CFRP ve hasır donatı ile güçlendirilmiş dolgu duvarları eklemiştir. Sonuç olarak CFRP ile güçlendirmenin toplam maliyetin %22'si ve hasır donatı ile güçlendirmenin ise %11'i olduğu sonucuna varmıştır.

Ürünveren (2010) çalışmasında, 1986'da İzmir'de inşa edilmiş 5 katlı betonarme bir binayı incelemiştir. Buna göre söz konusu binanın beton sınıfının C16 ve donatı

sınıfının S220 olduğunu belirlemiştir. Ayrıca söz konusu binanın gerçekleştirdiği performans analizlerinden, X ve Y doğrultusundaki yapısal elemanlarının göçme bölgesinde olduğu sonucuna ulaşmıştır. Diğer taraftan bu binada can güvenliği performans seviyesini sağlamak amacıyla söz konusu binaya C30 beton sınıfı ve S420 donatı sınıfına sahip güçlendirme perdesi eklemiştir. Böylece mevcut ve güçlendirilmiş binada elde ettiği periyot, plastik dönme ve kesit hasar oranlarını kıyaslamıştır. Sonuç olarak gevrek kırılmaya maruz kalan taşıyıcı sistem yapısal elemanların bulunmadığı ve güçlendirilmiş binanın can güvenliği performans düzeyini sağladığını belirtmiştir.

Batmacı (2011) çalışmasında, örnek olarak seçmiş olduğu bir yapıda kolon mantolaması, perde duvar ilave edilmesi ve hem perde duvar ilave edilmesi hem de kesiti yetersiz kolonların mantolaması gibi üç farklı güçlendirme yönteminin mevcut yapı ile kıyaslamasını yapmıştır. Elde etmiş olduğu bulgulardan en ekonomik ve uygun yöntemin perde duvar eklenerek, kesiti yetersiz olan kolonları mantolaması olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca kolon mantolamasının perde duvar ekleme yöntemiyle aynı maliyete sahip olduğunu, ancak yapıya sağlamış olduğu ataletin perdenin sağladığı ataletin 1/3'ü olduğunu ifade etmiştir.

Kılıç (2012) yaptığı çalışmada, tasarım ve imalat açısından kusurlu ve malzeme dayanımı yetersiz 2 katlı tek açıklıklı $\frac{1}{2}$ ölçeğinde betonarme çerçeveyi incelemiştir. Bu amaçla kıyaslama yapabilmek için önce boş betonarme çerçeve, daha sonra sadece dolgu duvarlı betonarme çerçeve ve 3 adet hasır çelik ve sıva kaplamasının kullanıldığı betonarme çerçeveleri oluşturmuştur. Toplam 5 adet çerçeve modelini kıyasladığında, hasır çelik ve sıvanın kullanıldığı dolgu duvarlı güçlendirme bina modelinin yatay rijitliğini artırmasına rağmen yönetmelik kriterlerini karşılamadığı sonucuna ulaşmıştır.

Atmaca (2013) çalışmasında, 8 katlı bir binanın performans analizini yapmıştır. Analizler sonucunda her kattaki kirişlerde ve kolonlarda oluşan hasarı, iki ucu mafsallı kolonlarda kesme kuvveti oranını ve katın deprem performansını tablolar halinde sunmuştur. Ayrıca kolonların N-M diyagramlarını inceleyerek mevcut

kolonun eksenel yükü 280 kN iken, güçlendirilmiş kolonun eksenel yükünün 900 kN olduğu sonucuna varmıştır.

Demirkan (2014) yaptığı tez çalışmasında, Sta4cad programıyla mevcut bir binayı güçlendirme betonarme perde duvar ilave ederek, mantolama ile ve hem perde duvar hem de mantolama ile güçlendirerek analiz etmiştir. Uygulanan güçlendirmelerden mantolama ile hedeflenen performans seviyesine ulaşamadığı ve en pahalı güçlendirme yöntemi olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca diğer güçlendirme yöntemlerinden ise ekonomiklik ve hedeflenen performans bakımından sadece perde duvar eklemenin daha uygun olduğunu belirtmiştir.

Sinani (2014) çalışmasında, 8 katlı bir binayı SAP 2000 programında tasarlayarak artımsal eşdeğer deprem yükü itme analizi ile performans değerlendirmesi yapmıştır. 2007 deprem yönetmeliğine göre yaptığı analiz sonucunda binanın göçme bölgesinde olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca söz konusu binayı EC 8'e göre de analiz etmiştir. Diğer taraftan malzeme ve geometri özelliklerini aynı tutarak binayı 4 katlı hale getirip her iki yönetmeliğe göre kıyaslamasını yapmıştır. Elde ettiği sonuçlardan 2007 deprem yönetmeliğinin daha güvenli tarafta olduğunu belirtmiştir.

Özdemir (2015) yaptığı çalışmasında, boyutları 25 x 25 x 195 cm olan 5 adet kolona mantolama yaparak boyutları 40 x 40 x 200cm olan kolonlar elde etmiştir. Elde etmiş olduğu bu kolonlardan bir tanesini referans kolon alarak, ikincisini ankrajlı, üçüncüsünü ankrajlı ve boyuna donatıları sürekli, dördüncüsünü daha sık etriyeli ve ankrajlı, beşincisini ise ankrajlı, boyuna donatıları sürekli ve çelik lifli beton olarak tasarlamıştır. Söz konusu kolonları akustik emisyon yöntemiyle deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışma sonucunda betonarme mantolamanın kesme dayanımını önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir.

Aynur (2017) çalışmasında, 1999 Marmara Depremi'nde hasar gören bir binayı incelemiştir. Bu amaçla önce 1998 Türkiye deprem yönetmeliğinde belirtilen güçlendirme ilkelerine göre söz konusu binayı, mantolama ve perde duvar ekleme yöntemleriyle güçlendirmiş, daha sonra söz konusu binanın 2007 Türkiye deprem yönetmeliğinde belirtilen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle performans

analizini yapmıştır. Analiz sonucunda söz konusu binanın hedeflenen performans seviyesini sağlamadığını görmüştür. Çalışmasının sonunda söz konusu binada istenilen performans hedefini, çelik çaprazla güçlendirmek suretiyle elde etmiştir.

Karadeniz (2017) yaptığı tez çalışmasında, 5 farklı yapının davranışlarını incelemiştir. Bu amaçla birinci yapıda, 2007 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış 2 katlı betonarme bir binaya bir kat daha ilave edilerek oluşturulan asansör boşluğunun ve perde duvarların olumlu ve olumsuz etkilerini değerlendirmiştir. İkincisi yapıda, 1998 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış 2 katlı betonarme bir binaya güçlendirme uygulamış, ancak kat adedini 3 olduğunda güçlendirme işlemlerinin yetersiz kaldığını görmüştür. Üçüncü yapıda, bodrum kat ve iki kattan oluşan betonarme bir binayı incelemiş, 1998 yönetmeliğinden önce tasarlanan bu binanın o günkü koşulları da sağlamadığı sonucuna varmıştır. Bu binada kolonlara mantolama yaparak can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır. Dördüncü yapıda, Hatay'da mevcut 2 katlı betonarme binaya yeni kolon ekleyip mantolama yapmış ve performansını değerlendirmiştir. Beşinci yapıda ise, kullanım türü konut olan betonarme bir binanın kullanım amacını değiştirerek 2007 deprem yönetmeliğine göre performans analizi yapmış ve yapının göçme bölgesinde olduğunu gözlemlemiştir. Bu nedenle söz konusu binaya 3 adet güçlendirme perdesi ekleyerek hedeflenen performans seviyesini sağlamıştır.

Kocabey (2017) çalışmasında, 2007 deprem yönetmeliğine göre 3 adet binayı mantolama ve betonarme (perde) duvarla güçlendirerek artımsal zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle 14 adet ölçekli deprem kaydıyla incelemiştir. Böylelikle söz konusu binaların hasar olasılık eğrilerini değerlendirmiştir. Artımsal dinamik analiz sonuçlarını değerlendirdiğinde binalardaki dayanım artışının mantolanmış binalarda daha fazla olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Uğurlu (2017) tez çalışmasında, kısa konsol ve yumuşak kat düzensizliği bulunan yapıları incelemiştir. Çalışmasının sonunda bu tür düzensizliği bulunan yapılarda önemli olan birleşim bölgelerinin, güçlendirme işleminden sonra, epoksi ile de onarılması gerektiğini belirtmiştir.

Bawary (2018) yaptığı tez çalışmasında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kredi Yurtlar Kurumunun bir bloğunu incelemiştir. Buna göre söz konusu binaya kolon mantolaması ve perde duvar ekleme yöntemleriyle güçlendirme uygulamışlardır. Yapısal çözümlmelerden elde ettiği periyot, maksimum kat yer değiştirmesi, maksimum rijitlik ve taban kesme kuvvetlerini karşılaştırmıştır. Sonuçlar olarak kolon mantolamasının iç kuvveti artırdığını, buna karşılık perde duvar uygulamasının söz konusu iç kuvvetleri azalttığını ifade etmiştir.

Nakipoğlu (2018) çalışmasında, yumuşak kat düzensizliğine sahip olan binaların deprem karşısında ne kadar dayanabildiğini ve güçlendirildiği takdirde hangi güçlendirme tipinin daha verimli olacağını araştırmıştır. Bu amaçla 1/3 ölçeğinde 2 katlı tek açıklıklı 5 farklı tipte betonarme çerçeve hazırlamış ve tersinir yükler altında deneysel olarak incelemiştir. Bunlardan her iki katında dolgu duvar bulunan deney örneği referans çerçeve olarak adlandırılmıştır. İkinci deney örneği, yumuşak kat çerçevesi olarak düşünülmüş ve sadece üst katında dolgu duvar bulunmaktadır. Üçüncü deney örneği K tipi çelik çaprazlarla güçlendirilmiş çerçevedir. Dördüncü deney örneği düz V tipi çelik çaprazlarla güçlendirilmiş çerçevedir. Beşinci deney örneği ise yan V tipi çelik çaprazlarla güçlendirilmiş çerçevedir. Deneyler sonucunda K tipi çelik çaprazlı çerçevenin yumuşak katlı çerçeveye göre yaklaşık 6 kat, düz V tipi çelik çaprazlı çerçevenin yumuşak katlı çerçeveye göre yaklaşık 4 kat ve yan V tipi çelik çaprazlı çerçevenin yumuşak katlı çerçeveye göre yaklaşık 2,5 katı kadar daha fazla yük taşıdığını gözlemlemiştir. Buna göre K tipi çelik çaprazlı çerçevenin en uygun çerçeve olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Yüzbaşı ve Yerli (2018) çalışmalarında, Vakıfbank ortaokulu ve Sabancı ilkokulu binalarını incelemişlerdir. Bu amaçla önce söz konusu okul binalarının 2007 deprem yönetmeliğine göre performans analizlerini yapmışlardır. Daha sonra söz konusu binalara betonarme perde duvar ilavesi ve kolon mantolama işlemleriyle güçlendirdikten sonra orta ve büyük ölçekli deprem düzeylerinde istenilen performans hedefinin sağladığını görmüşlerdir. Ayrıca her iki binada da maliyet analizi yaparak, güçlendirmenin mi yoksa yıkıp yeniden yapmanın mı daha mantıklı olacağını değerlendirmişlerdir. Buna göre Vakıfbank ortaokulu için güçlendirme

maliyetinin bina toplam maliyetine oranı %16,55 iken, Sabancı ilkokulu için ise %41,5 olmuştur. Sonuç olarak bu oran %40'ı geçtiğinde yapıyı yıkıp yeniden yapmak daha mantıklı olacağını ifade etmişlerdir.

Uçar (2019) tez çalışmasında, İstanbul Kadıköy'de bulunan bir binanın 2019 *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği* hükümleri çerçevesinde dayanıma göre tasarımını incelemiştir. Ayrıca 2007 ve 2019 deprem yönetmeliklerine göre bu binanın lineer olmayan yöntemle performans analizlerini karşılaştırmıştır. Analizler sonucunda 2019 deprem yönetmeliğine göre gereken performans hedefinin sağlandığını, 2007 deprem yönetmeliğine göre ise I=1 deprem düzeyi için gereken performans hedefinin sağlanmadığı tespit etmiştir. Diğer taraftan hem itme analiziyle hem de zaman tanım alanında performans hesabını yapmıştır. Sonuç olarak zaman tanım alanında yapılan hesapların daha gerçekçi olduğunu ve daha olumsuz sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Zolmaz (2019) tez çalışmasında, 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış bir binanın 2019 deprem yönetmeliği kriterlerine göre önce doğrusal performans değerlendirmesi yapmış, daha sonra söz konusu binaya perde duvar ekleyerek güçlendirilmiş durumun analizini yaparak incelemiştir. Ayrıca 11 adet deprem kaydını kullanarak söz konusu binanın güçlendirilmiş durumunun zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini yapmıştır. Sonuç olarak perde duvar eklenmesiyle söz konusu binanın yatay rijitliğinin arttığını, yerdeğiştirmelerinin azaldığını ve kolon ve/veya kirişlerde oluşan hasarların azaldığını ifade etmiştir.

Sargın (2020) çalışmasında, Kütahya'da 2000 yılı öncesinde yapılan mevcut bir binayı 2007 ve 2019 deprem yönetmeliklerine göre İdecad programıyla incelemiştir. Bu amaçla söz konusu binayı önce 2007 deprem yönetmeliğine göre orta bilgi düzeyini baz alarak analiz etmiştir. Yapısal analizler sonucunda göçme bölgesinde çıkan kolonlara mantolama uygulandığında, mantolamanın maliyet, zaman ve verimlilik açısından uygun olmadığını ifade etmiştir. Ayrıca 2007 deprem yönetmeliğine göre C30 beton sınıfı ve B420C donatı sınıfına sahip güçlendirme perdesi eklediğinde ise söz konusu binanın hedeflenen performans seviyesine ulaştığını görmüştür. Bu güçlendirme şekliyle söz konusu binayı 2019 Türkiye bina deprem yönetmeliği çerçevesinde sınırlı hasar performans hedefi için DD3 deprem

düzeyi ve kontrollü hasar performans hedefi için ise DD1 deprem düzeyine göre analiz etmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda söz konusu binanın DD3 deprem düzeyi için yeterli şartı sağladığını ve DD1 deprem düzeyi için yeterli şartı sağlamadığını tespit etmiştir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu tez çalışmasında, 2007 ve 2019 Türkiye deprem yönetmeliklerinde yer alan onarım ve güçlendirme tasarım ilkelerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi ve aralarındaki farklılıkların ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaçla doğru yapılan güçlendirme uygulamalarının vurgulanması, dikkate alınan her iki deprem yönetmeliğine göre örnek olarak seçilen betonarme okul binalarının performans ve maliyet analizleri yapılarak aralarındaki farklılıkların daha iyi anlaşılması ve uygulama ve/veya bilimsel çalışmalara katkıda bulunulması hedeflenmektedir. Diğer taraftan Türkiye’de oluşan son (*1999 Kocaeli ve Düzce, 2011 Van, 2020 Elazığ ve İzmir*) depremler sonucu yapılan değerlendirmelerde, hasar gören birçok yapının onarım ve/veya güçlendirme ihtiyacı olduğu açıkça görülmektedir. Durum böyle olunca 2007 ve 2019 Türkiye deprem yönetmelikleri tasarım esaslarına ilişkin bir değerlendirme sunarak, onarım ve güçlendirme uygulamaları için güncel bir kaynağı oluşturulması hedeflenmektedir.

2007 ve 2019 Türkiye deprem yönetmeliklerinde yer alan güçlendirme tasarım ilkelerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi ilgili yapılan bu tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır.

BÖLÜM 2

MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu bölümde sırasıyla 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki yönetmeliğin (DBYBHY) 7. bölümde yer alan “*Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi*” ve 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin (TBDY) 15. bölümde yer alan “*Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tasarımı İçin Özel Kurallarına*” ilişkin tasarım ilkeleri verilecek ve bu tasarım ilkeleri birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

2.1. MEVCUT BİNALARDAN BİLGİ TOPLANMASI

Güçlendirme (takviye) işlemlerine karar vermek için, öncelikle mevcut binaların o anki durumlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla binaların geometrisi, varsa mimari ve/veya betonarme ve statik projeleri, taşıyıcı sistem özellikleri, temel sistemi özellikleri, malzemelerin mekanik özellikleri ve yapısal elemanların boyutları incelenmelidir.

2.1.1. Bilgi Düzeyleri

DBYBHY’de bina taşıyıcı sistemleri kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla üç farklı bilgi düzeyi verilmiştir (DBYBHY, 2007). Bu bilgi düzeyleri de söz konusu yönetmelikte sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu bilgi düzeyleri de dikkate alınan yapıyla ilgili mevcut bilgilere göre seçilmektedir. Örneğin söz konusu yapıyla ilgili mevcut bilgi az ise *bilgi düzeyi sınırlı* olarak dikkate alınmaktadır. Dikkate alınan yapıyla ilgili sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla bilgilerin olduğu bilgi düzeyi *orta bilgi düzeyi* olarak seçilmektedir. Söz konusu yapıyla ilgili projelerinin bulunduğu ve daha fazla ölçümün yapıldığı bilgi düzeyi ise *kapsamlı bilgi düzeyi* olarak adlandırılmaktadır. Taşıyıcı sistemin kapasite hesabında

kullanılmak üzere burada belirtilen bilgi düzeylerine ilişkin söz konusu yönetmelikte katsayılar verilmektedir. Bu katsayılar sırasıyla sınırlı bilgi düzeyi için 0,75, orta bilgi düzeyi için 0,90 ve kapsamlı bilgi düzeyi için ise 1,0 olarak alınmaktadır.

Burada söz konusu yönetmeliğe göre sınırlı bilgi düzeyinin, depremlerden hemen sonra kullanılması gereken binalarda ve insanların yoğun olarak bulunduğu binalarda uygulanmadığını belirtmek yararlı olacaktır.

TBDY’de DBYBHY’den farklı olarak sadece sınırlı ve kapsamlı bilgi düzeyleri bulunmaktadır (TBDY, 2019). Bunlardan sınırlı bilgi düzeyi, bina önem katsayısı 1 olan binalar için uygulanmaktadır. Kapsamlı bilgi düzeyi ise DBYBHY’e benzer tasarım kurallarına sahiptir. Buna göre taşıyıcı sistemin kapasite hesabında sınırlı bilgi düzeyi için 0,75 ve kapsamlı bilgi düzeyi için ise 1,0 katsayıları kullanılmaktadır.

2.1.1.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi

Bu başlık altında TBDY ve DBYBHY yönetmeliklerindeki sınırlı bilgi düzeyine ilişkin verilen özellikler irdelenerek birbirleriyle kıyaslanacaktır.

Bu bilgi düzeyinde, söz konusu binanın geometrisi, yapısal eleman boyutları ve/veya detayları ve söz konusu binanın malzeme özellikleri gibi hususlar dikkate alınmaktadır. Bunlardan;

Bina Geometrisi; öncelikle mevcut binanın/yapının saha çalışmaları yapılarak rölöveleri oluşturulmaktadır. Söz konusu binanın hesabının (performans analizi gibi) doğru bir şekilde yapılması için taşıyıcı sistemi oluşturan bütün yapısal elemanların ve duvarların; boyutları, yükseklikleri, açıklıkları, plandaki yerleri ve malzeme türlerinin doğru bir şekilde belirtilmesi gerekmektedir. Ayrıca yapı temelinin özellikleri inceleme (muayene) çukuru açılarak tespit edilmelidir. Diğer taraftan dikkate alınan yapıda kısa kolon gibi yapı emniyetini tehlikeye düşürecek durumlar varsa bunların planda ve kesitte yerlerinin belirtilmesi gerekmektedir.

Eleman Detayları; DBYBHY’de her kattaki kolon ve betonarme duvarların en az %10’unda ve kirişlerin ise %5’inde beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti yapılması gerektiği belirtilmektedir. TBDY’e göre ise her kattaki kolon ve perdelerin en az %5’inde ve her katta en az bir adet kirişte sıyırma yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu tez çalışmasında dikkate alınan iki yönetmelikte de pas payları sıyrılmayan kolon ve perdelerin %20’sinde donatı tespit cihazlarının kullanılması gerektiği ifade edilmektedir. Diğer taraftan söz konusu yönetmeliklerde donatı tespiti yapılmayan ve/veya yapılamayan elemanlarda *donatı gerçekleşme katsayısı* kullanılacağı belirtilmektedir.

Burada *donatı gerçekleşme katsayısının*, TBDY’e göre donatı tespiti yapılan betonarme duvar ve kolonlarda bulunan mevcut donatının minimum donatıya oranıyla ve DBYBHY’e göre ise proje ile mevcut durum arasında uyumsuzluk bulunması halinde, söz konusu betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranıyla ifade edildiğini belirtmek uygun olacaktır.

Malzeme Özellikleri; DBYBHY’de *mevcut beton basınç dayanımı* için her kattaki kolon ve/veya perdelerden, TS 10645 standardına göre, en az 2 adet karot örneği alınması gerektiği ve bunlardan elde edilen en düşük basınç dayanımının kullanılması gerektiği belirtilmektedir. TBDY’de ise TS EN 12504-1 standardı dikkate alınarak en az 3 adet karot örneği alınması gerektiği ifade edilmektedir. Ayrıca bu yönetmeliğe elde edilen örnek sayısının üçten fazla olması durumunda mevcut beton dayanımı “*Ortalama-Standart Sapma*” ya da “*0,85*Ortalama*” değerlerinden büyüğü alınarak belirlenmektedir. Diğer taraftan bu yönetmeliğe göre en düşük *beton basınç dayanımı* değeri diğer basınç dayanımları ortalamasının %75’inden küçükse hesaplarda değerlendirmeye alınmayacaktır.

Bu tez çalışmasında dikkate alınan yönetmeliklere göre yukarıda belirtilen özellikler karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 2.1. TBDY ve DBYBHY yönetmeliklerine göre sınırlı bilgi düzeylerinin karşılaştırılması.

			DBYBHY	TBDY
Eleman Detayları	Sıyırma işlemi	Kolon ve betonarme duvarda	%10	%5
		Kirişte	%5	en az 1 adet
	Donatı tespit cihazı kullanımı		%20	%20
Malzeme Özellikleri	Kolon veya betonarme duvarlardan alınacak karot sayısı		en az 2 adet	en az 3 adet
	Karot alınmasında dikkate alınan standart		TS 10645	TS EN 12504-1
	Karot sayısı	en az 2 ise	en düşük basınç dayanımı	X
		en az 3 ise	X	en düşük basınç dayanımı
	Karot sayısı 3'ten fazla ise mevcut beton basınç dayanımı		X	Ortalama-Standart sapma ya da $0,85 \cdot \text{Ortalama}$

2.1.1.2. Betonarme Binalarda Orta Bilgi Düzeyi

Bu bilgi düzeyine sadece DBYBHY’de yer verilmiştir. Bu bilgi düzeyinde de sınırlı bilgi düzeyinde olduğu gibi bina geometrisi, yapısal eleman ve malzeme özellikleri gibi hususlar dikkate alınmaktadır.

Bina Geometrisi; öncelikle incelenen yapının projeleri mevcut ise yapılan ölçümler ile mevcut projenin uygunluğu kontrol edilmektedir. Yapı projelerinin olmaması durumunda ise, sınırlı bilgi düzeyinde olduğu gibi, röleve çalışmaları yapılarak taşıyıcı sistemi oluşturan yapısal elemanların boyutlarının detaylı bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir.

Eleman özellikleri; bu bilgi düzeyi eleman özellikleri bakımından sınırlı bilgi düzeyi ile benzer özellikler içermesiyle birlikte daha fazla ölçüm yapılması gerekmektedir.

Buna göre her kattaki kolon ve/veya perde duvarlarda 2 adetten az olmamak koşuluyla en az %20'sinde sıyırma işlemi ve kirişlerin ise en az %10'unda sıyırma işlemi yapılmalıdır. Ayrıca sıyırma işlemi yapılmayan yapısal elemanların en az %20'sinde donatı tespit cihazı kullanılarak donatı bilgilerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Malzeme Özellikleri; DBYBHY'e göre her kattaki kolon ve/veya perde duvarlardan en az 3 adet ve binanın tümünden ise en az 9 adet olmak üzere 400 m²'de bir adet karot alınması gerekmektedir. Alınan karot numunelerinin mevcut beton basınç dayanımı “*ortalama-standart sapma*” değeri ile belirlenecektir. Ayrıca söz konusu binada yapılan incelemelerde, donatıda korozyon olması durumunda bu husus belirtilip performans hesaplarında söz konusu donatının dayanım değeri belli bir oranda azaltılması gerekmektedir (DBYBHY, 2007).

2.1.1.3. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi

Kapsamlı bilgi düzeyine bu tez çalışmasında dikkate alınan her iki deprem yönetmeliğinde de yer verildiği görülmektedir.

Bina Geometrisi; bu bilgi düzeyinde diğer bilgi düzeylerinden farklı olarak incelenen binayla ilgili projelerin mevcut olmasıdır. Diğer taraftan yapılan incelemeler sonucu elde edilen bilgiler ile mevcut projedeki bilgiler arasında farklılık olması durumunda söz konusu proje dikkate alınmayacaktır. Bu durumda DBYBHY'e göre orta bilgi düzeyinde ve TBDY'e göre ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen tasarım esasları dikkate alınarak işlem yapılacaktır.

Eleman Detayları; bununla ilgili DBYBHY'de yapısal elemanlarda yapılacak sıyırma işlemlerinin orta bilgi düzeyinde (madde 2.1.1.2'de) verilenlerle aynı oranda olacağı belirtilmektedir. Ayrıca beton örtü kalınlığı (pas payı) sıyrılmayan ve/veya sıyrılamayan elemanların %20'sinde donatı tespit cihazı kullanılarak hasarsız donatı tesbiti ve yerleşimi belirlenecektir. Diğer taraftan binanın projesi ile yapılan tespitler arasında farklılık olması durumunda, yapısal elemanlardaki donatıdaki belirsizlikler *donatı gerçekleşme katsayısı* kullanılarak hesaplarda dikkate alınacaktır. TBDY'e

göre ise binanın projelerinin mevcut olması durumunda, donatıların uygunluğunun kontrolü sınırlı bilgi düzeyindeki tasarım kurallarına göre gerçekleştirilecektir. Ayrıca bu yönetmeliğe göre pas payı sıyrılmayan ve/veya sıyrılamayan perde duvar-kolonların %20'sinde ve çerçeve girişlerin %10'unda donatı tespit cihazıyla gerekli incelemelerin yapılması gerekmektedir. Diğer taraftan bu yönetmeliğe göre binanın projesi mevcut değil ise, her katta en az 2 adet ve kolon ve/veya perde duvarların %10'unda sıyırma işlemi yapılmalıdır. Ayrıca beton örtü kalınlığı (pas payı) sıyrılmayan ve/veya sıyrılamayan kolon-perde duvarların %30'unda ve girişlerin %15'inde donatı tespit cihazıyla incelemelerin yapılması gerekmektedir.

Malzeme Özellikleri; DBYBHY'de her kattaki kolon ve perde duvarlardan en az 3 adet, toplamda da en az 9 adet olmak koşuluyla her 200 m²'de bir adet karot örneğinin alınması gerektiği belirtilmektedir. Bu yönetmeliğe göre mevcut beton basınç dayanımı değerinin, karot örneği değerlerinden elde edilen “*ortalama-standart sapma*” ile bulunacağı ifade edilmektedir. Ayrıca bu yönetmeliğe göre betonda yapılan incelemelerin yanı sıra donatı (çelik) için de incelemelerin yapılması gerektiği, betonarme çeliğinin karakteristik akma dayanım değerinin projesine uygun olmaması durumunda en az 3 adet örnek alınması gerektiği ve bunlardan en elverişsiz değer in çelik akma dayanımı değeri olarak kabul edilmesi gerektiği belirtilmiştir. TBDY'e göre kolon ve/veya perde duvarlardan zemin katta en az 3, diğer katlarda ise en az 2 adet ve toplamda da 9 adetten az olmamak koşuluyla her 400 m²'de 1 adet karot örneğinin alınması gerektiği belirtilmektedir. Diğer taraftan söz konusu yönetmeliğe göre, beton basınç dayanımları ve donatının karakteristik akma gerilmesinin belirlenmesi için izlenen yöntem sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen yöntemle benzerdir.

Bu çalışmada dikkate alınan deprem yönetmeliklerine göre *kapsamlı bilgi düzeyine* ilişkin yukarıda belirtilen özellikler karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.2'de özetlenmektedir.

Çizelge 2.2. TBDY ve DBYBHY yönetmeliklerine göre kapsamlı bilgi düzeylerinin karşılaştırılması.

		DBYBHY		TBDY	
		Projesi varsa	Projesi yoksa	Projesi varsa	Projesi yoksa
Sıyırma İşlemi (Tahribatlı Yöntem)	Kolon	En az 1 adet	En az 2 adet	En az 1 adet	En az 2 adet
		Her kattaki kolonların %10'u	Her kattaki kolonların %20'si	Her kattaki kolonların %5'i	Her kattaki kolonların %10'u
	Perde	En az 1 adet	En az 2 adet	En az 1 adet	En az 2 adet
		Her kattaki perde duvarların %10'u	Her kattaki perde duvarların %20'si	Her kattaki perde duvarların %5'i	Her kattaki perde duvarların %10'u
	Kiriş	En az 1 adet	En az 2 adet	1 adet	1 adet
		Her kattaki kirişlerin %5'i	Her kattaki kirişlerin %10'u		
Donatı Tespit Cihazıyla (Tahribatsız Yöntem)	Kolon	Sıyrılmayan kolonların %20'si	Sıyrılmayan kolonların %20'si	Sıyrılmayan kolonların %20'si	Sıyrılmayan kolonların %30'u
	Perde	Sıyrılmayan perde duvarların %20'si	Sıyrılmayan perde duvarların %20'si	Sıyrılmayan perde duvarların %20'si	Sıyrılmayan perde duvarların %30'u
	Kiriş	Sıyrılmayan kirişlerin %20'si	Sıyrılmayan kirişlerin %20'si	Sıyrılmayan kirişlerin %10'u	Sıyrılmayan kirişlerin %15'i
Karot İşlemi		Her katta en az 3, toplamda en az 9 adet ve her 200 m ² 'de 1 adet alınması gerektiği		Zemin katta en az 3, diğer katlarda en az 2, toplamda da en az 9 adet ve her 400 m ² 'de 1 adet alınması gerektiği	

2.2. YAPISAL ELEMANLARDA HASAR SINIRLARI VE BÖLGELERİ

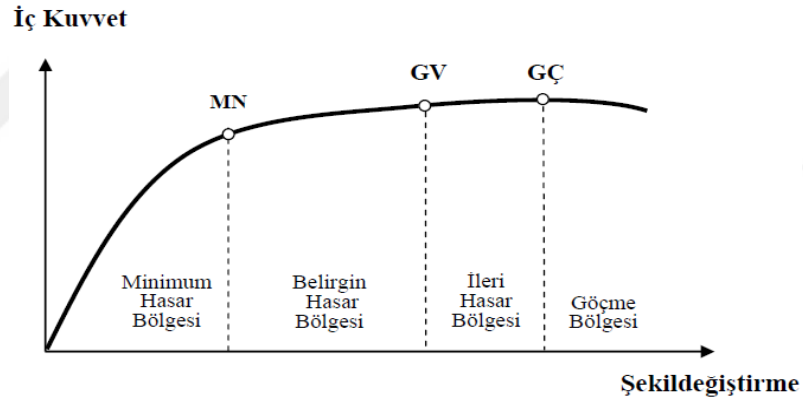
2.2.1. Kesit Hasar Sınırları

DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerinde kesit hasar sınırlarının adlandırılmasında bazı farklılıkların olduğu görülmektedir. Söz konusu hasar sınırları DBYBHY'de Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) isimlendirmeleriyle belirtilmektedir. Buna karşın TBDY'de ise Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) Hasar Sınırı olarak adlandırılmaktadır. Bu tez çalışmasında dikkate alınan her iki yönetmeliğe göre bu hasar sınırlarının kullanılabilmesi için taşıyıcı sistemi oluşturan yapısal elemanların gevrek davranış

göstermemesi gerekmektedir. DBYBHY’ye göre MN ve TBDY’ye göre SH sınırı, kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını ifade etmektedir. DBYBHY’ye göre GV ve TBDY’ye göre KH sınırı, kesitte elastik ötesi davranışta yapısal eleman dayanımının güvenli bölgede tutulduğu sınır olarak tanımlanmaktadır. Son olarak DBYBHY’ye göre GÇ ve TBDY’ye göre GÖ hasar sınırı ise, kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışın oluştuğunu ifade etmektedir.

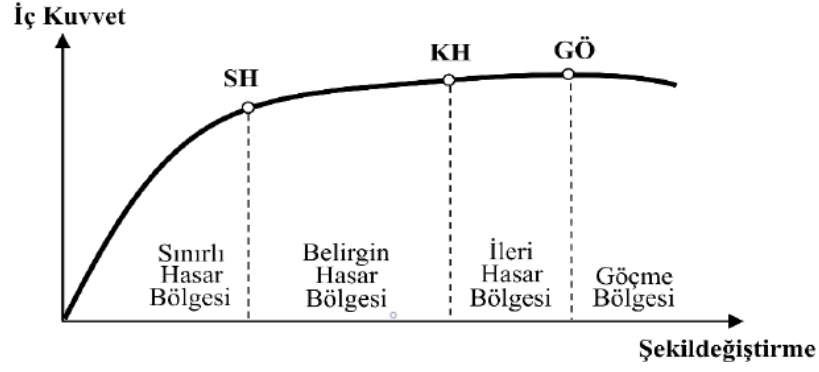
2.2.2. Kesit Hasar Bölgeleri

DBYBHY’de MN’ye kadar olan bölge “*Minimum Hasar Bölgesi*”, MN ile GV arasındaki bölge “*Belirgin Hasar Bölgesi*”, GV ile GÇ arasındaki bölge “*İleri Hasar Bölgesi*” ve GÇ’den sonraki bölge ise “*Göçme Bölgesi*” olarak adlandırılmaktadır. (bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1. DBYBHY’ye göre tanımlanan kesit hasar bölgeleri (DBYBHY, 2007).

TBDY’de ise SH’ye kadar olan bölge “*Sınırlı Hasar Bölgesi*”, SH ile KH arası “*Belirgin Hasar Bölgesi*”, KH ile GÖ arası “*İleri Hasar Bölgesi*” ve GÖ’den sonraki bölge ise “*Göçme Bölgesi*” olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2.2. TBDY’ye göre tanımlanan kesit hasar bölgeleri (TBDY, 2019).

Yukarıda açıklanan hasar sınırları ve bölgeleri performans analizi yapılacak olan betonarme yapının mevcut durumu hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır. Böylelikle bu bilgilerin ışığı altında yönetmeliklerde tanımlanmış tasarım kural ve hedefleri doğrultusunda söz konusu yapının güçlendirilmesi yapılmaktadır.

2.3. DEPREM HESABINA İLİŞKİN GENEL İLKE VE TASARIM KURALLARI

Bu tez çalışmasında dikkate alınan her iki yönetmelikte de betonarme binalarda uygulanacak onarım ve güçlendirme çalışmalarında izlenmesi gereken tasarım kuralları genellikle aşağıdaki gibidir. Ayrıca TBDY’ye göre etkin kesit rijitliklerinin Çizelge 2.3’teki değerler dikkate alınarak kullanılması gerekmektedir.

- 1) Binaların deprem performansları (mevcut ya da güçlendirilmiş), doğrusal ya da doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre belirlenmektedir. Söz konusu hesap yöntemlerinden elde edilen sonuçların ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir (DBYBHY, 2007; TBDY, 2019).
- 2) DBYBHY’de deprem aşılma olasılıkları dikkate alınarak yatay spektrum grafikleri kullanılmaktadır. TBDY’de ise farklı deprem düzeylerine bağlı olarak yatay elastik tasarım spektrumu, düşey tasarım spektrumu ve sahaya özel deprem spektrumunun kullanılacağı belirtilmektedir. Ayrıca her iki yönetmelikte de bina önem katsayısının 1 alınması gerekmektedir.

- 3) Herhangi bir yapının deprem performans analizi yapılırken söz konusu yapıya etkiyen düşey yüklerle birlikte depremin oluşturduğu bileşke kuvvetlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Deprem hesabında, kütleler bağıntı 2.1'deki gibi hesaplanacaktır.

$$\left. \begin{aligned} w_i &= g_i + n \cdot q_i & (DBYBHY) \\ w_j^S &= w_{G,j}^S + n \cdot w_{Q,j}^S & (TBDY) \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

- 4) Dikkate alınan her iki yönetmelikte de deprem kuvvetlerinin her iki doğrultuda etki ettirilmesi gerekmektedir.
- 5) Binanın taşıyıcı sistemi doğru bir şekilde modellenerek, sabit yükler ve deprem yükleri sonucu oluşan iç kuvvetlerin, yerdeğiştirmelerin ve şekildeğiştirmelerin hesaplanması gerekmektedir.
- 6) Döşemeleri rijit diyafram olarak çalışan binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ve düşey ekseninde ise dönme olmak üzere toplamda üç serbestlik derecesinin dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca kat serbestlik dereceleri kütle merkezinde toplanacak ve söz konusu binaya ek dış merkezlik uygulanmayacaktır.
- 7) Bilgi düzeyi katsayıları, incelenen bina ile mevcut proje arasındaki uyum dikkate alınarak seçilmesi gerekmektedir.
- 8) Dikkate alınan binada kısa kolon olması durumunda, söz konusu kolon ve/veya kolonlar gerçek serbest boylarıyla tanımlanmalıdır.
- 9) Bir ya da iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarıyla ilgili hususlar aşağıdaki gibi olmalıdır.
- a) İncelenen betonarme kesitlerde bilgi düzeylerinde, yukarıda tanımlandığı şekliyle mevcut beton ve çelik malzemelerin dayanımlarının kullanılması gerekmektedir.

b) DBYBHY'e göre maksimum beton basınç birim şekildeğiştirmesinin 0,003 ve TBDY'e göre ise 0,0035 alınması gerekmektedir. Ayrıca her iki yönetmelikte donatının (çeliğın) maksimum birim şekildeğiştirmesinin 0,01 alınması gerektiğı belirtilmektedir.

c) Her iki yönetmelikte eğilme ve eksenel kuvvet etkileşim diyagramları doğrusallaştırılarak çok doğrulu ya da çok düzlemli diyagramlar olarak modellenenilmektedir.

10) Betonarme yapısal elemanların birleşim bölgelerinin rijit birleşim olarak dikkate alınması gerekmektedir.

11) Eğilme etkisindeki yapısal elemanların çatlamış kesitlerinde etkin kesit rijitliklerinin kullanılması gerekmektedir. DBYBHY'e göre etkin kesit rijitlikleri;

a) Kirişlerde; $(EI)_e = 0,40 \cdot (EI)_o$

b) Kolon ve betonarme duvarlarda;

$$N_D / (A_c \cdot f_{cm}) \leq 0,10 \text{ olması durumunda } \rightarrow (EI)_e = 0,40 \cdot (EI)_o$$

$$N_D / (A_c \cdot f_{cm}) \geq 0,40 \text{ olması durumunda } \rightarrow (EI)_e = 0,80 \cdot (EI)_o$$

dikkate alınmaktadır. Bu bağıntılarda N_D deprem hesabında dikkate alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon ve/veya betonarme duvarlarda oluşan eksenel kuvveti, A_c kolon ve/veya betonarme duvarın brüt kesit alanını, f_{cm} söz konusu binanın mevcut beton dayanımını, $(EI)_e$ çatlamış kesite ilişkin etkin eğilme rijitliğini ve $(EI)_o$ çatlamamış kesite ilişkin eğilme rijitliğini göstermektedir.

Burada N_D eksenel yükünün çatlamamış kesit eğilme rijitliği dikkate alınarak hesaplanacağı ve deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük

hesabında ise etkin eğilme rijitliğinin kullanılması gerektiğini belirtmek yararlı olacaktır.

12) Tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında döşeme betonu ve içerisindeki donatının hesaba katılması gerekmektedir.

13) Bindirme boyunun yetersiz olduğu yapısal elemanlarda kapasite hesabı yapılırken, donatı akma gerilmesi bindirme boyunun eksiklik kadar azaltılması gerekmektedir.

14) Yapı zeminindeki şekildeğişmeler, söz konusu yapının davranışını etkilemesi durumunda, zemin özelliklerinin yapısal çözümleme modeline yansıtılması gerekmektedir.

Çizelge 2.3. TBDY’ e göre etkin kesit rijitliği çarpanları.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Betonarme Duvar-Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Betonarme duvar	0,5	0,5
Bodrum betonarme (perde) duvarı	0,8	0,5
Döşeme	0,25	0,25
Betonarme Duvar-Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Betonarme duvar	0,25	1
Bodrum betonarme duvarı	0,5	1
Döşeme	0,25	1
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15	1
Çerçeve kirişi	0,35	1
Çerçeve kolonu	0,7	1
Betonarme duvar (eşdeğer çubuk)	0,5	0,5

2.4. BİNA PERFORMANSININ DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

2.4.1. Hesap Yöntemleri

Bu tez çalışması kapsamında dikkate alınan her iki yönetmelikte de doğrusal hesap yöntemleri, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi olarak verilmektedir.

1) DBYBHY'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için, dikkate alınan binanın, bodrum kat hariç, toplam yüksekliğinin 25 m'yi ve kat sayısının ise 8'i geçmemesi gerekmektedir. Ayrıca bu yöntemin kullanıldığı binalarda burulma düzensizliği katsayısı 1,4'ten küçük olması ve ek dış merkezlik uygulanmaması gerektiği belirtilmektedir. Diğer taraftan bu yönteme göre taban kesme kuvvetinin hesabında, deprem yükü azaltma katsayısı (R_a) değerinin 1 alınması gerekmektedir (DBYBHY, 2007).

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a \cdot (T_1)} \geq \lambda \cdot (0,10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W) \quad (2.2)$$

Burada DBYBHY'e göre taban kesme kuvvetinin hesabında, λ katsayısının bodrum hariç bir ya da iki katlı binalarda 1, diğer binalarda ise 0,85 ve $R_a = 1$, alınması gerektiğini belirtmek yararlı olacaktır.

2) TBDY'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği hususlar Çizelge 2.4'te özetlenmektedir.

Çizelge 2.4. TBDY'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalara ilişkin hususlar.

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	
	DTS=1, 1a, 2, 2a	DTS=3, 3a, 4, 4a
Burulma düzensizliği katsayısı 2'den küçük olan ve B2 düzensizliği bulunmayan binalarda	BYS $\geq$ 4	BYS $\geq$ 5
Diğer tüm binalar	BYS $\geq$ 5	BYS $\geq$ 6

3) Bu tez çalışmasında dikkate alınan her iki yönetmelik incelendiğinde, mod birleştirme yöntemine ilişkin çok detaylı bilgiler verildiği görülmektedir. bu yönetime ilişkin ayrıntılı bilgi için burada dikkate alınan yönetmeliklere bakılabilir (DBYBHY, 2007; TBDY, 2019). Söz konusu yönetmeliklere göre yapısal elemanların kapasitelerinin hakim olan doğrultudaki moda bağlı olarak hesaplanması gerekmektedir.

2.4.2. Betonarme Yapısal Elemanlarda Hasar Türlerinin Belirlenmesi

- 1) Dikkate alınan her iki yönetmelikte de betonarme kolon, kiriş ve betonarme duvarlar gibi sünek yapısal elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde **etki / kapasite** oranları (EKO) kullanılmaktadır.
- 2) Betonarme yapısal elemanların kırılma türü, eğilme ise “*sünek*”, kesme ise “*gevrek*” kırılma olarak sınıflandırılmaktadır.
 - a) Her iki yönetmeliğe göre betonarme duvar, kolon ve kiriş gibi yapısal elemanların sünek olarak değerlendirilebilmesi için, hesaplanan kesme kuvveti V_e değerinin kesme kapasitesi olan V_r ’yi aşmaması ($V_e \leq V_r$) gerekmektedir. Söz konusu yapısal elemanların kesme kuvveti hesabında mevcut malzeme dayanımları kullanılmaktadır. Ayrıca TBDY’e göre kesme kuvveti değerinin (V_e),

$$V_e \leq 0,85 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (2.3)$$

bağıntısıyla hesaplanmasını önermektedir. Bu bağıntıda V_e betonarme kolon, kiriş ve betonarme duvarda tasarıma esas kesme kuvveti değerini, d faydalı yüksekliği ve f_{ck} ilgili beton sınıfının karakteristik basınç dayanımını göstermektedir.

b) Her iki yönetmeliğe göre betonarme kolon, kiriş ve perde duvar gibi yapısal elemanların kesme kuvveti (V_e) değerinin hesabında aşağıdaki bağıntılar önerilmektedir.

➤ Kolonlar için,

$$V_e = (M_a + M_{\bar{u}}) / l_n \quad (2.4)$$

➤ Kirişler için,

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / l_n \quad (2.5)$$

➤ Betonarme duvarlar için,

$$V_e = \beta_v \cdot \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} \cdot V_d \quad (2.6)$$

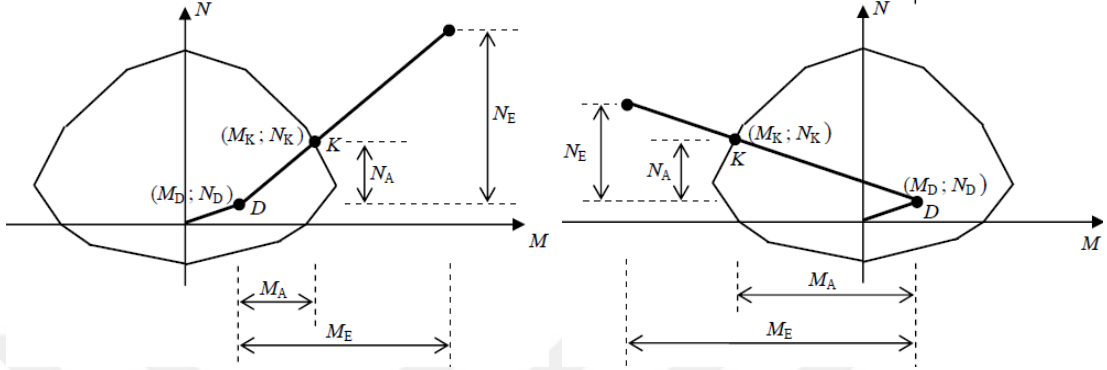
Bu bağıntılarda M_a kolon serbest yüksekliğinin alt ucunda kesme kuvveti hesabında dikkate alınan momenti, $M_{\bar{u}}$ kolon serbest yüksekliğinin üst ucunda kesme kuvveti hesabında dikkate alınan momenti, l_n kolonun serbest yüksekliğini ve kirişin serbest açıklığını, V_{dy} kirişin herhangi bir kesitinde düşey yüklerden oluşan basit kiriş kesme kuvvetini, M_{pi} kirişin i ucunda kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi dikkate alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment taşıma kapasitesini, M_{pj} kirişin j ucunda kolon yüzünde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi dikkate alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment taşıma kapasitesini, $(M_d)_t$ betonarme duvarın taban kesitinde yük katsayılarıyla çarpılmış düşey ve deprem yüklerinin ortak etkisiyle hesaplanan momenti, $(M_p)_t$ betonarme duvarın taban kesitinde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi dikkate alınarak hesaplanan moment taşıma kapasitesini,

V_d yük katsayılarıyla çarpılmış düşey ve deprem yüklerinin ortak etkisiyle hesaplanan kesme kuvvetini ve β_v betonarme duvar kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısını göstermektedir.

Burada β_v katsayısının 1 ve düşey yükler sonucu oluşan kesme kuvveti değeri ile deprem sonucu oluşan kesme kuvveti değeri toplanarak elde edilen toplam kesme kuvveti değerinin V_e 'den küçük olması durumunda küçük olan değerin dikkate alınacağını belirtmek uygun olacaktır.

- c) Betonarme duvarların süneklik koşulunu sağlaması için $H_w/l_w > 2$ oranını sağlaması gerekmektedir (DBYBHY 2007).
 - d) Yapısal elemanlarda oluşan kesme kuvvetinin kesme kapasitesinden büyük olması durumunda, hasar gören söz konusu elemanların *gevrek elemanlar* olarak tanımlanması gerekmektedir (DBYBHY, 2007; TBDY, 2019).
- 3) Etki / kapasite oranı, düşey yükler ve depremden oluşan toplam kesit momentinin kesit moment kapasitesine bölünmesiyle elde edilmektedir. Ayrıca bu hesapta deprem kuvvetinin doğrultusunun dikkate alınması zorunludur (DBYBHY, 2007; TBDY, 2019).
- a) Kolon ve betonarme duvarların eğilme momenti kapasitelerine karşılık gelen eksenel kuvvet değerinin, düşey yük ve $R_d=4$ alınarak hesaplanan deprem yüklerinin ortak etkisinde hesaplanması gerekmektedir (TBDY, 2019).
 - b) Kesit artık moment kapasitesi; söz konusu kesitin eğilme momenti kapasitesiyle düşey yüklerden dolayı hesaplanan moment etkisinin farkı olarak tanımlanmaktadır. Kirişlerin mesnetlerinde, düşey yüklerden oluşacak moment etkisinin yeniden dağılım ilkesine göre en fazla %15 azaltılması gerekmektedir (DBYBHY, 2007).

c) Kolon ve betonarme duvarların EKO hesaplamak için, doğrusallaştırılan moment-eksenel kuvvet etkileşim diyagramlarından yararlanılması gerekmektedir (bkz. Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Kolon ve betonarme duvarlarda moment-eksenel kuvvet etkileşim diyagramları (DBYBHY, 2007).

d) Şekil 2.3'teki D noktası düşey yüklerin etkisiyle oluşan M_D - N_D kuvvet çiftine, etkileşim diyagramının dışında bulunan E noktası $R_d=1$ için hesaplanan deprem göre M_E - N_E kuvvet çiftine ve doğru parçasının diyagramı kestiği K noktası ise kolon veya betonarme duvar kesitinin moment-eksenel kuvvet kapasitesi olan M_K - N_K kuvvet çiftine karşılık gelmektedir. Söz konusu etkileşim diyagramındaki noktalardan yararlanarak artık moment ve eksenel kuvvet kapasitesi 2.7 ve 2.8 bağıntılarıyla hesaplanabilir.

$$M_A = M_K - M_D \quad (2.7)$$

$$N_A = N_K - N_D \quad (2.8)$$

Böylece kolon veya betonarme duvarın EKO 2.9 bağıntısındaki gibi hesaplanmaktadır.

$$r = \frac{M_E}{M_A} = \frac{N_E}{N_A} \leq r_s \quad (2.9)$$

Kolonların ve/veya betonarme duvarların kapasitesi olarak bilinen M_K ve N_K değerleri biliniyorsa diğer düşey yük ve deprem etkisi sonucu oluşan moment ve eksenel kuvvet kapasiteleri de bilindiğinden EKO doğrudan hesaplanabilmektedir.

- e) EKO ardışık yaklaşım yöntemiyle de hesap edilebilmektedir. Söz konusu yöntemde başlangıç için r değeri tahmin edilmekte ve deprem etkisi sonucu N_E değeri elde edileceğinden N_A değeri de hesaplanabilmektedir. Ayrıca düşey yükler sonucu hesaplanan N_D değeri kullanılarak N_K değeri de hesaplanabilir. Benzer olarak M_K değeri kesit moment kapasitesi hesabından elde edildikten sonra da bu değerden M_D değeri çıkarılmak suretiyle M_A değeri elde edilebilmektedir. Söz konusu işlemlerden sonra r değeri hesaplanabilmektedir. Elde edilen r değeri ile başlangıçta tahmin edilen r değeri arasındaki fark azalınca kadar bu işlemler tekrarlanmaktadır. Bu şekilde elde edilen r değeri söz konusu kesitin eğilme ve eksenel kuvvet EKO olarak tanımlanmaktadır.
- f) DBYBHY'e göre etki / kapasite hesabının yapılabilmesi için bazı tasarım kurallarının sağlanması gerekmektedir. Buna göre ikinci doğrunun uç kısmının diyagram içerisinde kalması ya da $r < 1$ olması durumunda söz konusu hesap yapılmamaktadır.
- g) DBYBHY'e göre kolon ve betonarme duvarlarda eksenel kuvvetlerin hesabında bir üst sınır tanımlanmıştır. Buna göre ilgili yapısal elemandaki V_e kesme kuvveti değeri, üst kısımdaki kirişlerden kolonlara ve üstteki kolonlardan söz konusu kolona aktarılarak elde edilmektedir (DBYBHY, 2007).
- 4) Güçlendirilmiş dolgu duvarlarında EKO; deprem etkisinde hesaplanan kesme kuvveti değerinin, kesme kuvveti dayanımına oranlanmasıyla elde edilmektedir (DBYBHY, 2007; TBDY, 2019).
- 5) TBDY'e göre kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen kesme kuvveti büyük öneme sahip olmaktadır (TBDY, 2019). Söz konusu kesme kuvveti değeri,

$$V_e = 1,25 \cdot f_{yk} \cdot (A_{S1} + A_{S2}) - V_{kol} \quad (2.10)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu bağıntıyla hesaplanan kesme kuvveti değerinin aşağıdaki bağıntılarla hesaplanan dayanım değerlerini aşmaması gerekmektedir.

$$V_e \leq 1,7 \cdot b_j \cdot h \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (2.11)$$

$$V_e \leq b_j \cdot h \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (2.12)$$

Söz konusu bağıntılar, kuşatılmış ve kuşatılmamış kolon hesabında kullanılmaktadır. (2.10) bağıntısındaki V_{kol} yerine (2.4) bağıntısındaki V_e kesme kuvveti değeri kullanılacaktır. Ayrıca (2.11 ve 2.12) bağıntılarındaki f_{ck} ifadesi için mevcut binanın beton basınç dayanımı değerinin kullanılması gerekmektedir. Diğer taraftan kesme kuvveti talebi kesme dayanımını aşan birleşim bölgelerindeki yapısal elemanlar, gevrek kırılma ile hasar gören elemanlar olarak sınıflandırılmaktadır.

Kolon, kiriş, betonarme duvar ve güçlendirilmiş dolgu duvarların EKO sınır değerleri (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların yer aldığı hasar bölgeleri belirlenecektir (bkz. Çizelge 2.5~Çizelge 2.8).

Çizelge 2.5. DBYBHY'e göre betonarme kirişler için etki / kapasite oranları (DBYBHY, 2007).

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w \cdot d \cdot f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0	Var	$\leq 0,65$	3	7	10
≤ 0	Var	$\geq 1,3$	2,5	5	8
$\geq 0,5$	Var	$\leq 0,65$	3	5	7
$\geq 0,5$	Var	$\geq 1,3$	2,5	4	5
≤ 0	Yok	$\leq 0,65$	2,5	4	6
≤ 0	Yok	$\geq 1,3$	2	3	5
$\geq 0,5$	Yok	$\leq 0,65$	2	3	5
$\geq 0,5$	Yok	$\geq 1,3$	1,5	2,5	4

Çizelge 2.6. DBYBHY'e göre betonarme kolonlar için etki / kapasite oranları (DBYBHY, 2007).

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_k}{A_c \cdot f_{cm}}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w \cdot d \cdot f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
$\leq 0,1$	Var	$\leq 0,65$	3	6	8
$\leq 0,1$	Var	$\geq 1,3$	2,5	5	6
$\geq 0,4$ ve $\leq 0,7$	Var	$\leq 0,65$	2	4	6
$\geq 0,4$ ve $\leq 0,7$	Var	$\geq 1,3$	1,5	2,5	3,5
$\leq 0,1$	Yok	$\leq 0,65$	2	3,5	5
$\leq 0,1$	Yok	$\geq 1,3$	1,5	2,5	3,5
$\geq 0,4$ ve $\leq 0,7$	Yok	$\leq 0,65$	1,5	2	3
$\geq 0,4$ ve $\leq 0,7$	Yok	$\geq 1,3$	1	1,5	2
$\geq 0,7$	-	-	1	1	1

Çizelge 2.7. DBYBHY'e göre betonarme duvarlar için etki / kapasite oranları (DBYBHY, 2007).

Sünek Betonarme Duvarlar	Hasar Sınırı		
Betonarme duvar uç bölgesinde sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Çizelge 2.8. Güçlendirilmiş dolgu duvarlar için etki / kapasite oranları (r_s) ve görelî kat ötelemeleri (DBYBHY, 2007).

$l_{\text{duvar}} / h_{\text{duvar}}$ oranı aralığı (0,5~2)	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
Etki / kapasite oranı (r_s)	1	2	-
Görelî kat ötelemesi oranı	0,0015	0,0035	-

6) DBYBHY’ e göre kolon-kiriş birleşim bölgelerine etki eden kesme kuvveti değeri (2.10) bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Ancak bu kesme kuvveti değerin (2.13) ve (2.14) bağıntısıyla verilen değerleri aşmaması gerekmektedir (DBYBHY, 2007).

$$V_e \leq 0,60 \cdot b_j \cdot h \cdot f_{cd} \quad (2.13)$$

$$V_e \leq 0,45 \cdot b_j \cdot h \cdot f_{cd} \quad (2.14)$$

Bu bağıntılarda h dikkate alınan deprem doğrultusundaki kolon enkesit boyutunu, f_{cd} söz konusu betonun tasarım basınç dayanımını ve b_j dikkate alınan deprem doğrultusundaki kolon-kiriş birleşim bölgesine saplanan kirişin kolonun her iki yanından da taşması veya kolonla aynı genişlikte olması durumunda kolon genişliğini, aksi durumda kirişin düşey orta aksından itibaren kolon kenarlarına olan mesafelerden küçük olanının 2 katını göstermektedir.

Burada (2.13) ve (2.14) bağıntılarıyla verilen ifadelerin DBYBHY’ e göre kuşatılmış ve kuşatılmamış kolonlar için verilen ifadeler olduğunu belirtmek uygun olacaktır.

DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerinde verilen söz konusu bağıntılar karşılaştırıldığında, kullanılan katsayılar ve beton basınç dayanımlarında farklılıklar olduğu görülmektedir.

2.4.3. DBYBHY’ e Göre Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

DBYBHY’ e göre doğrusal elastik hesap yöntemiyle yapılan hesapta binanın herhangi katındaki kolon veya betonarme duvarların görelî kat ötelemeleri Çizelge 2.9’ da verilen değerleri aşması durumunda hasar sınırı belirlenememektedir.

Çizelge 2.9. Görelî kat ötelemesi sınırları (DBYBHY, 2007).

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
δ_{ji} / h_{ji}	0,01	0,03	0,04

Bu çizelgedeki δ_{ji} ifadesi i. kat j. kolon veya betonarme duvarın alt ve üst uçları arasındaki yerdeğiştirme farkını gösteren görelî kat ötelemesini ve h_{ji} söz konusu yapısal elemanın yüksekliğini göstermektedir.

2.4.4. TBDY'e Göre Doğrusal Hesap Yöntemlerinin Uygulama Sınırları

TBDY'e göre aşağıda verilen durumlardan herhangi birinin olması durumunda doğrusal hesap yöntemi uygulanamayacağı belirtilmektedir (TBDY, 2019). Bu yönetmeliğe göre;

- 1) BYS 5'ten küçük olan binalarda bu yöntem uygulanamamaktadır. BYS=5 ve DTS=1, 1a, 2, 2a olan binalarda maksimum yükseklik 28 m'ye kadar alınabilirken, DTS=3, 3a, 4, 4a olan binalarda maksimum yükseklik 42 m'ye kadar alınabilmektedir.
- 2) Aşağıda tanımlanan B3 türü düzensizlik bulunan binalarda bu yöntem uygulanamamaktadır. Buna göre;
 - a) Kolonların binanın konsol kirişlerine ya da güselerin uçlarına oturması durumunda,
 - b) Kolonların iki ucundan mesnetli kirişe oturması durumunda,
 - c) Üst kattaki betonarme duvarların alt kattaki kolonlara oturtulması durumunda,
 - d) Betonarme duvarların kirişlerin üstüne açıklık ortasına oturtulduğu durumlarda,

bu yöntem uygulanamaz.

- 3) Betonarme binalarda her bir deprem doğrultusu için üst kat haricindeki herhangi bir katta sünek düşey elemanların kesme kuvvetiyle ölçeklendirilmiş EKO değerlerinin ortalaması söz konusu deprem doğrultusundaki kirişlerin ortalama EKO değerinden büyük olması durumunda bu yöntem uygulanamamaktadır.
- 4) Betonarme binanın üst katı haricindeki herhangi bir katta her bir deprem doğrultusunda sünek düşey elemanların kesme kuvvetiyle ölçeklendirilmiş EKO değerlerinin ortalaması 3'ten büyük olması durumunda da bu yöntem uygulanamamaktadır.
- 5) Üst kat haricindeki herhangi bir katta kirişlerin ortalama EKO değeri 5'ten büyük olması durumunda bu hesap yöntemi uygulanamamaktadır.

Yukarıda bahsedilen kesme kuvveti ile ölçeklendirilmiş EKO değeri 2.15'teki gibi

$$EKO = \frac{\sum_i V_i \cdot (EKO)_i}{\sum_i V_i} \quad (2.15)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

2.5. BİNALARIN PERFORMANSININ DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Doğrusal olmayan hesap yönteminin amacı; mevcut ya da güçlendirilmiş betonarme binaların depremler sırasındaki performansını değerlendirmek, sünek davranışa ait plastik şekildeğiştirmeleri hesaplamak ve gevrek davranışa ilişkin iç kuvvetleri hesaplayarak şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasitelerinin kıyaslanmasıyla eleman ve sistem bazında değerlendirmeler yapmaktır (DBYBHY, 2007, TBDY, 2019).

2.5.1. DBYBHY'e Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

- 1) Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi
- 2) Artımsal mod birleştirme yöntemi

3) Zaman tanım alanında hesap yöntemidir.

Artımsal İtme Analiziyle Performans Değerlendirmesinde İzlenecek Yol

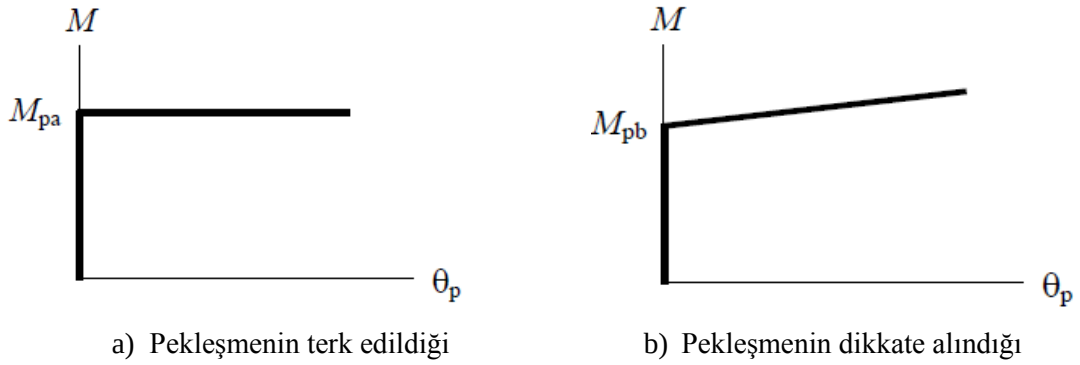
- 1) Artımsal itme analizinin başlangıç koşulu için, kütlelerle uyumlu sadece düşey yüklerin dikkate alındığı doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır.
- 2) Yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemlerinin belirlenebilmesi için modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemler artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi esas alınarak yapılması durumunda, binanın 1. (hakim) modunu dikkate almak yeterli olmaktadır. Bu amaçla ilk olarak koordinatları modal yerdeğiştirme-modal ivme olan modal kapasite diyagramları elde edilmektedir. Daha sonra bu kapasite diyagramı ve elastik davranış spektrumu kullanılarak modal yerdeğiştirme istemi belirlenmektedir. Son olarak da modal yerdeğiştirme istemine karşılık gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet değerleri elde edilmektedir.
- 3) Artımsal itme analizinin artımsal mod birleştirme yöntemiyle yapılması durumunda, bütün modlara ilişkin modal kapasite diyagramları ve modal yerdeğiştirme istemleri elde edilmektedir. Böylelikle taşıyıcı sistemde ortaya çıkabilecek yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri hesaplanmaktadır.
- 4) Plastikleşen betonarme kesitlerde hesaplanan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde beton ve donatı çeliğinde oluşan birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler kesit bazında çeşitli hasar sınırları için betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleriyle karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında görelî kat ötelemesine bağlı olarak hesaplanan şekildeğiştirme istemleri güçlendirilen dolgu duvarlarının şekildeğiştirme kapasiteleriyle karşılaştırılacaktır. Yapısal çözümlemeden elde edilen kesme kuvveti istemleri ise taşıyıcı sistem yapısal

elemanlarının kesme kuvveti kapasiteleriyle karşılaştırılarak kesit bazında gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

DBYBHY’ye Göre Doğrusal Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

- 1) Malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesinde, teknik literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilmektedir. Mühendislik uygulamalarındaki pratikliliği nedenleriyle doğrusal olmayan analiz için *yığılı plastik davranış modeli* kullanılmaktadır. Bu model basit eğilme durumunda *plastik mafsallık hipotezine* karşı gelmektedir. Buna göre çubuk eleman olarak idealleştirilen taşıyıcı sistem elemanlarındaki (kolon, kiriş ve betonarme duvarlar gibi) iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine ulaştığı sonsuz uzunluktaki bölgelerde plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu kabul edilmektedir. Plastik mafsallık boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p) çalışan doğrultudaki kesit boyutunun (h) yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0,5h$). $H_w / l_w \leq 2$ olan betonarme duvarlarda eğilme etkisindeki plastik şekil değiştirme dikkate alınmayacaktır.
- 2) Sadece eksenel kuvvet etkisinde plastik şekil değiştirme yapan yapısal elemanların, plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu söz konusu yapısal elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.
- 3) Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitin teorik olarak yukarıda tanımlanan (bkz. madde 1) plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekmektedir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda verilen yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilmektedir.
 - a) Plastik kesitler, kolon ve kirişlerin birleşim bölgesinin hemen dışına diğer bir ifadeyle kolon ve kirişlerin net açıklıklarının uçlarına yerleştirilebilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden dolayı kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceğinin dikkate alınması gerekmektedir.

- b) Betonarme duvarlarda, plastik kesitlerin her katta betonarme duvarın alt ucuna konulmasına izin verilebilmektedir. Ayrıca U, T, L veya kutu kesitli betonarme duvarlar, bütün kolları birlikte çalışan tek duvar olarak idealleştirilmesi gerekmektedir. Bodrum katlarında rijit çevre betonarme duvarların bulunması durumunda, söz konusu duvarlardan üst katlara doğru devam eden duvarların plastik kesitleri bodrum üstünden başlayarak koyulmalıdır.
- 4) Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeyleri yukarıda tanımlanan (bkz. madde 2.3 koşullara göre belirlenen) etkileşim diyagramları kullanılacaktır.
- 5) İtme analizi modelinde kullanılacak olan plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarıyla ilgili olarak aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.
- a) İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (bkz. Şekil 2.4a).
- b) Pekleşme etkisinin dikkate alınması durumunda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, teknik literatürdeki uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanması gerekmektedir (bkz. Şekil 2.4b).



Şekil 2.4. Moment-eğrilik ilişkileri (DBYBHY, 2007).

2.5.1.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle İtme Analizi

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminin amacı, ilgili deprem doğrultusunda hakim 1. titreşim mod şekliyle orantılı bir şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak (değişmeksizin) adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisinde doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizinden sonra yapılan itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde oluşan yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımlarıyla bunlara ilişkin birikimli (kümülatif) değerler elde edilmektedir. Son adımda ise deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanmaktadır.

DBYBHY’de bu yöntemin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum kat hariç 8 kattan fazla olmaması gerektiği ve herhangi bir katta ek dışmerkezlilik dikkate alınmaksızın doğrusal davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının 1,4’ten küçük olması ($\eta_{bi} < 1,4$) gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca dikkate alınan deprem doğrultusunda, doğrusal davranış esas alınarak hesaplanan 1. titreşim moduna ilişkin etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (betonarme duvarlarla çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) kütle katılım oranının en az 0,7 olması gerekmektedir. Diğer taraftan artımsal itme analizinde, eşdeğer deprem yüğü dağılımının, taşıyıcı sistemde plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde *sabit* kaldığı kabul edilebilmektedir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal davranış için hesaplanan ilgili deprem doğrultusundaki hakim 1. doğal titreşim mod şekli genliğiyle ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanmaktadır. Ayrıca kat döşemelerinin rijit diyafram olarak idealleştirildiği binalarda, 1. hakim doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak, her katın kütle merkezinde birbirine dik iki yatay öteleme ve kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme dikkate alınacaktır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analiziyle, koordinatları “*tepe noktası yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti*” olan itme eğrisi elde edilmektedir. Buradaki tepe noktasındaki yerdeğiştirme, söz konusu binanın en üst katındaki kütle merkezinde, dikkate alınan deprem x doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan değerdir. Taban kesme kuvveti ise, x-x deprem doğrultusunda her itme adımında

eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak hesaplanmaktadır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümüyle de koordinatları “*modal yerdeğiştirme-modal ivme*” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki gibi elde edilebilmektedir.

1) 1. moda ilişkin modal ivme ($a_1^{(i)}$);

$$a_1^{(i)} = V_{x1}^{(i)} / M_{x1} \quad (2.16)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda $V_{x1}^{(i)}$ depremin x doğrultusunda i . itme adımı sonunda hesaplanan 1. moda ilişkin taban kesme kuvvetini ve M_{x1} depremin x doğrultusunda doğrusal davranış için tanımlanan 1. moda ilişkin etkin kütle göstermektedir.

2) 1. moda ilişkin modal yerdeğiştirme ($d_1^{(i)}$);

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN_1}^{(i)}}{\Phi_{xN_1} \cdot \Gamma_{x1}} \quad (2.17)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda da $u_{xN_1}^{(i)}$ söz konusu binanın N . katında (tepesinde) depremin x doğrultusu için i . itme adımı sonunda hesaplanan 1. moda ilişkin yerdeğiştirmeyi, Φ_{xN_1} binanın N . katında depremin x doğrultusu için 1. moda ilişkin mod şekli genliğini ve Γ_{x1} depremin x doğrultusunda 1. moda ilişkin modal katkı çarpanını göstermektedir. Doğrusal davranış için tanımlanan L_{x1} ve M_1 ’den yararlanılarak modal katkı çarpanı (Γ_{x1});

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (2.18)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıdaki L_{x1} ve M_1 sırasıyla (2.19) ve (2.20) elde edilmektedir.

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin} \quad (2.19)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2) \quad (2.20)$$

Artımsal itme analizinde eşdeğer deprem yükü dağılımı değişken olarak da hesaplanabilmektedir. Buna göre yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşan tüm plastik kesitler dikkate alınarak hesaplanan ilgili deprem doğrultusunda hakim 1. titreşim mod şeklinin genliğiyle ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda 1. doğal titreşim genlikleri sabit tek modlu itme yönteminde belirtildiği gibi hesaplanacaktır (DBYBHY, 2007).

3) İtme analizinden elde edilen modal kapasite diyagramıyla birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde “*binalar için hedef performans düzeyleri*” dikkate alınarak, 1. hakim moda ilişkin maksimum modal yerdeğiştirme, diğer bir ifadeyle modal yerdeğiştirme istemi hesaplanacaktır. Burada modal yerdeğiştirme istemi, doğrusal olmayan (lineer olmayan) spektral yerdeğiştirmeye eşit olmakta ve (2.21) bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (2.21)$$

4) Son itme adımı olan $i = p$ için modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$ ’nin (2.17) bağıntısında yerine koyulmasıyla x-x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi $(u_{xN_1}^{(p)})$;

$$u_{xN_1}^{(p)} = \Phi_{xN_1} \cdot \Gamma_{x1} \cdot d_1^{(p)} \quad (2.22)$$

bağıntısıyla belirlenecektir. Buna karşılık gelen diğer tüm istemler (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvetler) mevcut itme analizinden elde edilecek veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşınca kadar yapılacak yeni bir itme analiziyle hesaplanacaktır (DBYBHY, 2007).

2.5.1.2. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemiyle İtme Analizi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapılan itme analizinin en büyük sakıncası sadece 1. doğal titreşim modundaki davranışı dikkate almasıdır. Bundan dolayı bu yöntem az katlı ve planda simetriğe yakın olan binalarda uygulanabilmektedir. Artımsal mod birleştirme yöntemiyle itme analizinde ise her plastik kesit oluşumunda tüm modların katkısı dikkate alınabilmekte ve plastik dönmelerle iç kuvvet istemleri ek yapısal analize gerek kalmadan doğrudan hesaplanabilmektedir. Bu yöntemde taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleriyle uygun biçimde ölçeklendirilen, modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri dikkate alınarak mod birleştirme yöntemi artımsal olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemle yapılan itme analizinde ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde *adım adım doğrusal* davranışın esas alındığı yöntem DBYBHY’de detaylı şekilde anlatılmaktadır (DBYBHY, 2007).

2.5.1.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminin amacı; taşıyıcı sistemde doğrusal olmayan davranış dikkate alınarak sistemin hareket denklemini adım adım birleştirmektir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde oluşan plastik şekildeğiştirmeler, yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetlerle bu büyüklüklerin deprem istemine karşılık gelen maksimum değerleri hesaplanmaktadır. Zaman tanım alanında hesap yönteminde, yapay yollarla üretilen, daha önceden kaydedilmiş ya da benzeştirilmiş deprem hareketleri kullanılmaktadır (DBYBHY, 2007).

1) Yapay Deprem Hareketi

Bu amaçla aşağıdaki özellikleri taşıyan en az 3 deprem hareketi üretilmektedir (DBYBHY, 2007).

- a) Kuvvetli yer hareketi süresinin, binanın 1. doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha az olmaması gerekmektedir.
- b) Üretilen deprem hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_0 g$ 'den daha küçük olmamalıdır.
- c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5'lik sönüm oranı için hesaplanan spektral ivme değerleri ortalamalarının, dikkate alınan deprem doğrultusundaki 1. periyota (T_1 'e) göre $0,2T_1$ ve $2T_1$ arasındaki değerleri için elastik spektral ivmelerinin %90'ından az olmaması gerekmektedir.

2) Kaydedilmiş veya Benzeştirilmiş Deprem Hareketleri

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler de kullanılabilir. Bunun için kaynak ve dalga yayılımı fiziksel olarak benzeştirilmiş deprem hareketleri de kullanılabilir. Ayrıca bu deprem hareketleri üretilirken zemin koşulları dikkate alınmalıdır. Yapısal analizlerde bu deprem hareketlerinin kullanılması durumunda, en az 3 deprem hareketi üretilip bunların da yukarıda madde 1'de verilen kuralları sağlaması gerekmektedir.

2.5.2. TBDY'e Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

- 1) Tek modlu itme yöntemleri
- 2) Çok modlu itme yöntemleri
- 3) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir.

Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Bunlardan *tek modlu itme yöntemi* bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 5$ sağlayan binalar için kullanılabilir. *Çok modlu itme yöntemi* $BYS \geq 2$ olan bütün binalarda kullanılabilir. *Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde* ise bütün binaların hesap yöntemi olarak kullanılabilir. Ayrıca bu yöntemin yüksek binalar ($BYS=1$) için kullanılması yönetmelik gereğidir (TBDY, 2019).

Doğrusal Olmayan İtme Yöntemleriyle Deprem Hesabı

1) İtme Yöntemleri

- a) Tek modlu ve çok modlu itme yöntemleri doğrusal olmayan deprem hesabında kullanılabilir.
- b) Tüm doğrusal olmayan yöntemlerde olduğu gibi hesabın başlangıç adımı (0. adımı) deprem dışı yüklemelerin etkisinde doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılmaktadır. Bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, deprem hesabında başlangıç değerleri olarak dikkate alınmaktadır. Ayrıca yeni yapılan binalarda düşey yüklerden oluşan doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere izin verilmemektedir.
- c) İtme yöntemleri hesap sonucunda elde edilen sünek davranışa karşılık gelen değerlendirmeye esas plastik şekildeğiştirmeler (örneğin plastik dönmeler) ile sünek olmayan (gevrek) davranışa karşılık gelen iç kuvvetler, seçilen performans düzeyi için izin verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak şekildeğiştirmeye göre değerlendirme tamamlanmaktadır.

2.5.2.1. Tek Modlu İtme Yöntemleri

Tek modlu itme yöntemleri, doğrusal *mod birleştirme yönteminin tek modlu uygulamasının* doğrusal olmayan artımsal karşılığıdır. Tek modlu itme yöntemlerinin uygulanabilmesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir.

- 1) Herhangi bir katta ek dışmerkezlik dikkate alınmaksızın doğrusal elastik davranış dikkate alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının 1,4'ten küçük ($\eta_{bi} < 1,4$) olması gerekmektedir.
- 2) Dikkate alınan deprem doğrultusunda, doğrusal davranış dikkate alınarak hesaplanan 1. (hakim) titreşim moduna ilişkin taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine (rijit betonarme duvarlarla çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) kütle katılım oranının en az 0,7 olması gerekmektedir.

Tek modlu itme yöntemlerinde, dikkate alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim mod şekliyle orantılı olacak şekilde maksimum yerdeğiştirme sınırına kadar monotonik olarak adım adım uygulanan deprem yükü artımlarının etkisinde, taşıyıcı sistemde oluşan yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönme, uzama, vb.) ve iç kuvvet artımları ile bunların birikimli değerleri hesaplanmaktadır. Son adımda, deprem talebine karşılık gelen birikimli değerler, şekildeğiştirmeye esas büyüklükler olarak elde edilmektedir.

Tek modlu itme yöntemleri, her katta döşemelerin rijit diyafram kabulüyle ve serbestlik derecelerinin kat kütle merkezinde birbirine dik iki doğrultudaki yatay yerdeğiştirme bileşenleriyle düşey eksen etrafındaki dönme durumları için tanımlanmaktadır. Diğer taraftan kat döşemelerinde düzlem içi şekildeğiştirmelere karşılık gelen serbestlik derecelerinin dikkate alınması durumunda da, tek modlu itme yöntemleri aynı esaslar çerçevesinde uyarlanabilmektedir. Buna göre tek modlu itme yöntemleri iki şekilde uygulanabilmektedir.

Sabit tek modlu itme yöntemi; dikkate alınan deprem doğrultusunda, her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki 1. adımda belirlenen ve itme hesabı sırasında değiştirilmeyen sabit mod şekliyle orantılı olarak tanımlanmaktadır. İtme hesabı sonucunda koordinatları tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti olan itme eğrisi elde edilmektedir. Bu eğriye uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları modal yerdeğiştirme-sözde modal ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilmektedir. Elde edilen bu diyagram, tanımlanan deprem etkisinde modal yerdeğiştirme talebinin ve buna bağlı olarak

taşıyıcı sistemde oluşan iç kuvvet ve plastik şekildeğiştirme taleplerinin hesaplanması için kullanılmaktadır (TBDY, 2019).

Değişken tek modlu itme yöntemi; dikkate alınan deprem doğrultusunda katlara etkiyen deprem yükü artımları ve bunlarla uyumlu kat yerdeğiştirmeleri, deprem dışı yüklemelerden sonraki her bir itme adımında, daha önceki itme adımlarında oluşan plastik mafsallar dikkate alınarak yenilenen serbest titreşim hesabından elde edilen değişken mod şekliyle orantılı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca değişken tek modlu itme yönteminde, sabit tek modlu itme yönteminden farklı olarak, modal kapasite diyagramı doğrudan hesaplanabilmektedir (TBDY, 2019).

2.5.2.2. Çok Modlu İtme Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap yönteminde aşağıda verilen koşulların sağlanmasıyla *çok modlu itme yöntemi* kullanılabilir.

- 1) Çok modlu itme yönteminde, verilen tasarım spektrumuna göre (özel durumda) başlangıç (elastik) rijitliklerinin doğrusal hesap yöntemi uygulanması sonucunda elde edilen tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirmeler, aynı tasarım spektrumu dikkate alınarak *mod birleştirme yöntemiyle doğrusal hesap yönteminden* elde edilen büyüklüklerle aynı olduğunun hesap raporunda gösterme zorunluluğu bulunmaktadır.
- 2) Kullanılan *çok modlu itme yönteminde* binanın farklı titreşim modları için tanımlanan bağımsız sabit modal yük vektörlerinin yapıya artımsal olarak uygulanması durumunda elde edilen modal iç kuvvetler, istatistiksel olarak birleştirilmeyecek, birleştirilmiş eleman uç yerdeğiştirmeleri ve akma dönmeleriyle uyumlu olarak hesaplanacaktır (TBDY, 2019).

2.5.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, deprem etkisinde taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklemlerin zaman artımları ile adım adım integrasyonuna karşılık gelmektedir. Bu işlemler sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeniyle, sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi dikkate alınmaktadır.

1) Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

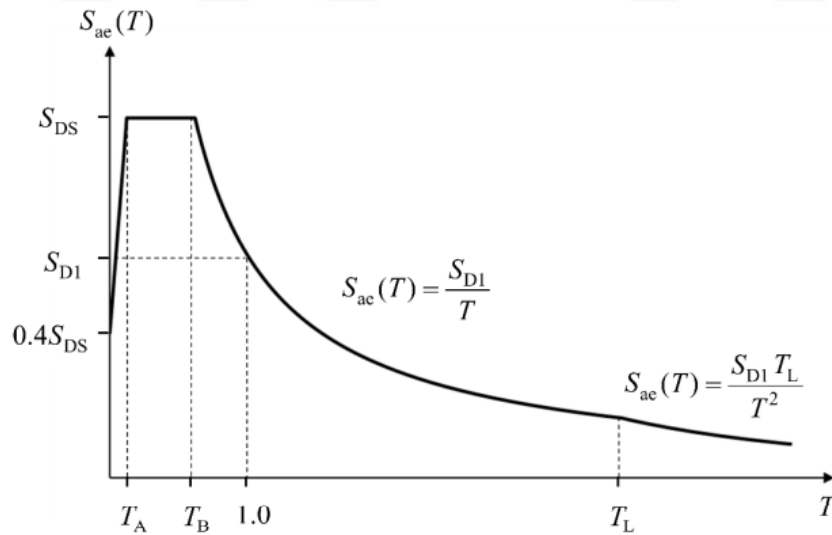
Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplamalarda en az 11 deprem kaydının kullanılması gerekmektedir. Buna göre birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin x ve y asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilecek ve daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanacaktır.

Taşıyıcı sistemlerin zaman tanım alanında bir, iki ve üç boyutlu deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve basit ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilmesi veya spektral uyuşumu sağlayacak şekilde dönüştürülmesi için aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekmektedir.

- 1) Zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi; tasarıma esas deprem düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, faya uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılmalıdır. Söz konusu binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının olması durumunda öncelikle bu kayıtların kullanılması gerekmektedir. Ayrıca sahaya özel deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan depremlere ilişkin büyüklük ve faya uzaklık bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayrıştırma işleminden yararlanılabilir.
- 2) Yeterli sayı veya nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında hesap için benzeştirilmiş deprem kayıtları kullanılabilir. Bu tür kayıtların kullanılması durumunda, söz konusu binanın bulunduğu alanın

sismik kaynak, dalga yayılım ve yerel zemin özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca bu kayıtların benzeştirme işlemi için kullanılacak model parametrelerinin de söz konusu bölgede oluşmuş depremlerden kaydedilmiş gerçek deprem kayıtlarıyla uyumlu olduğu gösterilmelidir.

- 3) Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtları ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımları sayısının en az 11 olması gerekmektedir. Ayrıca aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısının da 3'ü geçmemelidir.
- 4) Zaman tanım alanında hesapta kullanılacak deprem hareketleri, seçilen deprem kayıtlarından basit ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilebilmektedir. Bu yöntem doğrultusunda bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ilişkin spektrumların ortalamasının $0,2T_p$ ve $1,5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin Şekil 2.5'te verilen yatay elastik tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmamasına göre, deprem hareketleri genlikleri ölçeklendirilmektedir.



Şekil 2.5. TBDY'de verilen yatay elastik tasarım spektrumu.

- 5) Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ilişkin spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilmektedir. Seçilen tüm kayıtlara ilişkin bileşke spektrumların

ortalamasının $0,2T_p$ ve $1,5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin Şekil 2.5'te verilen tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1,3'ten daha küçük olmamasına göre deprem hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilmektedir.

- 6) Mevcut deprem verileriyle bina özelliklerinin gerektirdiği sahaya özel deprem hareketi spektrumunun belirlenmesi durumunda, söz konusu binanın belirli sayıda titreşim periyoduyla ilişkilendirilen ortalama spektrumlardan yararlanılarak deprem kayıtlarının analiz sonuçlarında daha az saçılmayı sağlayacak şekilde seçilerek ölçeklendirilebilmektedir.

2.6. ŞEKİLDEĞİŞTİRME SINIRLARI

2.6.1. DBYBHY'e Göre Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

Bu yönetmeliğe göre birim şekildeğiştirme istemleri aşağıda verilen adımlarda belirlenmektedir.

- 1) Artımsal eşdeğer deprem yüküyle itme analizi, artımsal mod birleştirme yöntemiyle itme analizi veya zaman tanım alanında yapılan hesap sonucunda elde edilen plastik dönme talebine (θ_p) bağlı plastik eğrilik talebi (ϕ_p);

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.23)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

- 2) Kesitteki toplam eğrilik talebi (ϕ_t); uygun bir beton modeli seçilerek, pekleşmenin de dikkate alınmasıyla elde edilen donatı modeli kullanılarak kesitteki eksenel kuvvet etkisinde yapılan yapısal çözümlemeden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisiyle tanımlanan eşdeğer akma eğriliği (ϕ_y) ve

(2.23) bağıntısıyla tanımlanan plastik eğrilik talebi (ϕ_p) toplanarak elde edilmektedir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (2.24)$$

3) Sargılı ve sargısız beton ve donatı modelleri için ayrıntılı bilgiler DBYBHY’de verilmektedir (DBYBHY, 2007).

2.6.2. DBYBHY’e Göre Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri

Deprem etkisinde beton ve donatıda oluşan birim şekildeğiştirmeler, birim şekildeğiştirme kapasiteleriyle karşılaştırılarak kesit bazında taşıyıcı sistem performansı elde edilecektir.

Plastik şekildeğiştirmelerin olduğu betonarme sünek taşıyıcı sistem yapısal elemanlarında, farklı kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (DBYBHY, 2007).

1) *Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN)*; için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesiyle donatı birim şekildeğiştirmesinin kapasiteleri;

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0,0035 \quad \text{ve} \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0,010 \quad (2.25)$$

2) *Kesit Güvenlik Sınırı (GV)*; için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesiyle donatı birim şekildeğiştirmesinin kapasiteleri;

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0,0035 + 0,01 \cdot (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,0135 \quad \text{ve} \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0,04 \quad (2.26)$$

3) *Kesit Göçme Sınırı (GÇ)*; için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesiyle donatı birim şekildeğiştirmesinin kapasiteleri;

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0,004 + 0,014 \cdot (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0,018 \quad \text{ve} \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0,06 \quad (2.27)$$

bağıntılarıyla belirlenmektedir. Bu bağıntılarda ε_{cu} kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini, ε_s donatının birim şekildeğiştirmesini, ε_{cg} etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini, ρ_s kesitte mevcut bulunan özel deprem etriyeleri ve çirozları olarak düzenlenmiş enine donatısının hacımsal oranını ve ρ_{sm} kesitte bulunması gereken enine donatısının hacımsal oranını göstermektedir.

2.6.3. TBDY'e Göre Birim Şekildeğiştirme ve Plastik Dönme Taleplerinin Belirlenmesi

Eleman kesitlerinin birim şekildeğiştirme ve plastik dönme talepleri, eşdeğer deprem yükü veya mod birleştirme yöntemine göre yapılan hesap sonucunda herhangi bir yapısal eleman ucunda elde edilen toplam yerdeğiştirmiş eksen dönmesi (θ_k) kullanılarak elde edilmektedir.

1) Eleman uç kesitinin toplam eğrilik talebi (ϕ_t);

$$\phi_t = \frac{(\theta_k - \theta_y)}{L_p} + \phi_y \quad (2.28)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda θ_y eleman uç kesitindeki yerdeğiştirmiş eksen akma dönmesini, ϕ_y eleman uç kesitindeki akma eğriliğini ve L_p plastik mafsalsal boyunu göstermektedir.

Burada L_p 'nin deprem doğrultusundaki kesit boyutunun yarısına eşit alınması gerektiğini belirtmek uygun olacaktır.

2) Betonarme taşıyıcı sistemlerde etkin akma eğriliği (ϕ_y) ve etkin akma momenti (M_y) moment-eğrilik analiziyle hesaplanmalıdır.

3) Sargılı ve sargısız beton ve donatı modelleriyle eleman kesitlerinin plastik dönme talebinin (θ_p) hesabı TBDY’de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır (TBDY, 2019).

2.6.4. TBDY’ye Göre Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme ve Plastik Dönme Sınırları

1) Beton ve donatı çeliğinin, doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre elde edilen birim şekildeğiştirmeleri, birim şekildeğiştirme kapasiteleriyle karşılaştırılarak kesit bazında taşıyıcı sistem performansının belirlenmesi gerekmektedir.

2) Şekildeğiştirme hesabı yapılan betonarme elemanların boyuna donatılarının düz donatıdan oluşması durumunda, söz konusu donatının birim şekildeğiştirmesi ve plastik dönmesinin 1,5 ile çarpılarak artırılması gerekmektedir.

3) Plastik şekildeğiştirmelerin olduğu betonarme sünek kirişler, kolonlar ve betonarme duvarlarda, kesit farklı hasar sınırlarına göre izin verilen birim şekildeğiştirme ve plastik dönme kapasiteleri aşağıda verilmektedir.

a) *Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi* için yapılacak değerlendirmede yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanması gereken beton ve donatının toplam birim şekildeğiştirmeleri;

➤ Dikdörtgen kesitli kolonlarda, kirişlerde ve betonarme duvarlarda,

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \quad (2.29)$$

➤ Dairesel kesitlerde,

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0,0035 + 0,07 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \quad (2.30)$$

➤ Donatının birim şekildeğiştirmesi,

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0,4 \cdot \varepsilon_{su} \quad (2.31)$$

bağıntılarıyla belirlenmektedir. Bu bağıntılarda $\varepsilon_c^{(G\ddot{O})}$, göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması kapasitesini, $\varepsilon_s^{(G\ddot{O})}$, göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatının birim şekildeğiştirme kapasitesini, ω_{we} , etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını, ε_{su} çekme (maksimum) dayanıma karşı gelen birim uzamayı ve 0,0035 sargısız betonun (kabuk betonunun) birim kısalmasını ifade etmektedir.

GÖ performans düzeyi için yapılacak hesapta, yığılı plastik davranış modeline göre hesaplanan plastik dönmeler için izin verilen sınır değer,

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) \cdot L_p \cdot \left(1 - \frac{0,5 \cdot L_p}{L_s} \right) + 4,5 \cdot \phi_u \cdot d_b \right] \quad (2.32)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Bu bağıntıda ϕ_u beton ve donatı birim şekildeğiştirmeleriyle beton ve donatı modellerinden yararlanılarak, kesite etkiyen eksenel kuvvet dikkate alınarak, yapısal çözümlemelerden elde edilen *göçme öncesi toplam eğriliği*, ϕ_y akma eğriliğini, L_s kesme açıklığını, L_p plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğunu ve d_b ise akma sonrası (göçme öncesine kadar) durum için akma uzaması penetrasyonuna bağlı donatı sıyrılması dönmesini ifade etmektedir.

- b) KH performans düzeyi için yapılacak değerlendirmede kullanılacak beton ve donatının izin verilen toplam birim şekildeğiştirmeler ($\varepsilon_c^{(KH)}$ ve $\varepsilon_s^{(KH)}$) ve plastik dönme ($\theta_p^{(KH)}$) sınırları;

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0,75 \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad (2.33)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0,75 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (2.34)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0,75 \cdot \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (2.35)$$

bağıntılarıyla GÖ performans düzeyinde belirtilen değerlerle bağlantılı olarak hesaplanmaktadır.

c) SH performans düzeyi için yapılacak değerlendirmede kullanılacak beton ve donatı için izin verilen toplam birim şekildeğiştirmeleri ($\varepsilon_c^{(SH)}$ ve $\varepsilon_s^{(SH)}$);

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0,0025 \quad (2.36)$$

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0,0075 \quad (2.37)$$

bağıntılarıyla ifade edilmektedir. Ayrıca SH performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmemektedir ($\theta_p^{(SH)} = 0$).

4) Hacimsel donatı oranı (ρ_{sh}) hesabında, 90°'lik kapalı etriyelerin sadece %30'u hesaba dahil edilebilmektedir. Ayrıca kesme açıklığı (L_s) değerinin plastik mafsall boyundan (L_p) küçük olmaması gerekmektedir.

5) Şekildeğiştirme hesabı yapılan betonarme kesitin kesme kuvveti oranı $V_e / (b_w \cdot d \cdot f_{ctm}) < 0,65$ ise yukarıdaki verilen şekildeğiştirme kapasiteleri geçerli olmaktadır. Ancak kesme kuvveti oranı 1,3'ten büyük ise hesaplanan şekildeğiştirme kapasiteleri değerlerinin 0,5 ile çarpılarak azaltılması gerekmektedir (TBDY, 2019).

2.7. BİNA DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

2.7.1. DBYBHY'e Göre Deprem Performansının Belirlenmesi

Binaların deprem performansı, deprem etkisinde binada oluşması beklenen hasarların durumuyla ilgilidir. Bu yönetmeliğe göre dört farklı hasar durumu tanımlanmıştır (DBYBHY, 2007). Buna göre doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri uygulanarak yapısal eleman hasar sınırlarının elde edilmesiyle bina deprem performans düzeyi belirlenmektedir. DBYBHY'e göre söz konusu binaların deprem performansı aşağıda verilen kurallar doğrultusunda elde edilmektedir.

- 1) *HK performans düzeyinde*; herhangi bir katta uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, kirişlerin en fazla %10'u *Belirgin Hasar (BH) bölgesine* geçebilmektedir. Ancak diğer taşıyıcı sistem yapısal elemanlarının tümünün *MN bölgesinde* olması gerekmektedir. Diğer taraftan gevrek olarak hasar gören yapısal elemanların güçlendirilmeleri şartıyla bu koşulları sağlayan binaların da HK performans düzeyinde olduğu kabul edilmektedir.
- 2) *Can Güvenliği (CG) performans düzeyinde*; gevrek olarak hasar gören yapısal elemanların güçlendirilmeleri şartıyla aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir.
 - a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (*yatay yük taşıyıcı sisteminde bulunmayan*) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u *İleri Hasar (İH) bölgesine* geçebilmektedir.
 - b) İH bölgesindeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısının %20'nin altında olması gerekmektedir. En üst katta İH bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olmalıdır.

c) Diğer taşıyıcı sistem elemanlarının tümü MN bölgesi veya BH bölgesinde olmak koşuluyla, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden MN sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekmektedir.

3) *Göçme öncesi performans düzeyinde*; gevrek olarak hasar gören tüm yapısal elemanların *göçme bölgesinde* olduğunun dikkate alınması koşuluyla,

a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde bulunmayan) kirişler hariç, kirişlerin en fazla %20'si *göçme bölgesine* geçebilmektedir.

b) Diğer taşıyıcı sistem yapısal elemanlarının tümü MN bölgesi, BH bölgesi veya İH bölgesinde olması koşuluyla, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden MN sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'unu aşmaması gerekmektedir.

c) Söz konusu binanın mevcut durumu ile kullanılması CG açısından zararlı olmaktadır.

şartlarının sağlanması gerekmektedir.

4) Bina göçme öncesi performans düzeyinde belirtilen koşulları sağlamıyorsa *göçme durumunda* kabul edilmektedir (DBYBHY, 2007).

2.7.1.1. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

Yeni yapılacak binaların değerlendirilmesinde, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem esas alınmaktadır. Diğer taraftan mevcut binaların değerlendirme ve güçlendirmesinde aşağıda verilen deprem düzeyleri dikkate alınmaktadır.

- 1) 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, elastik tasarım ivme spektrumu ordinatlarının yarısı olarak dikkate alınması gerekmektedir.
- 2) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise, elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatlarının 1,5 katı olarak dikkate alınması gerekmektedir.

Mevcut ya da güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde dikkate alınacak deprem düzeyleri ve söz konusu deprem düzeyleri için binalarda öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 2.10'da verilmektedir.

Çizelge 2.10. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri (DBYBHY, 2007).

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Depremin Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, afet yönetim merkezleri vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, cezaevleri, müzeler vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı maddelerin bulunduğu binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları	-	CG	-

2.7.2. TBDY'e Göre Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

Mevcut ya da güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde dikkate alınacak deprem düzeyleri ve söz konusu deprem düzeyleri için binalarda öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 2.11'de verilmektedir.

Çizelge 2.11. Mevcut binalar için performans hedefleri ve tasarım yaklaşımları (TBDY, 2019).

Deprem Düzeyleri	DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS=1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	-	-
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

2.7.2.1. Mevcut veya Güçlendirilecek Binaların Deprem Performansı

TBDY'e göre mevcut binaların deprem performansı, deprem etkisinde binalarda oluşması beklenen hasarların durumuyla ilişkili olup dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmaktadır (TBDY, 2019). Doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin uygulanmasıyla, şekildeğiştirme sınırları da dikkate alınarak, taşıyıcı sistem yapısal elemanlarının performanslarının elde edilerek söz konusu binanın performans düzeyi elde edilmektedir.

- 1) Mevcut binalarda *SH performans düzeyi*; betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si BH bölgesine geçebilirken, diğer taşıyıcı elemanlarının tümünün SH bölgesinde olması gerekmektedir. Gevrek olarak hasar gören yapısal elemanların güçlendirilmeleri koşuluyla söz konusu binaların SH performans düzeyinde olduğu kabul edilmektedir.
- 2) Mevcut binalarda *KH performans düzeyi*; gevrek olarak hasar gören yapısal elemanların güçlendirilmeleri koşuluyla;

- a) Betonarme binaların herhangi bir katında, her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde bulunmayan) kirişler hariç, kirişlerin en fazla %35'i İH bölgesine geçebilmektedir.
- b) İH bölgesindeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'den az olmalıdır. En üst katta İH bölgesindeki düşey yapısal elemanların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm düşey yapısal elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olması gerekmektedir.
- c) Diğer taşıyıcı yapısal elemanların tümü *SH* veya *BH* bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *BH* sınırı aşılmış olan düşey yapısal elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey yapısal elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekmektedir.
- 3) Mevcut binalarda *GÖ performans düzeyi*; gevrek olarak hasar gören tüm yapısal elemanların *göçme bölgesinde* olduğunun dikkate alınması koşuluyla;
- a) Betonarme binaların herhangi bir katında, her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde bulunmayan) kirişler hariç, kirişlerin en fazla %20'si *göçme bölgesine* geçebilmektedir.
- b) Diğer taşıyıcı yapısal elemanların tümü *SH*, *BH* veya *İH* bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *BH* sınırı aşılmış olan düşey yapısal elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey yapısal elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekmektedir.
- c) Binanın mevcut durumunda kullanımı CG bakımından sakınca oluşturmaktadır.

- 4) Bina *GÖ performans düzeyini* sağlayamıyorsa, *göçme durumunda* olduğu kabul edilmektedir (TBDY, 2019).

2.8. BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

2.8.1. DBYBHY'e Göre Binaların Güçlendirilmesi

Binaların güçlendirilmesi genellikle deprem hasarlarına neden olabilecek kusurların giderilmesi ve deprem emniyetini arttırmak amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla söz konusu bina taşıyıcı sistemine yeni elemanların eklenmesi, kütlenin azaltılması, mevcut yapısal elemanların deprem davranışlarının geliştirilmesi, sürekliliğin sağlanması gibi güçlendirilme yöntemleri uygulanmaktadır (DBYBHY, 2007).

Güçlendirme uygulamalarının, her taşıyıcı sistem türü için yapısal eleman ve bina sistemi düzeyinde olmak üzere iki farklı kapsamda değerlendirilmesi gerekmektedir.

- 1) Binanın kolon, kiriş, betonarme duvar ve birleşim bölgesi gibi deprem yüklerini karşılayan taşıyıcı elemanlarında dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin arttırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler *yapısal eleman güçlendirmesi* olarak tanımlanmaktadır.
- 2) Binanın taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekildeğiştirme kapasitesinin arttırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, söz konusu binaya yeni yapısal elemanlar eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi ve deprem etkilerinin azaltılması amacıyla söz konusu binanın kütlesinin azaltılması işlemleri de *sistem güçlendirmesi* olarak tanımlanmaktadır.

2.8.1.1. Betonarme Binaların Güçlendirilmesi Türleri

Bu başlık altında yapısal eleman ve taşıyıcı sistem bazında sıkça kullanılan güçlendirme yöntemleri uygulamalarından bazıları verilmektedir.

1) **Kolonların Sarılması;** kolonların sünekliliğinin, kesme ve basınç dayanımlarının arttırılması ve bindirmeli bölgelerin zayıflıklarının giderilmesi amacıyla genellikle aşağıda verilen yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerle kolonların eğilme kapasitesi arttırılamamaktadır.

a) **Betonarme sargı;** bu yöntem mevcut kolonun beton örtü kalınlığı (paspayı) sıyrılarak ve/veya yüzeyleri örselenerek uygulanmaktadır. Betonarme sargının hem yatay hem de düşey donatıların yerleştirilmesi, beton dökülmesi ve minimum beton örtü kalınlığının sağlanması için yeterli kalınlıkta (en az 10 cm) olması gerekmektedir. Ayrıca betonarme sargı alt kat döşemesinin üstünden başlayıp üst kat döşemesinin alt kısmında sona ermektedir. Diğer taraftan eksenel basınç dayanımının arttırılması amacıyla yapılan sargıda, sargı betonu içindeki enine donatılar için kolonun tüm yüksekliği boyunca söz konusu yönetmelikte verilen *enine donatı koşullarının* dikkate alınması gerekmektedir. Sarılmış kolonun kesme ve basınç dayanımlarının hesabında, sarılmış brüt kesit boyutları ve manto betonunun tasarım dayanımı kullanılacaktır. Ancak elde edilen dayanımların 0,9 katsayısıyla çarpılarak azaltılması gerekmektedir.

b) **Çelik sargı;** bu yöntem kare ya da dikdörtgen betonarme kolonların köşelerine 4 adet boyuna köşebent yerleştirilmesi ve söz konusu köşebentlerin belirli aralıklarla yatay plakalarla kaynaklanmasıyla oluşturulmaktadır. Ancak köşebentlerle betonarme yüzeyler arasında boşluk kalmamalıdır. Ayrıca yatay plakalar 4 yüzeyde de sürekli olmalıdır. Diğer taraftan çelik sargının söz konusu kolonun eksenel yük kapasitesinin arttırılması amacıyla yapılması durumunda, köşebentlerin alt ve üst döşemeler arasında sürekli olması ve başlık plakalarıyla döşemelere basınç aktarımının sağlandığının hesapla gösterilmesi gerekmektedir. Ayrıca söz konusu köşebentlere ön yükleme yapmak suretiyle mevcut betonarme kolonun düşey yüklerden oluşan eksenel basınç yükü azaltılabilmektedir. Çelik sargıyla sağlanacak ek kesme dayanımı;

$$V_j = \frac{t_j \cdot b \cdot d \cdot f_{yw}}{s} \quad (2.38)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda t_j yatay plakaların kalınlığını, b yatay plakaların genişliğini, d kesitin faydalı yüksekliğini, f_{yw} çelik sargıdaki çeliğin akma dayanımını ve s ise yatay plakaların aralığını ifade etmektedir. Çelik sargıyla bindirmeli eklerin zayıflıklarının giderilmesi amacıyla sargı boyunun bindirme bölgesi boyundan en az %50 daha uzun olmalıdır. Ayrıca çelik sargı donatı bindirme bölgesinin kolonun karşılıklı yüzlerinde en az 16 mm çapında iki sıra bulonlu ankraj ile sıkıştırılması gerekmektedir. Bindirme ekinin kolonun alt ucunda yapılması durumunda, alt döşemenin sırasıyla 25 ve 50 cm üzerinde en az iki sıra bulonlu ankraj yapılmalıdır.

c) **Lifli polimer (LP) sargı;** LP tabakası, söz konusu kolonların çevresine, liflerin enine donatılara paralel olacak şekilde sarılması ve yapıştırılmasıyla yapılmaktadır. LP sargısıyla betonarme kolonların süneklik kapasitesi, kesme ve basınç dayanımları ve boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda ise donatı kenetlenme dayanımının artırılması sağlanmaktadır. LP sargılamayla yapılan güçlendirmelerde tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalı ve sargı sonunda en az 20 cm bindirme yapılması gerekmektedir. LP sargısı kare veya dikdörtgen kolonlarda, kolon köşelerinin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanmaktadır. Ayrıca LP uygulamasının üretici firma tarafından önerilen yöntemine uygun olarak yapılması gerekmektedir. LP ile sargılanan kolon ve kirişlerin kesme dayanımı;

$$V_r = V_c + V_s + V_f \leq V_{maks} \quad (2.39)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda V_c kesme kuvveti dayanımına betonun katkısını, V_s enine donatının katkısını, V_f lifli polimerin kesme kuvvetine katkısını ve V_{maks} ise asal basınç gerilmelerini sınırlamak için tanımlanan kesme kuvvetini ifade etmektedir.

LP sargının katkısını ifade eden V_f sargılamamanın şeritler halinde olması durumunda;

$$V_f = \frac{2 \cdot n_f \cdot t_f \cdot w_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_f \cdot d}{s_f} \quad (2.40)$$

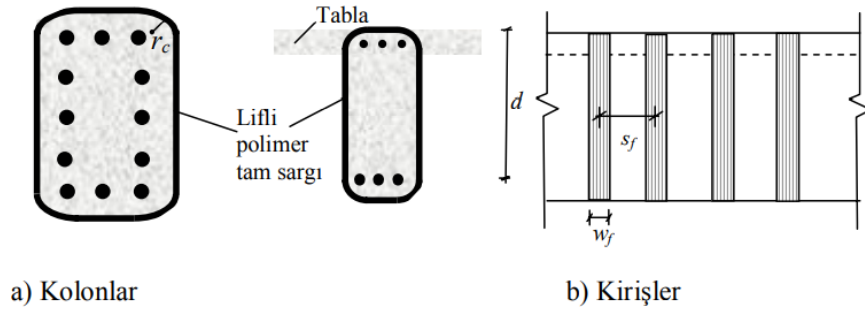
bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda n_f tek yüzdeki LP sargı tabaka sayısını, t_f bir tabaka LP için etkili kalınlığı, w_f LP şeridinin genişliğini, E_f LP elastisite modülünü, ε_f LP etkin birim uzama sınırını ve s_f ise LP şeritlerinin eksenden eksene aralıklarını ifade etmektedir. Ancak sargılamamanın sürekli yapılması durumunda, $w_f = s_f$ alınması gerekmektedir. Etkin birim uzama değeri (ε_f);

$$\varepsilon_f \leq 0,004 \text{ ve } \varepsilon_f \leq 0,5 \cdot \varepsilon_{fu} \quad (2.41)$$

bağıntısıyla hesaplanmalıdır. Bu bağıntıda ε_{fu} LP kopma birim uzaması göstermektedir. LP'nin şeritler halinde kullanılması durumunda aralıklarının (s_f);

$$s_f \leq w_f + d / 4 \quad (2.42)$$

bağıntısıyla elde edilen değeri geçmemesi gerekmektedir.



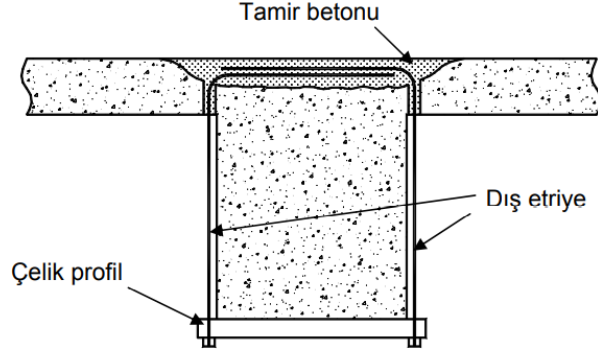
Şekil 2.6. Kolonlar ve kirişlerde LP uygulanması (DBYBHY, 2007).

2) **Kolonların Eğilme Kapasitesinin Arttırılması;** kolonların eğilme kapasitesini arttırmak için söz konusu kolonların kesitleri büyütülmektedir. Bu işlem aynı zamanda söz konusu kolonun kesme ve basınç kapasitelerini de arttırmaktadır. Bu yöntemle enkesiti büyütülen kolona eklenen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla boyuna donatılar kat

döşemelerinde açılan deliklerden geçirilmektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ise kirişler delinerek veya kirişlere ankraj yapılarak gerekli enine donatı eklenmektedir. Ayrıca kolonun büyütülen kesitinin söz konusu yönetmelikte verilen enine donatı kuralları dikkate alınarak sarılması gerekmektedir. Diğer taraftan büyütülen kolon kesitinin beton örtü kalınlığı, eklenen düşey ve yatay donatıyı örtmesi için, yeterli kalınlıkta olmalıdır. Ayrıca yeni ve eski betonun aderansının sağlanması için mevcut kolonun yüzeyindeki sıva tabakası sıyrılarak beton yüzeylerinin pürüzlendirilmesi gerekmektedir. Büyütülmüş kolon kesitinin eğilme, kesme, basınç dayanımının ve eğilme rijitliğinin hesabında brüt kesit boyutları ve eklenen kesit betonunun tasarım özellikleri dikkate alınacaktır. Ancak elde edilen rijitlik ve dayanım değerlerinin 0,9 katsayısıyla çarpılarak azaltılması gerekmektedir.

3) **Kirişlerin Sarılması;** kirişlerde sargılama yapılmasındaki amaç, kirişlerin kesme dayanımlarının ve süneklik kapasitelerinin artırılmasıdır. Ancak söz konusu sargılama yöntemleriyle kirişlerin eğilme kapasitesini arttırmamaktadır.

a) **Dıştan etriye ekleme;** kesme dayanımı yetersiz olan kiriş mesnet bölgelerinde gerekli sayıdaki etriye çubuğu kirişin iki yüzüne Şekil 2.7’de gösterildiği gibi dıştan eklenmektedir. Buna göre kiriş altına yerleştirilen çelik bir profile bulonla bağlanan çubuklar, üstteki döşemeden açılan deliklerden geçirilerek döşeme üst yüzeyinde açılan yuvada bükülerek yerleştirilmektedir. Daha sonra döşeme betonunda açılan yuvalar betonla doldurulmaktadır. Kirişlerin dıştan eklenen etriyelerle artırılan kesme dayanımı TS 500-*Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları* standardına göre hesaplanacaktır (TS-500, 2000). Ancak dıştan eklenen etriyelerin sargılama etkisi bulunmamakta ve söz konusu kiriş kesitinin sünekliğini arttırmamaktadır. Ayrıca bu uygulamada kullanılan profillerin ve bulonların dış etkilere karşı korunması gerekmektedir.



Şekil 2.7. Kirişlere dışarıdan etriye eklenmesi (DBYBHY, 2007).

4) **Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Duvarlarla Güçlendirilmesi;** özellikle yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme duvarlarla güçlendirilebilmektedir. Betonarme duvarlar mevcut taşıyıcı sistem (çerçeve) düzlemi içinde veya düzlemine bitişik olarak düzenlenebilmektedir.

a) **Taşıyıcı sistem (çerçeve) düzlemi içinde betonarme duvar eklenmesi;** betonarme taşıyıcı sisteme eklenecek betonarme duvarların çerçeve aksının içinde temelden başlayarak sürekli olacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, betonarme duvar başlık bölgesindeki boyuna donatılar ve gövdesindeki donatılar söz konusu betonarme duvarın yüksekliği boyunca sürekli olarak düzenlenmelidir. Ayrıca betonarme duvarlar bulundukları çerçeveye ankraj çubuklarıyla bağlanarak mevcut sistemle birlikte çalışmaları sağlanmalıdır. Ancak ankraj çubuklarının, mevcut çerçeve elemanlarıyla eklenen betonarme duvar arasındaki ara yüzlerde, deprem kuvvetleri etkisinde oluşan kayma gerilmelerini karşılayacak yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Ankraj çubuklarının tasarımında TS-500’de verilen esaslar dikkate alınacaktır. Ayrıca minimum çubuğu çapının 16 mm, minimum ankraj derinliğinin çubuk çapının 10 katı ve maksimum çubuk aralığının ise 40 cm olması gerekmektedir. Diğer taraftan DBYBHY’e göre betonarme duvar başlarında mevcut kolon bulunmaması durumunda duvar uç bölgesi oluşturulacaktır. Buna karşın betonarme duvar başlarında mevcut kolon bulunması durumunda ise mevcut kolondan uç bölgesi olarak yararlanılabilmektedir. Ayrıca gerekli durumlarda mevcut kolon ve/veya

kolonlar büyütülerek ya da mevcut kolona bitişik betonarme duvar içinde gizli kolon düzenlenerek betonarme duvar uç bölgesi de oluşturulabilmektedir. Her iki durumda da betonarme duvar uç bölgesine eklenecek boyuna donatıların katlar arasında sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca DBYBHY’de taşıyıcı sisteme eklenen betonarme duvarın altına temel yapılması önerilmektedir. Betonarme duvar temelini duvar tabanındaki iç kuvvetleri temel zeminine güvenle aktaracak şekilde boyutlandırılması gerekmektedir. Diğer taraftan betonarme duvar temelinde oluşabilecek dış merkezliği azaltmak için betonarme duvar temeli komşu kolonları içerecek şekilde genişletilerek mevcut kolonların eksenel basınç kuvvetlerinden de yararlanılabilmektedir. Ayrıca betonarme duvar temelini mevcut temel sistemiyle birlikte çalışması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

b) **Çerçeve düzlemine bitişik betonarme duvar eklenmesi;** betonarme taşıyıcı sisteme eklenecek betonarme duvarlar, dış çerçeve aksının dışında temelden başlayarak sürekli olacak şekilde çerçeveye bitişik olarak düzenlenmelidir. Ayrıca betonarme duvarların bitişik oldukları çerçeveye ankraj çubuklarıyla bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanmalıdır. Ankraj çubuklarının mevcut çerçeve elemanlarıyla eklenen dışmerkezli betonarme duvar arasındaki ara yüzlerde deprem kuvvetleri etkisinde oluşan kayma gerilmelerini karşılayacak yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Ankraj çubukları ve eklenen betonarme duvar temelini tasarımında yukarıda tanımlanan tasarım kuralları dikkate alınacaktır.

5) **Betonarme Sisteme Yeni Çerçeveler Eklenmesi;** betonarme sistemin dışına yeni çerçeveler eklenerek yatay kuvvetlerin paylaşımı sağlanabilmektedir. Taşıyıcı sisteme eklenecek çerçevelerin temellerinin mevcut binanın temelleriyle birlikte düzenlenmesi gerekmektedir. Ayrıca eklenen çerçevelerin mevcut binanın taşıyıcı sistemiyle birlikte çalışması için bunlar, mevcut binanın döşemelerine yük aktarımını sağlayacak şekilde ankre edilmelidir.

6) **Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması;** kütle azaltılması bir güçlendirme yöntemi değildir. Ancak yapıya etki eden düşey ve/veya yatay yükler, azalan kütle

ile orantılı olarak azalacak olması yapı güvenliğini artırmaktadır. Bu nedenle azaltılacak ve/veya kaldırılacak kütle, söz konusu yapının üst kotlarına yakın olması durumunda deprem emniyetini arttırmadaki etkinliği fazla olmaktadır. Kütle azaltılması yöntemlerini; binanın üst katının veya katlarının kaldırılması, mevcut çatının hafif bir çatıyla değiştirilmesi, çatıda bulunan su deposu vb tesisat ağırlıklarının zemin kata indirilmesi, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarların ve cephe kaplamalarının daha hafif olarak düzenlenmesi şeklinde sıralamak mümkündür.

2.8.2. TBDY’ e Göre Binaların Güçlendirilmesi

Bu yönetmeliğe göre binaların güçlendirilmesi; deprem hasarlarına neden olacak kusurların giderilmesi, deprem emniyetini arttırmaya yönelik yeni yapısal elemanların eklenmesi, kütlenin azaltılması, mevcut yapısal elemanların deprem davranışlarının iyileştirilmesi, kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması işlemlerini kapsamaktadır.

2.8.2.1. TBDY’ e Göre Betonarme Binaların Güçlendirilmesi Türleri

Bu yönetmeliğe göre güçlendirme uygulamaları, taşıyıcı sistem yapısal elemanı ve bina taşıyıcı sisteminde olmak üzere iki farklı kapsamda dikkate alınmaktadır.

- 1) Betonarme binanın kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve betonarme duvar gibi yapısal elemanlarında dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerinin arttırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler *yapısal eleman güçlendirmesi* olarak tanımlanmaktadır.
- 2) Betonarme binanın taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekildeğiştirme kapasitesinin arttırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, yeni yapısal elemanların eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, deprem etkilerinin azaltılması amacıyla söz konusu binanın kütlesinin azaltılması işlemleri de *sistem güçlendirmesi* olarak tanımlanmaktadır.

Bu başlık altında *yapısal eleman* ve *sistem* güçlendirme yöntemlerine ilişkin sıkça kullanılan uygulamalarından bazıları verilmektedir.

1) **Kolonların Sarılması;** bu yöntem kolonların sünekliğini arttırmak amacıyla kesme ve basınç dayanımlarının arttırılması ve bindirmeli eklerin zayıflıklarının giderilmesi için kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerle kolonların eğilme kapasitesi arttırılamamaktadır.

a) **Betonarme sargılama yöntemi;** bu yöntem mevcut kolonun beton örtü kalınlığı sıyrılarak ya da yüzeyleri pürüzlendirilerek uygulanmaktadır. Betonarme sargı hem yatay hem de boyuna donatının kolay yerleştirilmesi, betonun kolay dökülmesi ve minimum beton örtü kalınlığının sağlanabilmesi için yeterli kalınlıkta (minimum 10 cm) olmalıdır. Betonarme sargı kat döşemesinin üst kısmından başlayıp bir üst kat döşemesinin alt kısmında sona ermektedir. Ayrıca eksenel basınç dayanımının arttırılması amacıyla sargı betonu içindeki enine donatının tüm kolonun yüksekliği boyunca TBDY’de verilen *enine donatı kurallarına* uygulanması gerekmektedir. Diğer taraftan sargılanmış kolonun kesme ve basınç dayanımlarının hesabında, sarılmış brüt kesit boyutlarıyla manto betonunun tasarım dayanımı kullanılarak hesaplanan dayanımlar 0,9 katsayısıyla çarpılarak azaltılacaktır.

b) **Çelik sargı;** betonarme kare/dikdörtgen kolonların köşelerine 4 adet köşebent yerleştirilmesi ve köşebentlerin de belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanmasıyla oluşturulmaktadır. Bu uygulamada köşebentlerle betonarme yüzeyler arasında boşluk kalmamasına ve yatay plakalar 4 yüzeyde sürekli olması özen gösterilmelidir. Ayrıca çelik sargının kolon eğilme-eksenel yük kapasitesinin arttırılması için, köşebentlerin alt ve üst döşemeler arasında sürekli olması ve başlık plakalarıyla söz konusu döşemelere basınç aktarımının sağlandığının hesaplara gösterilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan köşebentlere ön yükleme yapılarak mevcut betonarme kolonun düşey yüklerden oluşan eksenel basınç yükü azaltılabilmektedir. Çelik sargıyla sağlanacak ek kesme dayanımı DBYBHY verilen (2.38) bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

c) **LP sargı;** LP tabakasının kolonların çevresine, lifleri enine donatılara paralel olacak şekilde sarılması ve yapıştirılmasıyla sargılanma yapılmaktadır. LP sargısıyla betonarme kolonların süneklik kapasitesi, kesme ve basınç dayanımları ve boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda kenetlenme dayanımının artırılması sağlanmaktadır. LP sargılamayla güçlendirmelerde, tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalı ve sargı sonunda en az 20 cm bindirme yapılması gerekmektedir. LP sargısı kare ya da dikdörtgen kolonlarda kolon köşelerinin minimum 3 cm yarıçapında yuvarlatılmasıyla uygulanabilmektedir. LP tabakası ile sargılanan kolonlar ve kirişlerin kesme dayanımı;

$$V_r = V_c + V_w + V_f \leq V_{maks} \quad (2.43)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda V_w enine donatının katkısını göstermekte diğer simgeler DBYBHY’de verilen bağıntıdaki (2.39) ile benzerdir. Ayrıca LP sargının kesme kuvvetine katkısı ve etkin birim uzama değeri DBYBHY’de verilen bağıntılarla aynıdır (bkz. TBDY, 2019).

2) **Kolonların Eğilme Kapasitesinin Arttırılması;** kolonların eğilme kapasitesinin arttırılması için kolon enkesiti büyütülebilmektedir. Bu işlem aynı zamanda söz konusu kolonun kesme ve basınç kapasitelerini de arttırmaktadır. Kesitleri büyütülen kolonlara eklenen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla boyuna donatılar kat döşemelerinde açılan deliklerden geçirilmelidir. Ayrıca kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kirişler delinerek veya kirişlere ankraj yapılarak gerekli enine donatı konulmalıdır. Kolonun büyütülen enkesitinin Şekil 2.8’de verilen enine donatı kuralları dikkate alınarak sarılması gerekmektedir. Ayrıca büyütülen kolon kesitinin beton örtü kalınlığı, eklenen boyuna ve yatay donatıları örtmek için yeterli kalınlıkta olması gerekmektedir. Diğer taraftan yeni ve eski betonun aderansının sağlanması için mevcut kolonun yüzeyindeki sıva tabakası sıyrılarak beton yüzeyleri pürüzlendirilmesi gerekmektedir. Büyütülmüş kolon kesitinin eğilme, kesme, basınç dayanımlarının ve eğilme rijitliğinin hesabında brüt kesit boyutları ve

[illegible]

3) **Kirişlerin Sarılması;** bu yöntemle betonarme kirişlerin kesme dayanımlarını ve süneklik kapasitelerini arttırmak amaçlanmaktadır. Ancak aşağıda verilen söz konusu yöntemlerle kirişlerin eğilme kapasitesi arttırılamamaktadır.

a) **Dıştan etriye ekleme;** kesme dayanımı yetersiz olan kiriş mesnet bölgelerinde yeterli sayıda etriye kirişin iki yüzüne de dıştan eklenmektedir (bkz. Şekil 2.7). Bu amaçla kiriş alt kısmına yerleştirilen çelik profile bulonla bağlanan çubuklar, döşemede açılan deliklerden geçirilerek söz konusu döşemenin üst yüzeyinde açılan yuvanın içine bükülerek yerleştirilmekte ve döşemedeki bu boşluklar betonla doldurulmaktadır. Dıştan eklenen etriyelerle kirişlerin arttırılan kesme dayanımı TS 500'e göre hesaplanmalıdır. Diğer taraftan dıştan eklenen etriyelerin sargılama etkisi bulunmamakta ve söz konusu kirişin sünekliğini de arttırmamaktadır. Ayrıca bu uygulamada profil ve bulonların dış etkilerden korunması gerekmektedir.

b) **LP sargılama;** LP sargılamayla kiriş sünekliğinin ve kesme dayanımının arttırılmasında tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yönteminin kullanılması gerekmektedir. LP ile güçlendirilen kiriş kesme dayanımı, kolonların kesme dayanımı hesabında kullanılan bağıntıyla (2.42) belirlenmektedir. LP sargılarının süreksiz (şeritler halinde) kullanılması durumunda şerit aralıklarının $w_f + d / 4$ değerini geçmemesi gerekmektedir. LP sargısı, kirişlerde köşelerin minimum 3 cm yarıçapında yuvarlatılmasıyla uygulanmalıdır. Ayrıca LP sargılaması sonunda minimum 20 cm bindirme yapılması gerekmektedir.

4) **Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Perde Duvarlarla Güçlendirilmesi;** yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme duvarlarla güçlendirilebilmektedir. Betonarme duvarlar mevcut çerçeve düzlemi içinde düzenlenebileceği gibi çerçeve düzlemine bitişik olarak da düzenlenebilmektedir.

a) **Çerçeve düzlemi içinde perde duvar eklenmesi;** betonarme taşıyıcı sisteme eklenecek betonarme duvarlar, çerçeve sisteminin içinde temelden başlayarak sürekli olarak düzenlenmelidir. Ayrıca betonarme duvarların uç bölgelerindeki ve gövdesindeki boyuna donatıların duvar yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanması gerekmektedir. Diğer taraftan betonarme duvarlar, içinde bulundukları çerçeveye ankraj çubuklarıyla bağlanarak birlikte çalışmaları

sağlanmalıdır. Ayrıca ankraj çubuklarının mevcut çerçeve ile eklenen perde duvar arasındaki arayüzlerde, özellikle deprem kuvvetleri etkisinde, oluşan kayma gerilmelerini karşılayacak yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Diğer taraftan ankraj çubuklarının tasarımında TS-500’de verilen tasarım esasları kullanılacaktır. Buna göre minimum ankraj çubuğu çapı 16 mm, minimum ankraj derinliği çubuk çapının 10 katı ve maksimum çubuk aralığı 40 cm olmalıdır. Betonarme duvarın ucunda mevcut kolon bulunmaması durumunda TBDY’de belirtilen tasarım kriterlerine göre söz konusu duvarın uç bölgesi oluşturulacaktır. Betonarme duvar ucunda mevcut kolon bulunması durumunda, mevcut kolon ve/veya kolonlardan uç bölgesi olarak yararlanılabilmektedir. Ayrıca gerekli durumlarda mevcut kolon ve/veya kolonlar mantolamayla büyütülerek veya mevcut kolona bitişik betonarme duvar içinde kolon düzenlenerek duvar uç bölgesinin oluşturulması gerekmektedir. Her iki uygulamada da betonarme duvar uç bölgesine eklenecek boyuna donatıların katlar arası sürekliliği sağlanmalıdır. TBDY’ye göre oluşturulan güçlendirme duvarının altına temel yapılmalıdır. Betonarme duvar temelinin, söz konusu duvarın tabanındaki iç kuvvetleri temel zeminine güvenle aktaracak şekilde boyutlandırılması gerekmektedir. Diğer taraftan betonarme duvarın temelinde oluşabilecek dış merkezliği azaltmak için duvar temeli komşu kolonları içerecek şekilde genişletilmiştir. Böylece mevcut kolonların aksinel basınç kuvvetlerinden yararlanılabilmektedir. Ayrıca betonarme duvar temelinin mevcut temel sistemiyle birlikte çalışması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

- b) **Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi;** betonarme taşıyıcı sisteme eklenecek betonarme duvarlar, dış çerçeve aksının dışında temelden başlayarak sürekli olarak çerçeveye bitişik şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca betonarme duvarın, bitişik oldukları çerçeveye ankraj çubuklarıyla bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanmalıdır. Diğer taraftan ankraj çubuklarının mevcut çerçeve elemanları ile eklenen dışmerkezli betonarme duvar arasındaki arayüzlerde, özellikle deprem kuvvetleri etkisinde, oluşan kayma gerilmelerini karşılayacak yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir.

5) **Betonarme Sisteme Yeni Çerçeveler Eklenmesi;** betonarme taşıyıcı sistemin dışına eklenecek çerçevelerin temellerinin mevcut binanın temelleriyle birlikte düzenlenmesi gerekmektedir. Yeni çerçeveler, mevcut binanın döşemelerine yük aktarımını sağlayacak şekilde bağlanarak mevcut binanın taşıyıcı sistemiyle birlikte çalışması sağlanmalıdır.

6) **Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması;** deprem yüklerinin azaltılması için uygulanabilecek en etkin yöntemler; binanın üst katının veya katlarının kaldırılması, mevcut çatının hafif bir çatıyla değiştirilmesi, çatıda bulunan su deposu vb. gibi tesisat ağırlıklarının zemin kata indirilmesi, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarların ve cephe kaplamalarının daha hafif olarak düzenlenmesi şeklinde sıralamak mümkündür.

BÖLÜM 3

KARABÜK İLİ MİLLİ EĞİTİM MÜDÜRLÜĞÜNE BAĞLI İLK VE ORTA ÖĞRETİM OKUL BİNALARINDAN BİLGİ TOPLANMASI

Bu tez çalışması kapsamında, Millî Eğitim Bakanlığı'na bağlı Karabük ilinde bulunan ilk ve orta dereceli okul binaları incelenmiş ve 2 okul binası örnek olarak seçilerek güçlendirilmeleri için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Bu okul binalarından birincisi Karabük ili Safranbolu ilçesinde bulunan Misakı Milli ilköğretim okulu ve ikincisi ise Yenice ilçesinde bulunan Kalaycılar ilköğretim okulu binalarıdır. Söz konusu okul binalarının ekonomik ömürlerini tamamlamamış olması ve öngörülen güçlendirilme maliyetlerinin diğerlerine göre daha az olması sayısal örnek olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Bu amaçla seçilen okul binalarının önce Sta4-CAD programıyla DBYBHY ve TBDY'e göre performans analizleri yapılarak elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Daha sonra da bu çalışma kapsamında dikkate alınan her iki deprem yönetmeliğine göre güçlendirme projeleri hazırlanarak söz konusu yönetmeliklerin tasarım kuralları çerçevesinde elde edilen sonuçlar ve maliyetleri değerlendirilmiştir.

3.1. OKUL BİNALARI HAKKINDA BİLGİLER

3.1.1. Misakı Milli İlkokulu

Misakı Milli İlkokul binasının yapım yılı 2002'dir. Söz konusu okul binasının taşıyıcı sistemi, 3 katlı betonarme çerçeve ve duvar sistemden oluşmaktadır. Buna göre bodrum, zemin ve 1. normal kattan oluşan okul binası toplam 1792,99 m²'dir. Misakı Milli ilkokulunun bodrum katı 4,1 m, zemin katı ve 1. normal katı 3,2 m yüksekliğindedir. Ayrıca söz konusu okul binası 1,4 m gömülü olarak inşa edilmiştir. Misakı Milli ilkokul binasının ön ve arka cephesi görünümüleri Şekil 3.1'de, mimari ve statik röleve çizimleri de Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmektedir.

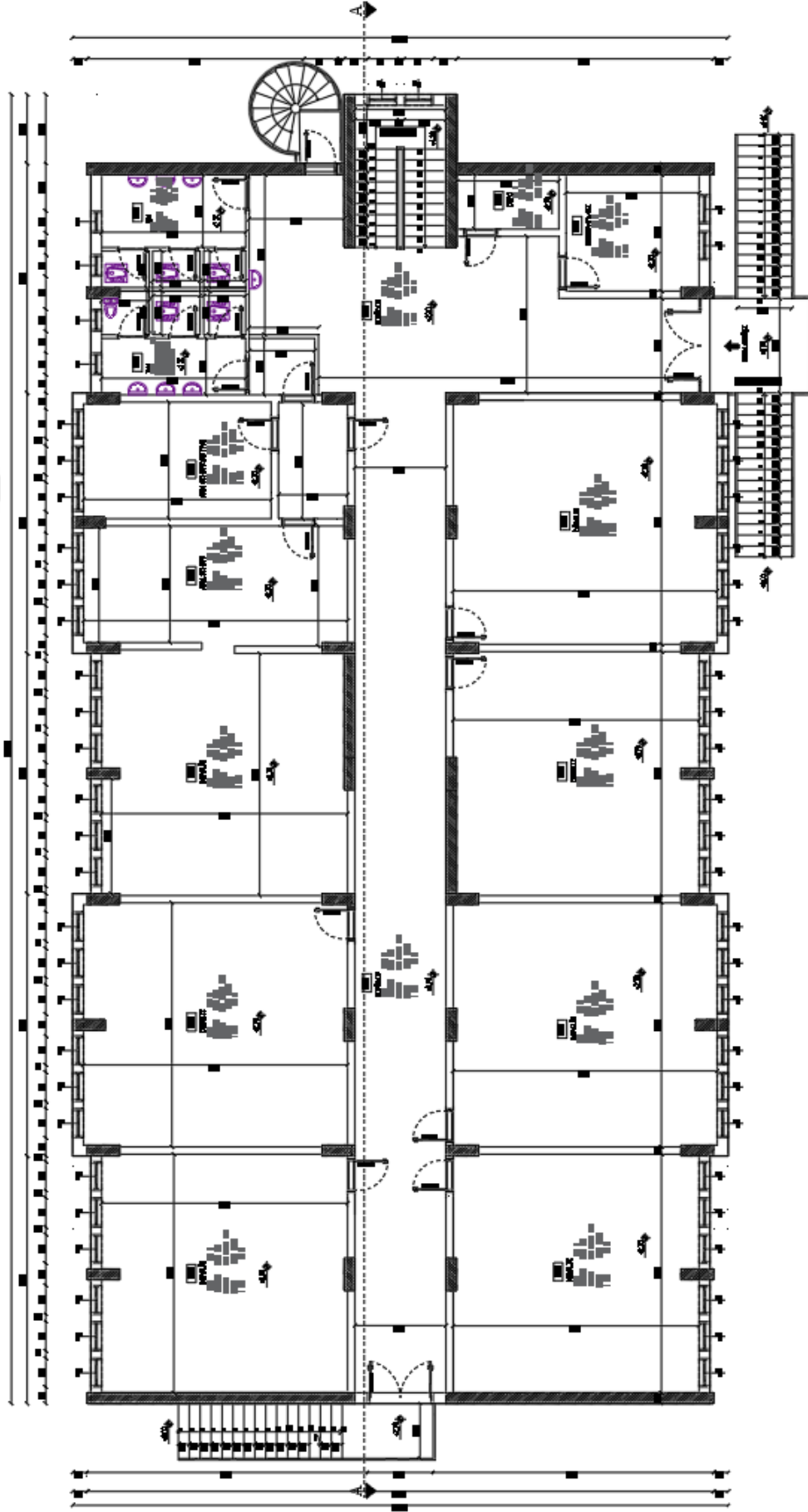


a) Ön cephe



b) Arka cephe

Şekil 3.1. Misakı Milli İlkokul binasının ön ve arka cephelerinden görünümeler.

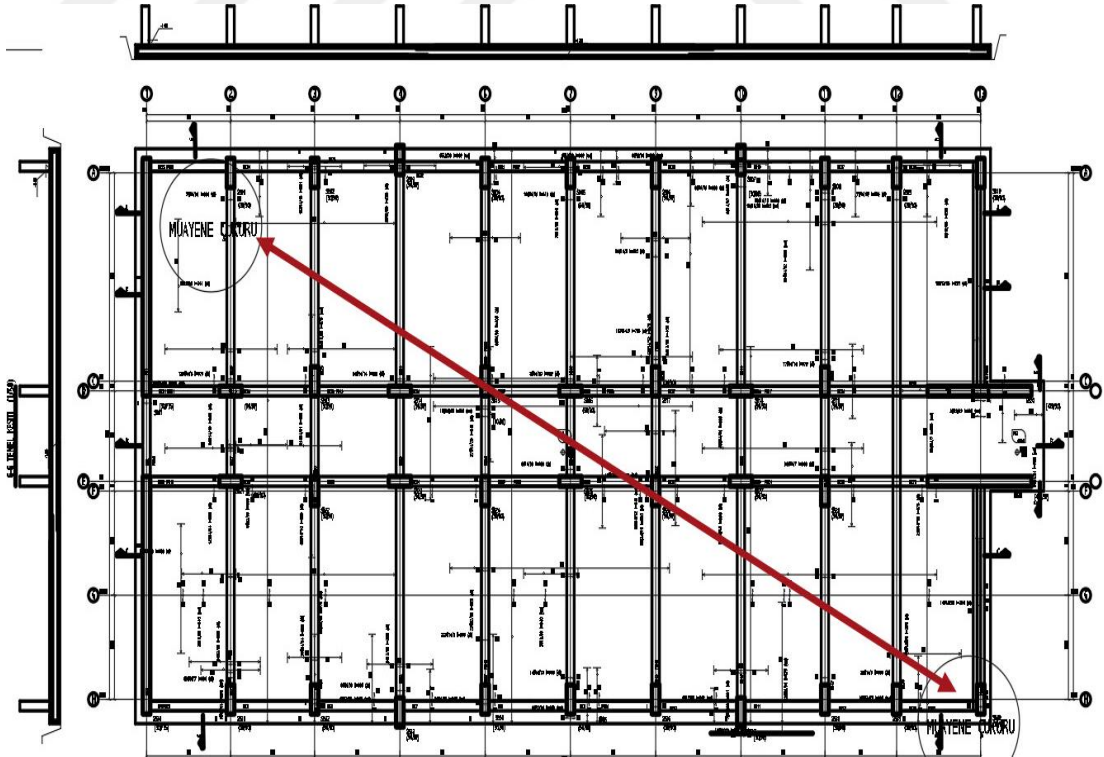


Şekil 3.2. Misakı Milli ilkokulu mimari rölevesi.

Misakı Milli İlkokulunun röleve çizimlerinden sonra söz konusu okul binasının taşıyıcı sistemi hakkında bilgi toplamak için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Yapılan laboratuvar deneyleri;

- 1) Temel muayene çukuru açılması,
- 2) Kolonlar, betonarme duvarlar ve kirişlerde sıyırma yapılması,
- 3) Kolonlardan, betonarme duvarlardan ve kirişlerden röntgen çekilmesi,
- 4) Karot alınması,

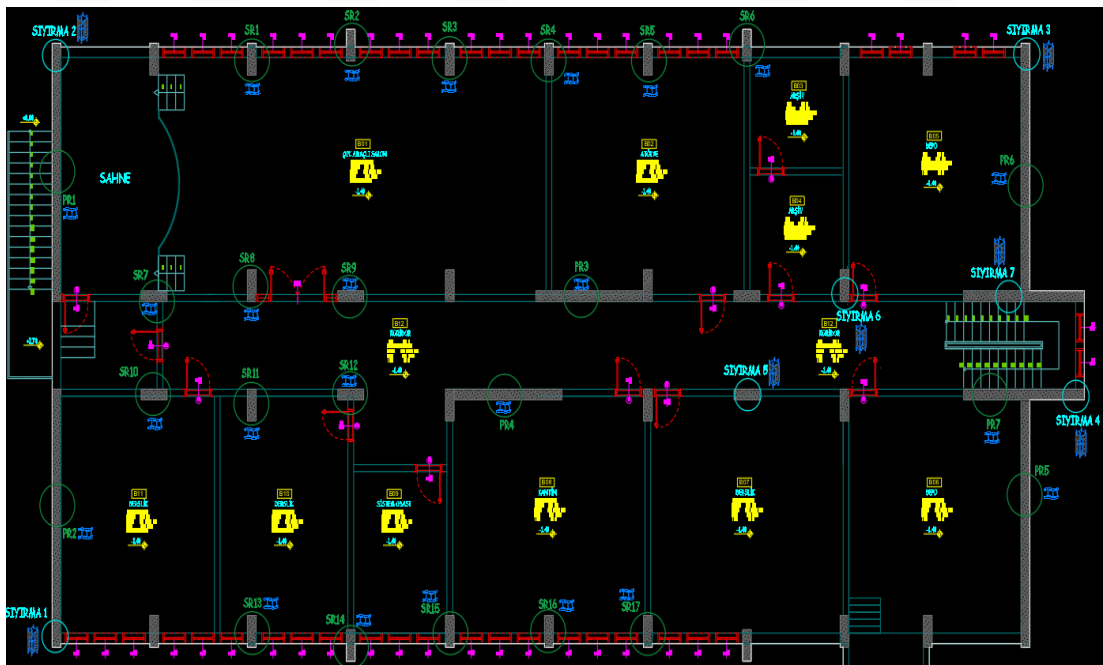
işlemlerini kapsamaktadır. Söz konusu deneylerin yapılması aşamalarındaki görünümlemler sırasıyla Şekil 3.4~Şekil 3.8 verilmektedir. Ayrıca deneysel çalışmaların adedi TBDY’de bulunan kapsamlı bilgi düzeyi dikkate alınarak yapılmıştır. Burada TBDY göre sadece kapsamlı bilgi düzeyinin alınmasındaki amaç, söz konusu okul binasının güçlendirme ihalesini yapan idarenin sadece bu bilgi düzeyinin dikkate alınması talebi nedeniyle söz konusu bilgi düzeyinin alındığını belirtmek yararlı olacaktır.



Şekil 3.4 Misakı Milli ilkokulunda temel muayene çukurunun açıldığı akslar.



Şekil 3.5. Misakı Milli ilkokulunda temel muayene çukuru açılmasından görünümler.



Şekil 3.6. Misakı Milli ilkokulunda laboratuvar deneyi yapılan yapısal elemanlar ve yerlerinin gösterimi.



Zemin kat SZ19 kolonu



Zemin kat SZ28 kolonu



Zemin kat SZ14 kolonu



Zemin kat KZ49 kirişi



Bodrum kat PB20 perdesi

Şekil 3.7. Misakı Milli ilkokulunun bazı yapısal elemanlarda uygulanan sıyrma işleminden görünüm.



Şekil 3.8. Misakı Milli ilkokulunun kolonlarından karot alma işleminden görünüm.

Açılan temel muayene çukurları ışığında söz konusu okul binasının 40 cm yüksekliğinde kirişsiz radye temel sistemine sahip olduğu görülmüştür. Daha önceden Misakı Milli ilkokulunun her katından 3'er adet karot örneği alınmıştır. Yapılan ihale kapsamında daha sağlıklı bilgiler elde etmek amacıyla her kattan ek olarak 1'er adet daha karot örneği alınmıştır. Sonuç olarak alınan karot örneklerinden bodrum katta C17, zemin katta C22, 1. katta C19 mevcut beton basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir (bkz. Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Misakı Milli ilkokulunun mevcut karot sonuçları.

Karot Numunesi Alınan Kat	Karotlar	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Bodrum kat	Önceden alınan Karotlar	1 19,62
		2 13,09
		3 9,15
	Güncel alınan Karot	1 27,35
Zemin kat	Önceden alınan Karotlar	1 34,75
		2 26,80
		3 22,67
	Güncel alınan Karot	1 21,2
1. kat	Önceden alınan Karotlar	1 26,14
		2 21,65
		3 15,89
	Güncel alınan Karot	1 19,26

Sıyırma ve röntgen işlemleri TBDY'de *Eleman Detayları* bölümünde belirtilen koşullar doğrultusunda yapılmıştır. Söz konusu okul binasının statik rölevesi dikkate alındığında 36 adet kolon ve 6 adet betonarme duvarın (perdenin) bulunduğu görülmektedir. TBDY'de verilen koşullar gereği kolon ve betonarme duvarların, en az 1 tanesinde sıyırma yapmak koşuluyla, %5'inde sıyırma yapılması gerekmektedir. Buna göre söz konusu okul binasının kolonlarında minimum 2 adet ve betonarme duvarlarında ise minimum 1 adet sıyırma yapılması gerekmektedir. Burada taşıyıcı sistemde daha detaylı bilgi edinmek için bu sayılarda artış yapılabileceğini belirtmek yararlı olacaktır. Diğer taraftan kirişler hakkında bilgi edinmek amacıyla her katta minimum 1 adet sıyırma işlemi yapılmalıdır. Hasarsız donatı tespiti olarak adlandırılan röntgen işlemi için sıyırma yapılmayan kolonlar ve betonarme duvarların da minimum %20'sinde donatı tespiti yapılması gerekmektedir. Bu amaçla yapılan sıyırma (hasarlı donatı tespiti) ve röntgen (hasarsız donatı tespiti)

işlemleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmektedir. Ayrıca kolonlarda yapılan sıyırma işlemleriyle donatı tespit raporu hazırlanmıştır (bkz. Şekil 3.9). Bu raporda donatıların korozyon oranlarının, etriyelerin kanca kıvrılma açılarının, donatı adetlerinin, donatı çaplarının ve donatı sınıflarının belirtildiği görülmektedir.

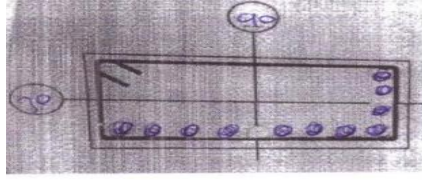
Yapılan bu laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen mevcut malzeme değerleri dikkate alınarak Misakı Milli İlkokulunun performans analizi Sta4cad programıyla yapılmıştır.

Çizelge 3.2. Misakı Milli ilkokulu hasarlı donatı tespit raporu.

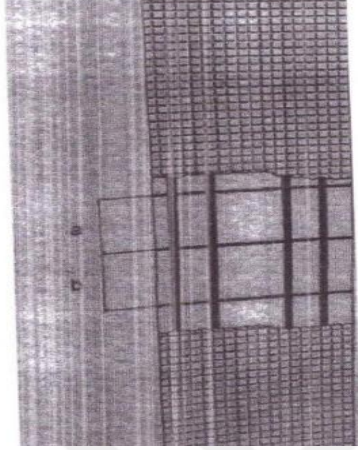
Katlar	Yapılan İşlem	Taşıyıcı Elemanlar	Boyutlar (cm)	Donatı Adedi		Boyuna/Asal Donatı	Yatay/Enine Donatı
				Uzun Kenarda	Kısa Kenarda		
Bodrum Kat	Sıyırma 1	Betonarme duvar	30x735	-	-	Ø16/14	Ø8/16
	Sıyırma 2	Betonarme duvar	30x735	-	-	Ø16/27	Ø8/15
	Sıyırma 3	Betonarme duvar	420x30	-	-	Ø16/19	Ø8/20
	Sıyırma 4	Betonarme duvar	420x30	-	-	Ø16/15	Ø8/21
	Sıyırma 5	Kolon	90x30	6	2	12Ø16	Ø8/16
	Sıyırma 6	Kolon	90x30	6	4	16Ø16	Ø8/16
	Sıyırma 7	Betonarme duvar	410x30	-	-	Ø14/20	Ø8/20
Zemin Kat	Sıyırma 8	Kolon	90x30	8	4	20Ø16	Ø8/12
	Sıyırma 9	Kiriş Altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/15
	Sıyırma 10	Betonarme duvar	410x30	-	-	Ø12/20	Ø8/20
	Sıyırma 11	Kiriş Altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/15
	Sıyırma 12	Kolon	30x90	6	4	16Ø16	Ø8/12
	Sıyırma 13	Kolon	30x90	8	4	20Ø16	Ø8/14
1. Kat	Sıyırma 14	Kolon	90x30	7	3	16Ø16	Ø8/10
	Sıyırma 15	Kolon	90x30	9	2	18Ø16	Ø8/11
	Sıyırma 16	Betonarme duvar	420x30	-	-	Ø12/20	Ø8/20
	Sıyırma 17	Betonarme duvar	410x30	-	-	Ø12/20	Ø8/20
	Sıyırma 18	Kiriş Altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/10

Çizelge 3.3. Misakı Milli ilkokulunun hasarsız donatı tespit raporu.

Katlar	Yapılan İşlem	Taşıyıcı Elemanlar	Boyutlar (cm)	Donatı Adedi		Boyuna/Asal Donatı	Yatay/Enine Donatı
				Uzun Kenarda	Kısa Kenarda		
Bodrum Kat	Röntgen 1	Kolon	30x90	8	3	18Ø16	Ø8/13
	Röntgen 2	Kolon	30x90	9	2	18Ø16	Ø8/13
	Röntgen 3	Kolon	30x90	6	2	12Ø16	Ø8/12
	Röntgen 4	Kolon	30x90	5	2	10Ø16	Ø8/12
	Röntgen 5	Kolon	30x90	7	3	16Ø16	Ø8/15
	Röntgen 6	Kolon	30x90	8	2	16Ø16	Ø8/12
	Röntgen 7	Kolon	90x30	9	3	20Ø16	Ø8/15
	Röntgen 8	Kolon	30x90	8	3	18Ø16	Ø8/15
	Röntgen 9	Kolon	90x30	9	3	20Ø16	Ø8/15
	Röntgen 10	Kolon	90x30	9	3	20Ø16	Ø8/19
	Röntgen 11	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/27	Ø8/15
	Röntgen 12	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/14	Ø8/16
	Röntgen 13	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/12	Ø8/20
	Röntgen 14	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/19	Ø8/20
Zemin Kat	Röntgen 15	Kolon	30x90	7	2	14Ø16	Ø8/15
	Röntgen 16	Kolon	30x90	8	3	18Ø16	Ø8/13
	Röntgen 17	Kolon	30x90	8	4	20Ø16	Ø8/12
	Röntgen 18	Kolon	30x90	11	3	24Ø16	Ø8/10
	Röntgen 19	Kolon	30x90	11	4	26Ø16	Ø8/11
	Röntgen 20	Kolon	30x90	7	2	14Ø16	Ø8/12
	Röntgen 21	Kolon	90x30	6	3	14Ø16	Ø8/13
	Röntgen 22	Kolon	30x90	9	4	22Ø16	Ø8/13
	Röntgen 23	Kolon	90x30	8	2	16Ø16	Ø8/13
	Röntgen 24	Kolon	90x30	7	3	16Ø16	Ø8/13
	Röntgen 25	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/22	Ø8/19
	Röntgen 26	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/14	Ø8/12
	Röntgen 27	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/23	Ø8/28
	Röntgen 28	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/11	Ø8/18
	Röntgen 29	Kiriş altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/13
1. Kat	Röntgen 30	Kolon	30x90	9	3	20Ø16	Ø8/13
	Röntgen 31	Kolon	30x90	8	2	16Ø16	Ø8/12
	Röntgen 32	Kolon	30x90	8	2	16Ø16	Ø8/15
	Röntgen 33	Kolon	30x90	10	2	20Ø16	Ø8/14
	Röntgen 34	Kolon	30x90	9	2	18Ø16	Ø8/14
	Röntgen 35	Kolon	30x90	11	2	22Ø16	Ø8/16
	Röntgen 36	Kolon	90x30	8	2	16Ø16	Ø8/17
	Röntgen 37	Kolon	30x90	9	2	18Ø16	Ø8/19
	Röntgen 38	Kolon	90x30	9	2	18Ø16	Ø8/21
	Röntgen 39	Kolon	90x30	7	3	16Ø16	Ø8/19
	Röntgen 40	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/14	Ø8/21
	Röntgen 41	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/17	Ø8/22
	Röntgen 42	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/13	Ø8/20
	Röntgen 43	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø16/22	Ø8/14
	Röntgen 44	Kiriş altı	30x100	-	-	3Ø12	Ø8/12



İşin Adı: USA K- MİLLİ İLKOKULU
 Kat/Blok: ZEMİN KAT
 Kolon No: S.1.3
 Talep Sahibi: MA TERTAL GRUP
 Kolon Ebatları: 90x30



- Korozyon Durumu
- (...)Normal ☒ Korozyon Başlangıcı (...)Aşırı Korozyon
 - Düşey Donatı Adedi: (...)20 (...)Düz ☒ Nervürlü
 - Düşey Donatı Çapı: (...)16
 - Etriye Çapı: (...)8 (...)Düz ☒ Nervürlü
 - Etriye Kanca Kıvrılma Açısı: (...)90 (...)135
 - Paspayı: (...)2 cm ☒ 3 cm (...)>3 cm (...)yok
 - a: (...)14 (...)16

Şekil 3.9. Kolonların donatı tespit raporu örneği.

3.1.2. Kalaycılar İlkokulu

Kalaycılar ilkokulunun yapım yılı 2005'tir. Söz konusu okul binasının taşıyıcı sistemi, 3 katlı betonarme duvar ve çerçeve sistemden oluşmaktadır. Buna göre zemin, 1. ve 2. normal kattan oluşan okul binası toplam 1051,02 m²'dir. Kalaycılar ilkokulunun zemin katı 3,55 m, 1. ve 2. normal katı 3,15 m yüksekliğindedir. Kalaycılar ilkokul binasının ön ve arka cephesi görünüşleri Şekil 3.10'da, mimari ve statik röleve çizimleri de sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmektedir.

Kalaycılar ilkokulunun röleve çizimlerinden sonra söz konusu okul binasının taşıyıcı sistemi hakkında bilgi toplamak için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Söz konusu deneylerin yapılması aşamalarındaki görünüşler sırasıyla Şekil 3.13~Şekil 3.17'de verilmektedir. Açılan temel muayene çukurları ışığında söz konusu okul binasının 70 cm yüksekliğinde iki doğrultuda sürekli temel sistemine sahip olduğu görülmüştür. Daha önceden Kalaycılar ilkokulunun her katından 4'er adet karot örneği alınmıştır (bkz. Çizelge 3.4). Yapılan hesaplar sonucunda mevcut beton basınç dayanımı değerleri; zemin katta C18, 1.katta C13 ve 2.katta C12 olarak elde edilmiştir.

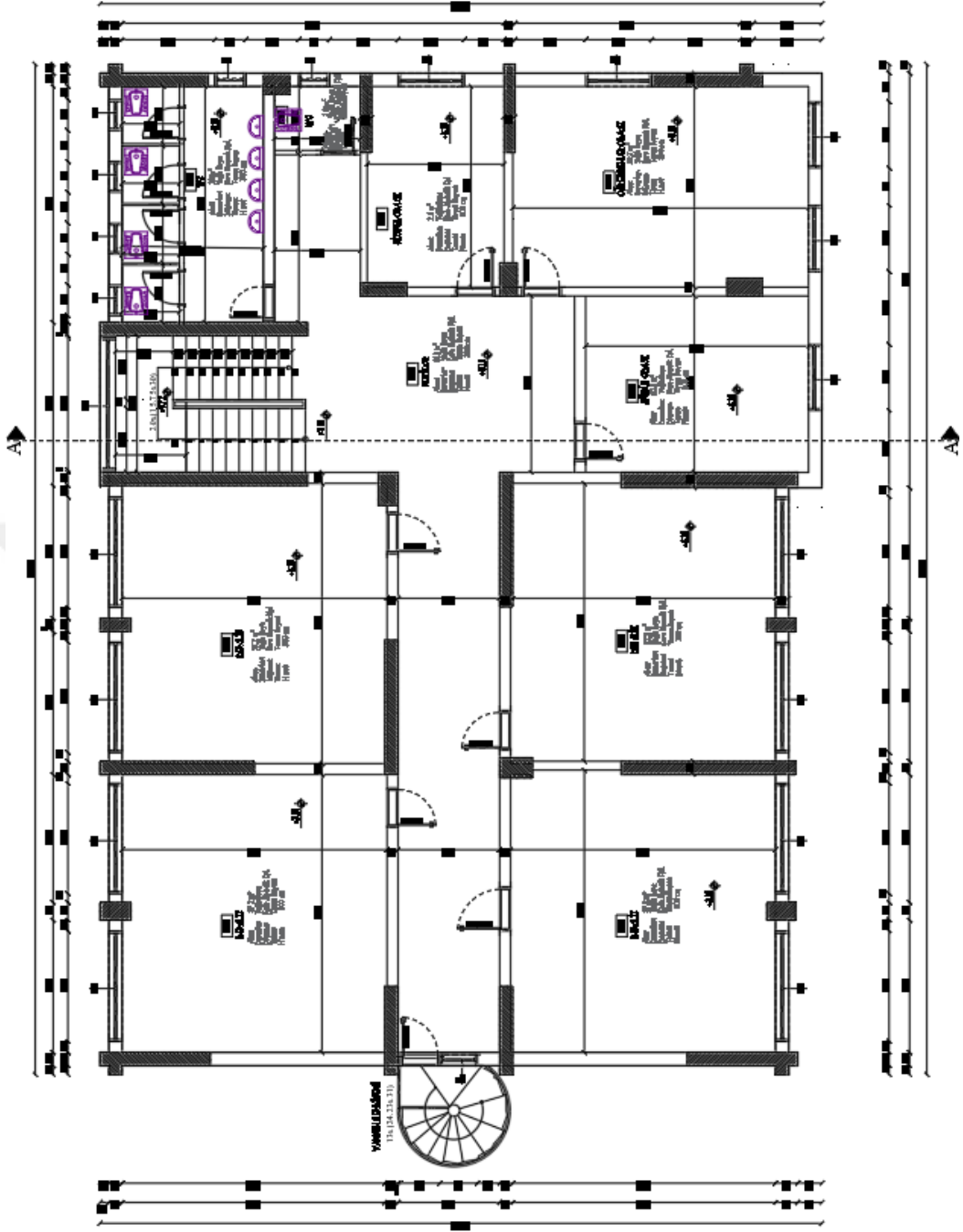


c) Ön cephe

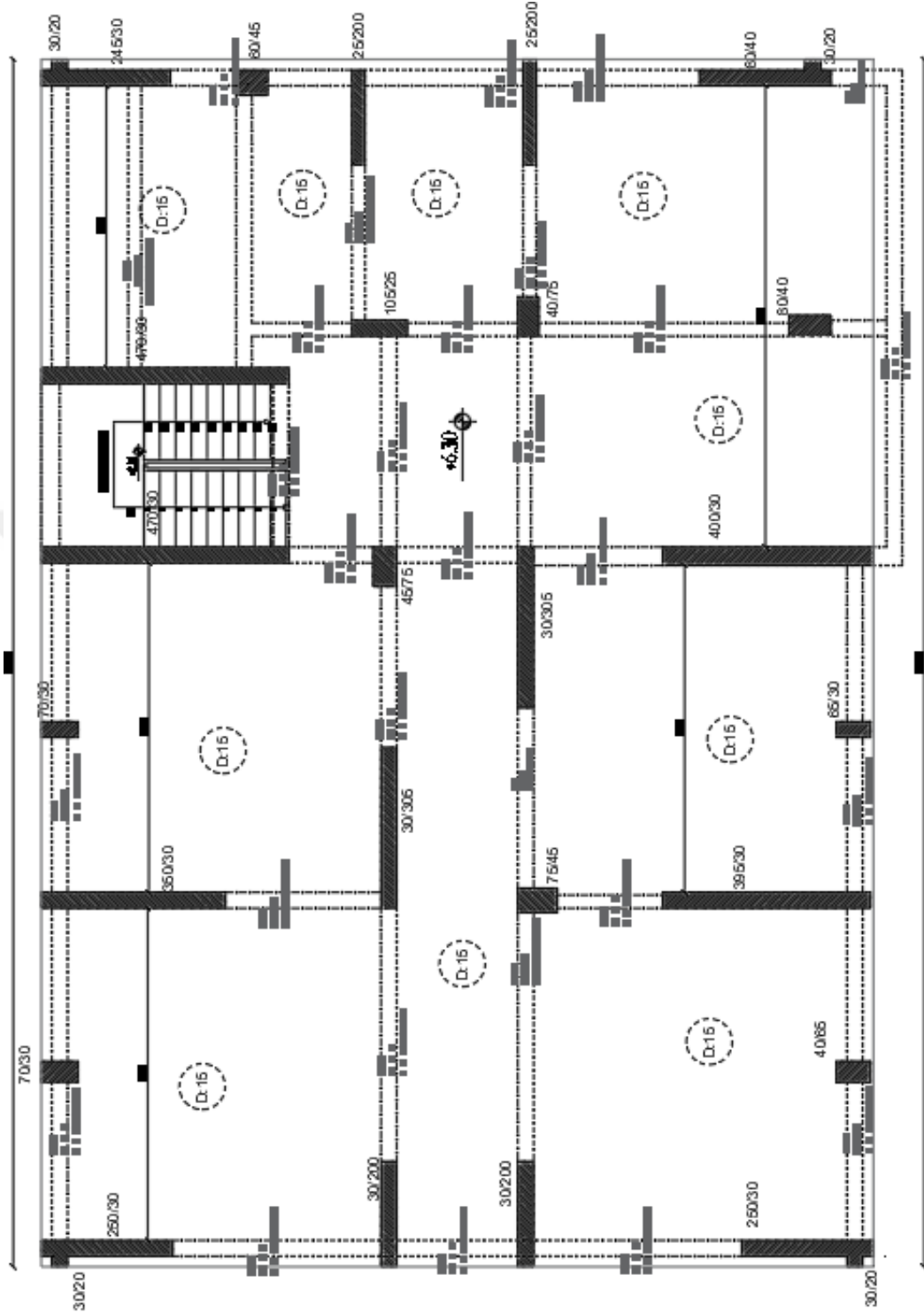


d) Arka cephe

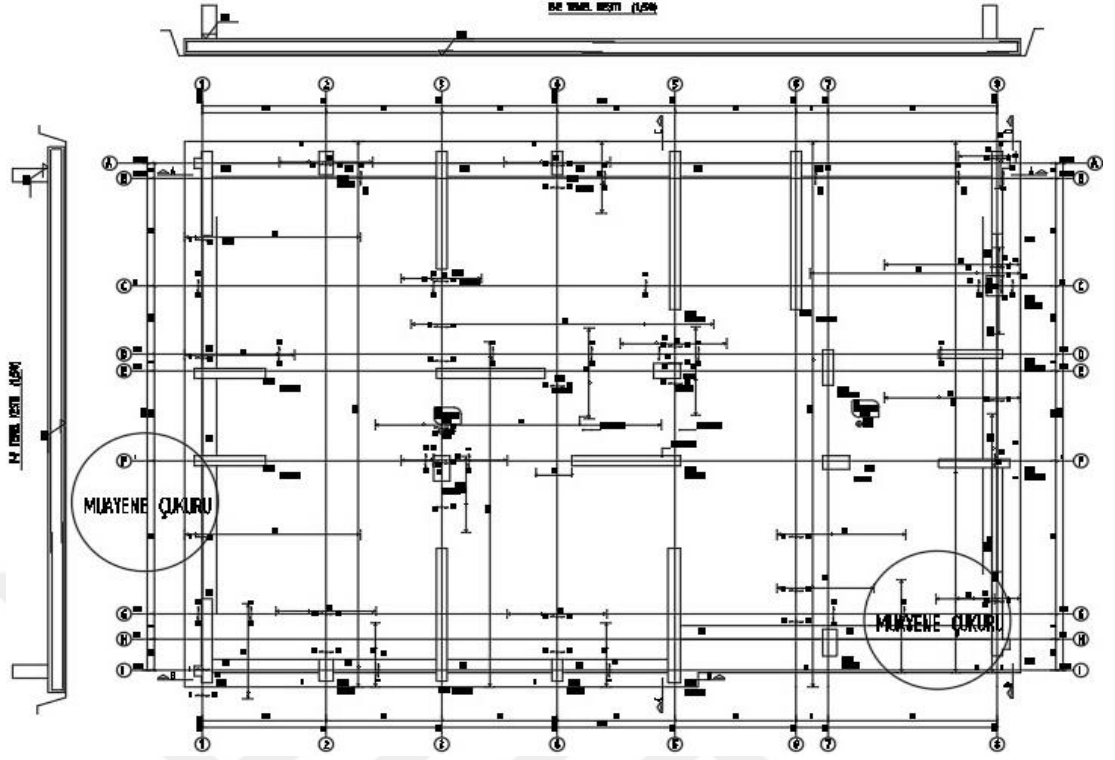
Şekil 3.10. Kalaycılar ilkokulu binasının ön ve arka cephelerinden görünümeler.



Şekil 3.11. Kalaylılar ilkokulu mimari rölevesi.



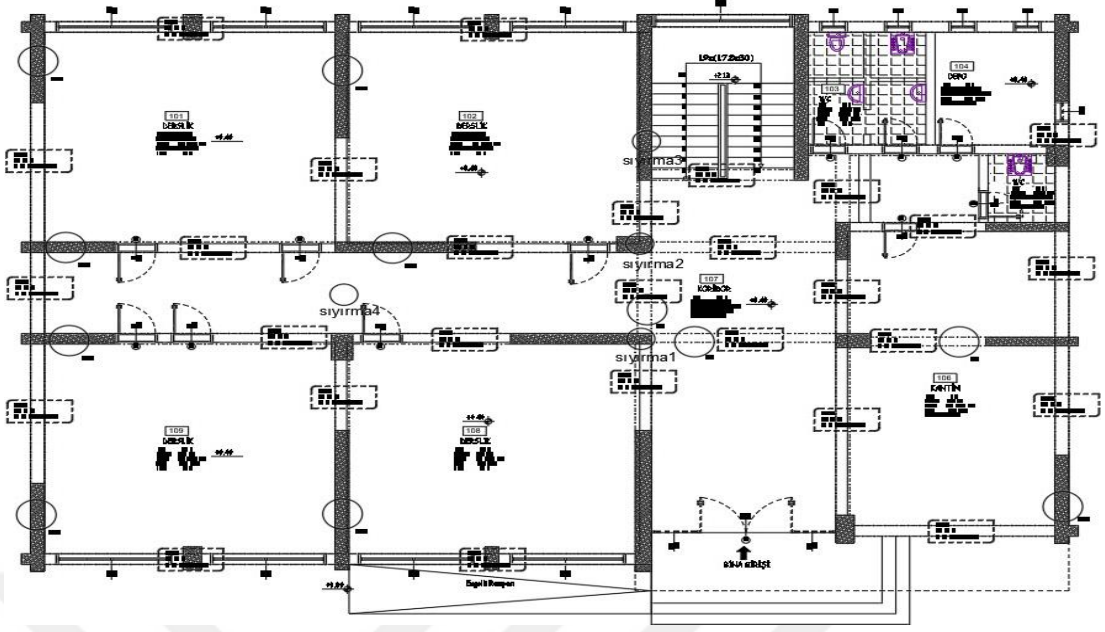
Şekil 3.12. Kalaycılar ilkokulu Statik Rôlevesi.



Şekil 3.13. Kalaycılar ilkokulunda temel muayene çukurunun açıldığı akslar.



Şekil 3.14. Kalaycılar ilkokulunda temel muayene çukuru açılmasından görüntüler.



Şekil 3.15. Kalaycılar ilkokulunda laboratuvar deneyi yapılan yapısal elemanlar ve yerlerinin gösterimi.



Zemin kat SZ13 kolonu

Zemin kat SZ16 kolonu

Şekil 3.16. Kalaycılar ilkokulunun bazı kolonlarında uygulanan siyırma işleminden görüntüler.



Şekil 3.17. Kalaycılar ilkokulunun bazı betonarme duvar ve kirişlerinde uygulanan sıyırma işleminden görünümeler.

Çizelge 3.4. Kalaycılar ilkokulunun mevcut karot sonuçları.

Karot Numunesi Alınan Kat	Karot Numuneleri	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Zemin Kat	1	15,89
	2	20,88
	3	22,37
	4	20,90
1. Kat	1	10,03
	2	15,96
	3	20,69
	4	11,77
2.Kat	1	19,39
	2	12,32
	3	13,71
	4	14,11

Sıyırma ve röntgen işlemleri TBDY’de belirtilen koşullar doğrultusunda yapılmıştır. Kalaycılar ilkokulunun statik rölevesi dikkate alındığında 14 adet betonarme duvar ve 10 adet kolonunun bulunduğu görülmektedir. Söz konusu yönetmelik koşulları

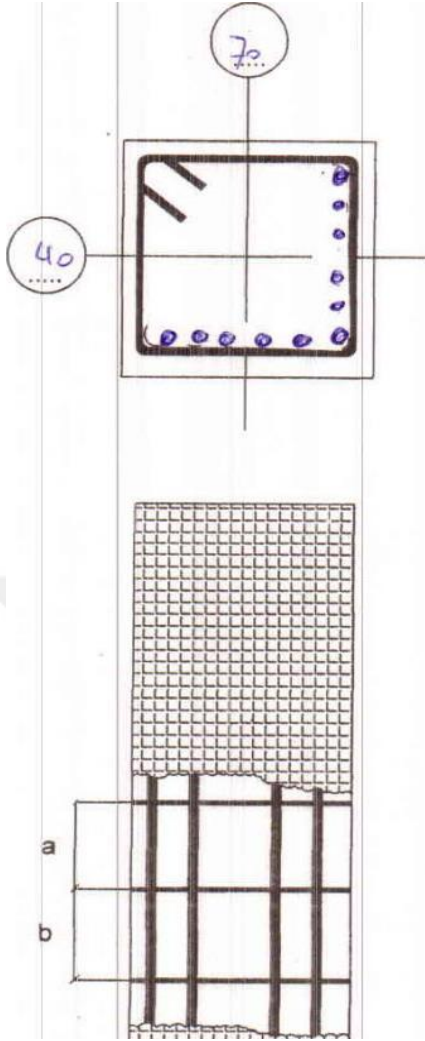
esas alınarak kapsamlı bilgi düzeyine göre, betonarme uygulama projesi olmayan durumlarda, kolonlar ve betonarme duvarlarda minimum 2 adet olmak üzere %10'unda sıyırma işlemi yapılması gerekmektedir. Burada donatı aralıkları ve çapları hakkında daha detaylı bilgi edinmek amacıyla bu sayıların arttırılabileceğini belirtmek uygun olacaktır. Buna göre söz konusu okul binasında yapılan sıyırma ve röntgen (hasarsız donatı tespiti) işlemleri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmektedir. Ayrıca kolonlarda yapılan sıyırma işlemleriyle hazırlanan donatı tespit raporu da Şekil 3.18'de görülmektedir. Daha sonra yapılan bu laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen mevcut malzeme değerleri dikkate alınarak Kalaycılar İlkokulunun performans analizi Sta4cad programıyla yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Kalaycılar ilkokulu hasarlı donatı tespit raporu.

Katlar	Yapılan İşlem	Taşıyıcı Elemanlar	Boyutlar (cm)	Donatı Adedi		Boyuna/Asal Donatı	Yatay/Enine Donatı
				Uzun Kenarda	Kısa Kenarda		
Zemin Kat	Sıyırma 1	Betonarme duvar	305x30	-	-	Ø14/14	Ø14/11
	Sıyırma 2	Kolon	70x40	6	6	20Ø16	Ø8/10
	Sıyırma 3	Betonarme duvar	30x470	-	-	Ø12/20	Ø8/18
	Sıyırma 4	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø16	Ø8/20
	Sıyırma 4	Kiriş alını	60x100	-	-	2Ø16	Ø8/20
1. Kat	Sıyırma 5	Betonarme duvar	70x70	-	-	Ø16/14	Ø8/10
	Sıyırma 6	Kolon	75x45	6	6	20Ø16	Ø8/6
	Sıyırma 7	Kiriş altı	25x100	-	-	2Ø16+2Ø12	Ø8/11
2. Kat	Sıyırma 8	Betonarme duvar	50x50	-	-	Ø14/13	Ø8/9
	Sıyırma 9	Kolon	70x40	6	6	20Ø14	Ø8/8
	Sıyırma 10	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø14	Ø8/11

Çizelge 3.6. Kalaycılar ilkokulunun hasarsız donatı tespit raporu.

Katlar	Yapılan İşlem	Taşıyıcı Elemanlar	Boyutlar (cm)	Donatı Adedi		Boyuna/Asal Donatı	Yatay/Enine Donatı
				Uzun Kenarda	Kısa Kenarda		
Zemin Kat	Röntgen 1	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/18	Ø8/14
	Röntgen 2	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/11	Ø8/11
	Röntgen 3	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/17	Ø8/10
	Röntgen 4	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/17	Ø8/19
	Röntgen 5	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/13	Ø8/10
	Röntgen 6	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/17	Ø8/20
	Röntgen 7	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/15	Ø8/13
	Röntgen 8	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/18	Ø8/20
	Röntgen 9	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø16	Ø8/22
	Röntgen 10	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø16	Ø8/24
	Röntgen 11	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø16	Ø8/24
1. Kat	Röntgen 15	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/14	Ø8/10
	Röntgen 16	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/21	Ø8/20
	Röntgen 17	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/12	Ø8/11
	Röntgen 18	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/20	Ø8/17
	Röntgen 19	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/21	Ø8/20
	Röntgen 20	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/13	Ø8/12
	Röntgen 21	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/17	Ø8/16
	Röntgen 22	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/16	Ø8/17
	Röntgen 23	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø14	Ø8/23
	Röntgen 24	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø14	Ø8/22
	Röntgen 25	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø14	Ø8/24
2. Kat	Röntgen 30	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/15	Ø8/20
	Röntgen 31	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/16	Ø8/16
	Röntgen 32	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/16	Ø8/20
	Röntgen 33	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/22	Ø8/16
	Röntgen 34	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/11	Ø8/20
	Röntgen 35	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/17	Ø8/15
	Röntgen 36	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/14	Ø8/10
	Röntgen 37	Betonarme duvar	100x100	-	-	Ø14/15	Ø8/20
	Röntgen 38	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø14	Ø8/24
	Röntgen 39	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø14	Ø8/28
	Röntgen 40	Kiriş altı	25x100	-	-	4Ø14	Ø8/24



İşin Adı: KALAYCIAR ORTAOKULU
Kat / Blok: ZEMİN KAT
Kolon No: SİYİRMA 2
Talep Sahibi: MATERYAL GRUP
Kolon Ebatları: 70x40

Korozyon Durumu:

☒ Normal ☐ Korozyon Başlangıcı ☐ Aşırı Korozyon

Düşey Donatı Adedi: 20 ☐ Düz ☒ Nervürlü

Düşey Donatı Çapı: ($\phi 16$)

Etriye Çapı: ($\phi 8$) ☐ Düz ☒ Nervürlü

a: (10) b: (10)

Etriye Kanca Kıvrılma Açısı: ☒ 90 ☐ 135

Paspayı: ☐ 2 cm ☒ 3 cm ☐ >3cm () ☐ yok

Şekil 3.18. Kalaycılar İlkokulu kolonlarının donatı tespit raporu örneği.

BÖLÜM 4

YAPISAL ÇÖZÜMLEMELER VE ELDE EDİLEN BULGULARIN TARTIŞILMASI

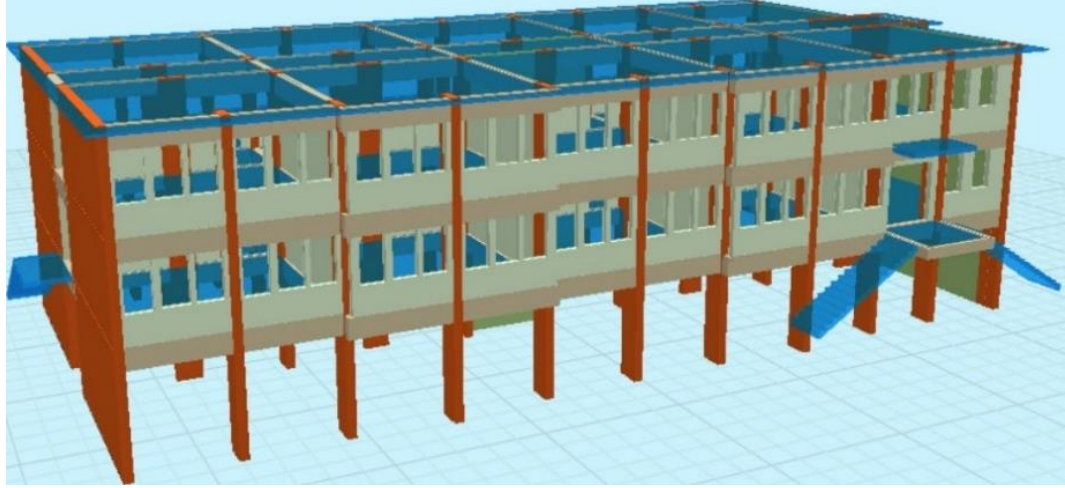
Bu tez çalışmasında dikkate alınan okul binalarının performans analizlerinde aşağıdaki adımlar uygulanmış ve elde edilen bulgular tartışılmıştır.

4.1. MİSAKİ MİLLİ İLKOKULUNUN YAPISAL ÇÖZÜMLEMELERİ

4.1.1. Misakı Milli İlkokulunun Depremsiz Yapısal Çözümlemesi

Röleve çalışmaları tamamlanan Misakı Milli İlkokulunun Sta4-Cad programı yardımıyla üç boyutlu modeli hazırlanmıştır (bkz. Şekil 4.1). Söz konusu okul binasının performans analizinde yapılan laboratuvar çalışmalarından elde edilen bilgiler dikkate alınmaktadır. Ancak sıyırma ve röntgen işlemleri binaların taşıyıcı sistemleri hakkında bir bilgi verse de betonarme projesi olmayan binalar için tam anlamıyla yeterli bilgiye sahip olunamamaktadır. Örneğin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ve döşemelerde mevcut donatılar tespit edilememektedir. Bu nedenle Misakı Milli İlkokulunun performans analizi yapılmadan önce yapım yılı da dikkate alınarak *depremsiz analizi* yapılmıştır.

Misakı Milli ilkokulunun yapım yılı 2002 olduğu için ABYYHY seçilerek depremsiz yapısal çözümlemesi yapılmaktadır. Sta4-Cad programıyla depremsiz durum yapısal çözümleme aşamaları Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Misakı Milli ilkökulu mevcut durumunun 3 boyutlu modeli.

TUM OPSİYONLARI DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE DÜZENLEME

1997 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ 1

GENEL DEPREM OPSİYONLARI **DEPREM ANALİZİ** **TASARIM OPSİYONLARI** **LİNEER KAPASİTE KONTROLÜ**

DEPREM SPECTRUM OPSİYONU

☐ DEPREM TASARIM İVME SPECTRUMU

☐ DEPREM TASARIM HIZ SPECTRUMU

☒ SPECTRUM KUTUPHANESİ

1997, 2007 TDY SPECTRUM EGRİSİ

DUVAR DERZ OPSİYONU

☐ DERSİZ DUVAR

☒ DERZLİ DUVAR

MODAL ANALİZ OPSİYONLARI

Modal analiz deprem kuvvetlerinin minimum esdeğer deprem kuvvetine oranı β 0.9

Modal analiz minimum etkin kütte oranı $<0.9>$ 0.9

Modal analiz CQC Sonum yüzdesi $<0.05>$ 0.05

1975 Deprem Yönetmeliğinde kullanılacak duktilité faktör $<5>$ 5

Deprem minimum eksantrisitesini $<0.05>$ 0.05

Deprem spektrum uzun periyoda geçiş periyodu $<6>$ 6

Modal analiz kuvvetlerinin mod katları: %5 sonumlu CQC (Combination Quadratic Complete) ile bulunmaktadır.

TIME HISTORY OPSİYONLARI

Newmark -Gamma 0.5 Hilber Hughes Taylor-Alpha 0.0

Newmark -Beta 0.25 İntegrasyon zaman aralığı 0.01

Eleman tasarımında minimum Time History/Modal analiz oranı 0.8

☒ Perde taban momentine, perdeye bağlı kiris kesme etkilerinin katilimi

KOLON BETONARME OPSİYONLARI

Sayfa 1 Sayfa 2 Sayfa 3 Sayfa 4

D >= 7 x B (Perde) **D < 7 x B (Kolon)**

2

Kolon opsiyonları

Paspayı 4 cm

Kolon minimum çekme bölgesi pirsantajı 0.001 %

Kolon minimum boyuna kesit pirsantajı 0.005 %

Kolon maksimum boyuna kesit pirsantajı 0.04 %

Minimum etriye aralığı 10 cm

Maksimum etriye aralığı (1) 40 cm

Maksimum etriye aralığı min. $\emptyset$ x <12> $\emptyset$ 20 cm

Maksimum ciroz aralığı min. $\emptyset$ x <25> $\emptyset$ 40 cm

Minimum donatı capı $\emptyset$ 14 cm

Minimum etriye capı $\emptyset$ 8 cm

Minimum perde kolon oranı D/B <6> 7

Perde minimum etriye capı $\emptyset$ 8 cm

Perde max. yatay donatı aralığı <25> 25 cm

Perde max. dusey donatı aralığı <25> 25 cm

STA4-CAD PROJE OPSİYONLARI

ANALİZ **İNDİS** **RUZGAR / İSİ** **SPECTRUM** **Time History**

RUZGAR KATSAYILARI

RUZGAR BASINC KATSAYISI 0.8

RUZGAR ÇEKME KATSAYISI 0.4

STANDART RUZGAR YUKU

1. YÜKSEKLİK ve RUZGAR YUKU

2. YÜKSEKLİK ve RUZGAR YUKU

3. YÜKSEKLİK ve RUZGAR YUKU

4. YÜKSEKLİK ve RUZGAR YUKU

İSİ FARKI

GENLESME İSİ FARKI $\pm$ °C 0

$\Delta T = T_2 - T_1$

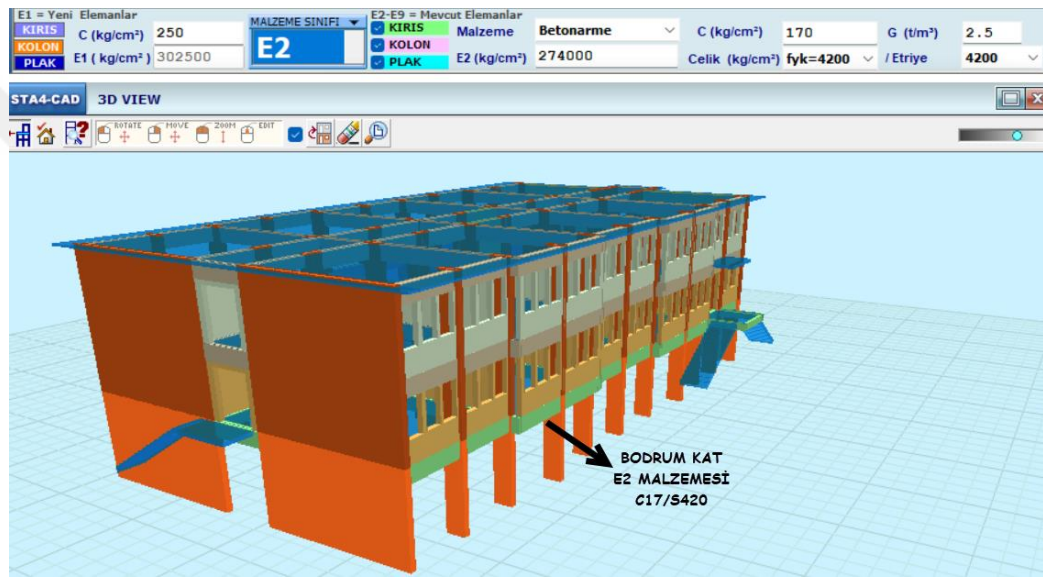
3

Kat	ΔT °C	T_i °C
1	0	0
2	0	0
3	0	0

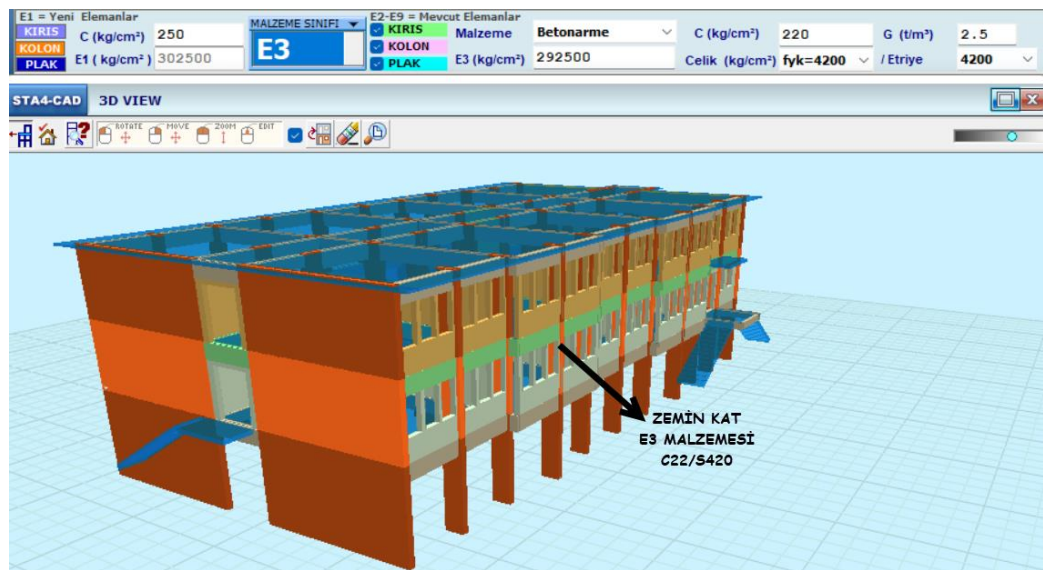
Şekil 4.2. Misakı Milli ilkökulu Sta4-Cad programıyla depremsiz durum yapısal çözümleme aşamaları.

Burada performans analizi yapılırken söz konusu binanın temelinin performans etkisi olmadığını belirtmek uygun olacaktır. Ancak güçlendirme projesi hazırlanması durumunda, bina temeli de modellenerek güçlendirilmiş binanın temele olan

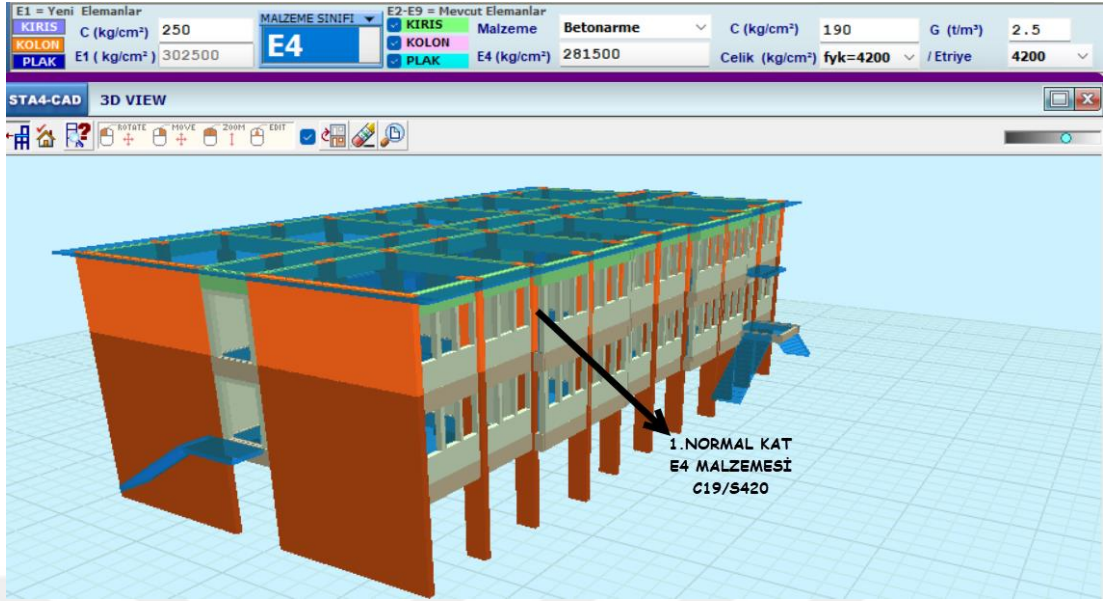
etkisinin dikkate alınması gerekmektedir. Böylece oluşan kesit tesirlerine göre okul binasının temeli de güçlendirmelidir. Ayrıca bodrum kat duvarlarının modellenmemesinin nedeni ise, okul binası temelinin performans analizine dahil edilmemesidir. Depremsiz durum için tüm binanın yeni malzemeye (E1) ve mevcut malzemenin (E2-E9) sınıflarına göre yapısal çözümlemesi yapılarak buna göre donatı ataması yapılabilmektedir. Bu çalışmada mevcut taşıyıcı sistem elemanlarına E2-E9 malzeme bilgileri girilip yapısal çözümleme yapılması tercih edilmiştir (bkz. Şekil 4.3~Şekil 4.5).



Şekil 4.3. Misakı Milli ilkokulunun bodrum katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi.



Şekil 4.4. Misakı Milli ilkokulunun zemin katında E3 malzeme sınıfı bilgi girişi.



Şekil 4.5. Misakı Milli ilkokulunun 1. katında E4 malzeme sınıfı bilgi girişi.

Misakı Milli ilkokulunun taşıyıcı elemanlarına E2-E9 malzeme sınıfı atamaları yapıldıktan sonra performans projesi opsiyonları kontrol edilmesi gerekmektedir. Çünkü sadece düşey yüklere göre lineer analiz yapılacağı için **Yapı Performansı Projesi** kısmı seçili olmamalıdır. Yapısal çözümlemenin bu aşamaları Şekil 4.6'da verilmektedir.

STA4-CAD PERFORMANS PROJESİ OPSİYONLARI

☐ YAPI PERFORMANSI PROJESİ **4**

PERFORMANS OPSİYONU : YAPI PERFORMANSI OPSİYONLARI

E1-YENİ, E2-E9: MEVCUT DONATILARA GÖRE YAPININ PERFORMANSI

YAPI PERFORMANSI OPSİYONLARI RİSKLİ BİNALARIN TEŞBİT OPSİYONLARI

YAPI PERFORMANSI KONTROLÜ GENEL OPSİYONLARI

BİNA BİLGİ DÜZEYİ KATSAYISI 1.0

Donatı kenetlenme boyu, kapasite carpanı 0.85

Kiriş düşey yük moment carpanı 0.85

Kiriş $M_g + C_q \times M_q$ $C_q = 0.6$

Kiriş donatı gerileşme oranı % 85

☐ Kolon uçlarında kuşatılmış kolon kontrolü

☐ Çatlamış kesite göre analiz

☐ Ölü yük inşaat aşamaları analizi

☐ Panel uç kolonları döşeme serbestliği

PERDE VE KOLON DETAY OPSİYONLARI

PERDE OPSİYONLARI

BASLIK BOĞESİ KENDİ İÇİNDE OLAN PERDELER

☒ BASLIK PERDELLİ KİRİŞLERE RÖT İLE BAĞLANTILI

☐ KİRİŞLERİN KÖKLERİYLE PERDE TESKİLİ

PANEL ELEMAN OPSİYONLARI

BASLIK BOĞESİ MEVCUT KOLONLARI FAYDALANILARAK PANEL ELEMANLA OLUŞTURULAN PERDELER

☒ KİRİŞLERE RÖT İLE BAĞLANTILI

☐ KİRİŞLERİN KÖKLERİYLE PERDE TESKİLİ

MEVCUT KOLONLARIN ÖZELLİKLERİ

KOLON min. BOYUNA DONATI ORANI 0.01

KOLON DONATI GERÇEKLEŞME ORANI % 85

PERDE DONATI GERÇEKLEŞME ORANI % 85

STATİVE GEREKLİ KESİTE göre betonarme hesap

KOLON BURKULMASINDA sadece E1 göre hesap

Emnye kancalarının 90° kapatılması, Rosh %30 açılması

(E2-E9) MEVCUT YAPI TASARIM STANDARTI

☒ TBDF2018-TDY2007-TDY1997,TS500 (2000)

☐ TDY1975,TS500 (1984)

☐ AC318

YAPI GENEL BİLGİLERİ

Yapı Proje İsmi **MISAKI MİLLİ DEPREMSİZ**

Kat Sayısı 3

Deprem Bölge Katsayısı **Ao 0**

Deprem Yapı Davranış Katsayısı **Rx/Ry 4**

Deprem Yapı Önem Katsayısı **I 1.5**

Spektrum Karakteristik Periyodu **Ta/Tb 0.2 / 0.9**

Hareketli Yük Katsayısı **n 0.6**

Deprem Yüğü Alt Yüksekliği **Hx/Hy (m) 0**

Zemin Yatak Katsayısı **Ko (t/m³) 1071**

Zemin Emniyet Gerilmesi **Gz (t/m²) 26.79**

Hareketli Yük Azaltma Katsayısı **Cz 1**

Deprem Yüğü Eksantrisitesi **0.05**

Modal Analiz Min. Yük Oranı **β 0.9**

Üst Kat no (TDY için) **3**

Aplikasyon Kot Farkı **(m) -1.4**

Zemin gerilmesi deprem artırım oranı **0.5**

UserKey

kat sayısı

deprem alt kotu

BAP

Fdt

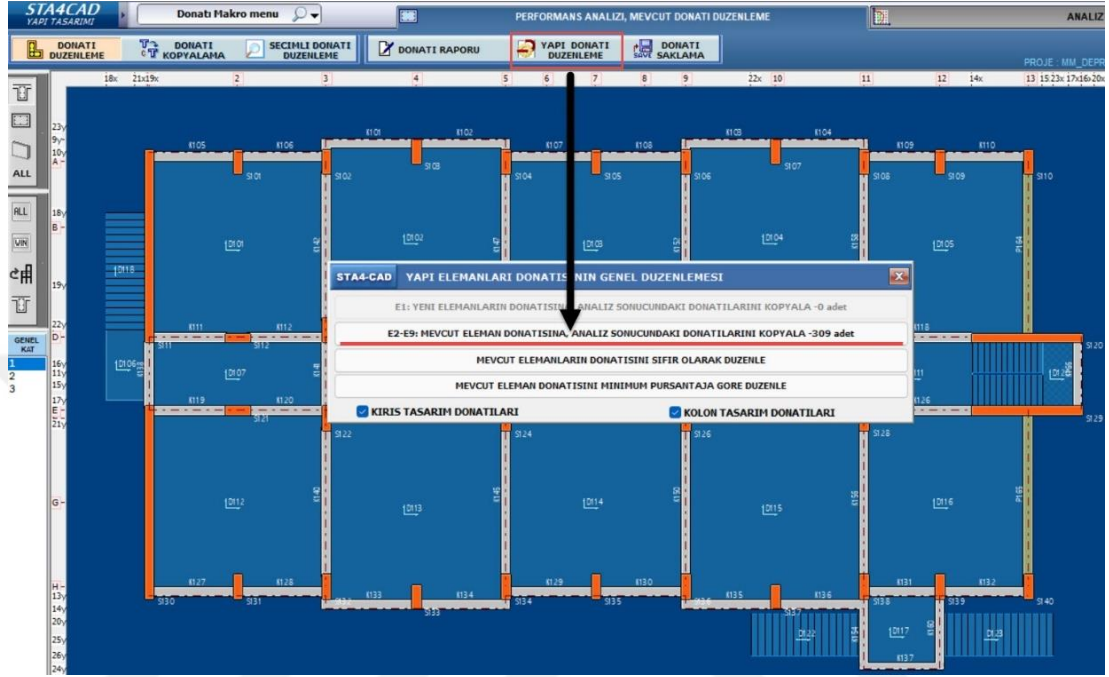
0.0

0.5

ENİ YAPI PROJESİ DEPREM STANDARDI: TDY97 TASARIM STANDARDI: TS500t

Şekil 4.6. Depremsiz durum için Misakı Milli ilkokulunun yapısal çözümlemesinde Sta4-Cad programında proje bilgilerinin girişi.

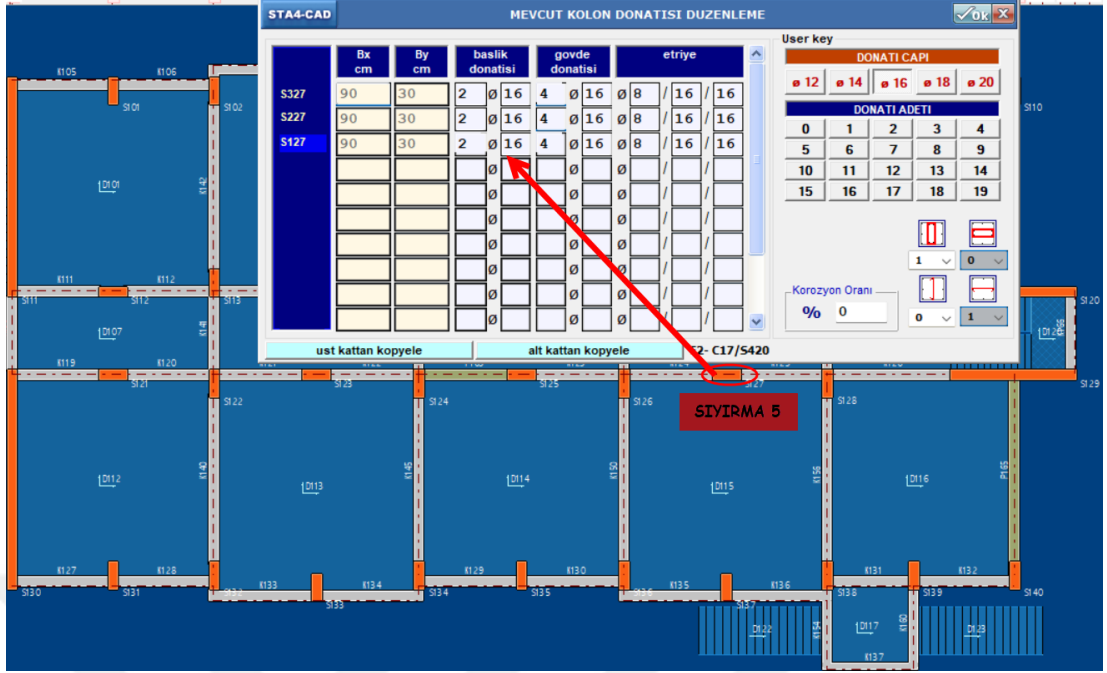
Misakı Milli ilkokulunun depremsiz durum için yapısal çözümlemesi gerçekleştirildikten sonra *Nonlinear Analiz*, *Kiriş-Kolon Donatı Düzenleme* kısmından donatı bilgileri girilerek düzenlemesi yapılmaktadır (bkz. Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Misakı Milli ilkokulunun depremsiz durum için gerçekleştirilen yapısal çözümlemesinden sonra donatı düzenlemesi.

Yapı donatı düzenleme sekmesinden *E2-E9 Mevcut Eleman Donatısına, Analiz Sonucundaki Donatıları Kopyala* ile depremsiz yapısal çözümleme sonucunda hesaplanan donatılar atanmaktadır (bkz. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9). Bu şekilde söz konusu binası düşey yüklere göre emniyetli hale getirilmiş olmaktadır.

Bu işlemler ile şekillerde görüldüğü gibi yapılan hasarlı ve/veya hasarsız laboratuvar çalışmaları dikkate alınarak donatı tespit raporlarına göre donatı bilgileri girilerek Misakı Milli ilkokulu performans analizine hazır duruma getirilmiştir.



Şekil 4.8. Sıyırma işlemi bilgilerinin yapısal elemanlara girilmesi.



Şekil 4.9. Röntgen işlemi bilgilerinin yapısal elemanlara girilmesi.

4.1.2. Misakı Milli İlkokulunun DBYBHY'e Göre Performans Analizi

Bu tez kapsamında depremsiz yapısal çözümlemesi yapılan ve donatı bilgileri girilen Misakı Milli ilkokulunun performans analizi önce DBYBHY'e, daha sonra TBDY'e

tasarım koşullarına göre yapılmaktadır. DBYBHY'e göre Çizelge 2.10'da verilen farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri dikkate alınarak iki ayrı performans analizi yapılacaktır. Buna göre ilk performans analizi 50 yılda aşılma olasılığı %2 (CG) olan deprem etkisi için yapılmaktadır. Söz konusu okul binasının performans analizi için projesi opsiyonları Şekil 4.10'da verilmektedir. Bu tez çalışmasında kapsamlı bilgi düzeyine karar verildiği için bilgi düzeyi katsayısı 1 olarak alınmıştır. Ayrıca donatı kenetlenme boyu, kapasite çarpanı ve kiriş düşey yük moment çarpanı 0,85 olarak dikkate alınmaktadır. Diğer taraftan kolon, kiriş ve betonarme duvarların donatı gerçekleşme oranları %85 alınarak daha güvenli bölgede kalması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen ilk performans analizinde CG deprem etkisi için hedeflenen performans seviyesinin sağlanamadığı görülmektedir (bkz. Şekil 4.11).

YAPI GENEL BİLGİLERİ

Yapı Proje İsmi	MISAKI MİLLİ CG	
Kat Sayısı	3	
Deprem Bölge Katsayısı	Ao	0.4
Deprem Yapı Davranış Katsayısı	Rx/Ry	4
Deprem Yapı Önem Katsayısı	I	1.5
Spektrum Karakteristik Periyodu	Ta/Tb	0.2/0.9
Hareketli Yük Katsayısı	n	0.6
Deprem Yüklü Alt Yüksekliliği	Hx/Hy (m)	0
Zemin Yatak Katsayısı		
Zemin Emniyet Gerilmesi		
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	Cz	1
Deprem Yüklü Eksantrisitesi		0
Modal Analiz Min. Yük Oranı	B	0.9
Üst Kat no (TDY için)		3
Aplikasyon Kot Farkı	(m)	-1.4
Zemin gerilmesi deprem artırım oranı		0.5

YAPI PERFORMANSI PROJESİ OPSİYONLARI

E1:YENİ, E2-E9: MEVCUT DONATILARA GÖRE YAPININ PERFORMANSI

YAPI PERFORMANSI KONTROLÜ GENEL OPSİYONLARI

BİNA BİLGİ DÜZEYİ KATSAYISI

Donatı kenetlenme boyu, kapasite çarpanı: 0.85

Kiriş düşey yük moment çarpanı: 0.85

Kiriş: $M_g + C_q \times M_q$ $C_q = 0.6$

Kiriş donatı gerçekleşme oranı: 85

PERDE VE KOLON DETAY OPSİYONLARI

PERDE OPSİYONLARI

BASLIK BÖLGESİ KENDİ İÇİNDE OLAN PERDELER

☒ BASLIK PERDELER KIRILIRLARA ROT İLE BAĞLANTILI

☐ BASLIK PERDELER KIRILIRLARA KIRILIRLARA PERDE TESKİLİ

PANEL ELEMAN OPSİYONLARI

BASLIK BÖLGESİ MEVCUT KOLONLARDAN FAYDOLANILARAK PİVOT BİRLEŞİMİ OLUSTURULAN PERDELER

☒ KIRILIRLARA ROT İLE BAĞLANTILI

☐ KIRILIRLARA KIRILIRLARA PERDE TESKİLİ

MEVCUT KOLONLARIN ÖZELLİKLERİ

KOLON min. BOYLUNA DONATI ORANI: 0.005

KOLON DONATI GERÇEKLEŞME ORANI: 85

PERDE DONATI GERÇEKLEŞME ORANI: 85

STATİKTE GEREKLİ KESİTE göre betonarme hesap

KOLON BURKULMASINDA sadece E1 göre hesap

Eriye kancalarını 90° kapatılması: Rosh %30 azaltma

MANTO DÜZEYİ YÜK OPSİYONLARI

☒ KOLON AKTİF, MANTO PASİF

☐ KOLON AKTİF, MANTO AKTİF

☐ KOLON PASİF, MANTO AKTİF

☒ KOLON-MANTO KAPASİTE KONTROLÜ

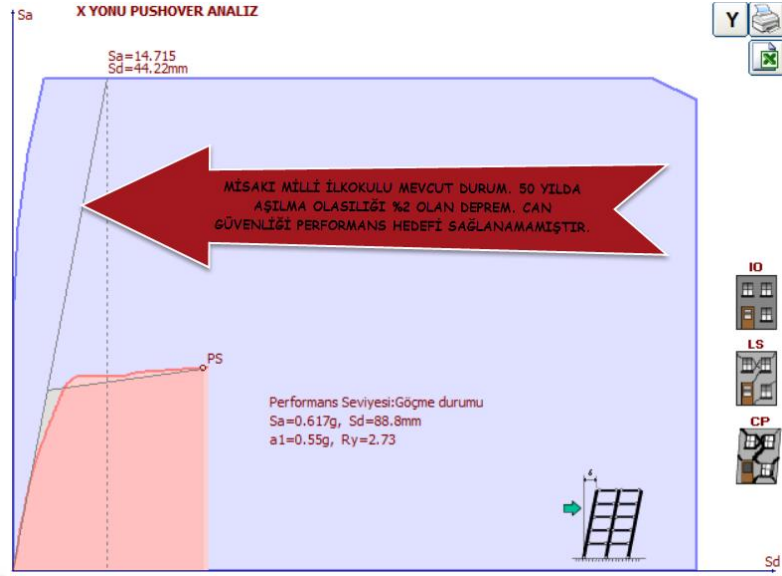
(E2-E9) MEVCUT YAPI TASARIM STANDARTLARI

☒ TB072018-TD072007-TD1997-TS300 (2000)

☐ TD1975-TS300 (1984)

☐ ACI318

Şekil 4.10. DBYBHY'e göre Misakı Milli ilkokulunun CG deprem etkisi için yapısal çözümleme proje parametreleri.



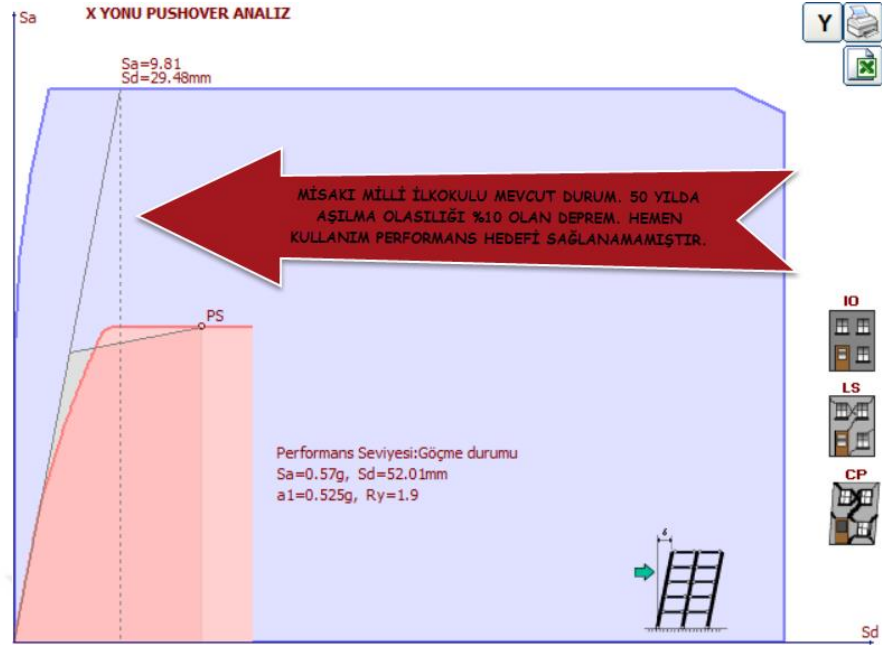
Şekil 4.11. Misakı Milli ilkokulunun CG performans durumu.

DBYBHY'göre yapılması gereken diğer bir performans analiz de 50 yılda aşılma olasılığı %10 (HK) olan deprem etkisidir. Söz konusu yönetmeliğe göre bu performans analizinde *HK* performans seviyesinin sağlanması gerekmektedir. Misakı Milli ilkokulunun HK performans analizi için projesi opsiyonları Şekil 4.12'da verilmektedir. Gerçekleştirilen performans analizi sonucunda hedeflenen HK performans seviyesinin sağlanamadığı görülmüştür (bkz. Şekil 4.13). Dolayısıyla Misakı Milli İlkokulu için güçlendirme projesi hazırlanması gerekmektedir.

YAPI GENEL BİLGİLERİ	
Yapı Proje İsmi	MISAKI MİLLİ HK
Kat Sayısı	3
Deprem Bölge Katsayısı	Ao 0.4
Deprem Yapı Davranış Katsayısı	Rx/Ry 4
Deprem Yapı Önem Katsayısı	I 1
Spektrum Karakteristik Periyodu	Ta/Tb 0.2/0.9
Hareketli Yük Katsayısı	
Deprem Yükü Alt Yükse	
Zemin Yatak Katsayısı	
Zemin Emniyet Gerilmesi	Gz (t/m²) 26.79
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	Cz 1
Deprem Yükü Eksantrisitesi	0
Modal Analiz Min. Yük Oranı	B 0.9
Üst Kat no (TDY için)	3
Aplikasyon Kot Farkı	(m) -1.4
Zemin gerilmesi deprem artırım oranı	0.5

YAPI PERFORMANSI OPSİYONLARI	
YAPI PERFORMANSI PROJESİ	
E3/YENİ E2-E9: MEVCUT DONATILARA GÖRE YAPININ PERFORMANSI	
YAPI PERFORMANSI OPSİYONLARI	
RİSKLİ BİNALARIN TESBİT OPSİYONLARI	
YAPI PERFORMANSI KONTROLÜ GENEL OPSİYONLARI	
BİNA BİLGİ DÜZEYİ KATSAYISI	1.0
Donatı kenetlenme boyu, kapasite carpanı	0.85
Kiriş düzey yük moment carpanı	0.85
Kiriş Mg = Cq x Mq	0.6
Kiriş donatı geriletirme oranı	85
PERDE VE KOLON DETAY OPSİYONLARI	
PERDE OPSİYONLARI	PANEL BİLEMAN OPSİYONLARI
BASLIK BÖLGESİ KENDİ İÇİNDE OLAN PERDELER	BASLIK BÖLGESİ MEVCUT KOLONLARDAN FAYDALANILARAK PANEL BİLEMANLA OLUŞTURULAN PERDELER
BASLIK PERDELER: KIRISLERE ROT İle BAĞLANTILI	BASLIK PERDELER: KIRISLERİN KIRILARAK PERDE TESKİLİ
BASLIK PERDELER: KIRISLERE ROT İle BAĞLANTILI	BASLIK PERDELER: KIRISLERİN KIRILARAK PERDE TESKİLİ
MEVCUT KOLONLARIN ÖZELLİKLERİ	MANTO DÜZEYİ YÜK OPSİYONLARI
KOLON min. BOYLUNA DONATI ORANI	KOLON AKTİF, MANTO PASİF
KOLON DONATI GERÇEKLEŞME ORANI %	KOLON AKTİF, MANTO AKTİF
PERDE DONATI GERÇEKLEŞME ORANI %	KOLON PASİF, MANTO AKTİF
SONUÇTA GEREKLİ KEŞİTE göre kesilme hesap	KOLON-MANTO KAPASİTE KONTROLÜ
KOLON BÜYÜKLÜĞÜNDEKİ saksine E1 göre hesap	
Etiyke kancalarının 90° kapattılması, Rosh %30 azaltma	
(E2-E9) MEVCUT YAPI TASARIM STANDARTI	
TBDY2018-TDY2007-TDY1997-TS500 (2000)	
TDY1975-TS500 (1984)	
ACI318	

Şekil 4.12. DBYBHY'e göre Misakı Milli ilkokulunun HK deprem etkisi için yapısal çözümleme proje parametreleri.



Şekil 4.13. Misakı Milli ilkokulunun HK performans durumu.

Misakı Milli ilkokulunun gerçekleştirilen CG performans analizlerinden elde edilen kiriş hasar yüzdeleri, kolon kesme kuvveti yüzdeleri, alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri sırasıyla Çizelge 4.1~Çizelge 4.3'te ve HK performans analizlerinden elde edilen kiriş hasar yüzdeleri, kolon kesme kuvveti yüzdeleri, alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri ise sırasıyla Çizelge 4.4~Çizelge 4.6'da verilmektedir. Misakı Milli ilkokulunun CG performans analizlerinden kirişlerin -Y ve +Y deprem doğrultularında maksimum %59,1 oranında göçme bölgesinde ve kolonların ise -Y deprem doğrultusunda %82,5 ve +Y deprem doğrultusunda ise %82,4 oranında göçme bölgesinde olduğu görülmektedir. Buna göre, DBYBHY'de verilen “herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların İH bölgesindeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır” koşulu gereğince söz konusu okul binasının CG performansı sağlamamaktadır. Ayrıca “diğer taşıyıcı elemanların tümü MN bölgesi veya BH Bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden MN sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması

gerekir” koşulu gereğince kirişlerin göçme bölgesinde olması nedeniyle sağlamadığı görülmektedir.

Çizelge 4.1. CG performans hedefinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	8,3	91,7	0	0	8,3	91,7	0	0	40,9	0	0	59,1	40,9	0	0	59,1
2	0	100	0	0	0	100	0	0	40,9	0	0	59,1	40,9	0	0	59,1
1	2,7	97,3	0	0	2,7	97,3	0	0	45,8	0	0	54,2	45,8	0	0	54,2
Maks		100							45,8			59,1				

Çizelge 4.2. CG performans hedefinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	99,1	0,9	0	0	99,1	0,9	0	0	5,9	11,6	0	82,5	6,1	11,6	0	82,4
2	99,7	0,3	0	0	99,7	0,3	0	0	3,1	28	0,1	68,8	38,3	28	0	33,8
1	93,1	6,9	0	0	94,0	6	0	0	95,6	3,8	0	0,6	96,2	3,2	0	0,6
Maks	99,7									28		82,5				

Çizelge 4.3. CG performans hedefinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X			+X			-Y			+Y		
	MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB	
3	100	0		100	0		88,4	11,6		88,4	11,6	
2	100	0		100	0		72	28		72	28	
1	100	0		100	0		100	0		100	0	
Maks	100							28				

Çizelge 4.4. HK performans hedefinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	22,2	77,8	0	0	16,7	83,3	0	0	40,9	4,5	0	54,5	40,9	4,5	0	54,5
2	8,3	91,7	0	0	11,1	88,9	0	0	40,9	0	0	59,1	40,9	0	0	59,1
1	5,4	94,6	0	0	5,4	94,6	0	0	45,8	0	0	54,2	45,8	0	0	54,2
Maks		94,6							45,8			59,1				

Çizelge 4.5. HK performans hedefinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	99,1	0,9	0	0	99,1	0,9	0	0	4,5	12,8	0	82,7	5,1	11,1	1,1	82,7
2	99,6	0,4	0	0	99,6	0,4	0	0	3,2	31,4	0	65,4	3,4	31	0,1	65,4
1	96,7	3,3	0	0	96,7	3,3	0	0	2,8	7	0,2	90	3	6,8	0	90,2
Maks	99,6									31,4					1,1	90,2

Çizelge 4.6. HK performans hedefinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X			+X			-Y			+Y		
	MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB	
3	100	0		100	0		89,3	10,7		89,7	10,3	
2	100	0		100	0		68,7	31,3		69	31	
1	100	0		100	0		100	0		100	0	
Maks	100							31,3				

Misakı Milli ilkokulunun HK performans analizlerinden, taşıyıcı sistemi oluşturan kirişlerin -Y ve +Y deprem doğrultularında maksimum %59,1 ve kolonların ise -Y deprem doğrultusunda %90 ve +Y deprem doğrultusunda %90,2 oranında göçme bölgesinde olduğu görülmektedir. Bu husus, DBYBHY’de verilen “*Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10’u BH bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü MN bölgesindedir*” koşulu gereğince söz konusu okul binasının HK performans düzeyini sağlamadığını göstermektedir. Ayrıca kirişlerin belirgin hasar yüzdeleri %10’dan fazla çıkmıştır. Özetle, DBYBHY’e göre Misakı Milli ilkokulunun CG ve HK performans hedeflerini sağlamadığı dolayısıyla da güçlendirilmesi gerektiği görülmektedir.

4.1.3. Misakı Milli İlkokulunun TBDY’e Göre Performans Analizi

Bu başlık altında Misakı Milli İlkokulunun Çizelge 2.11 doğrultusunda TBDY’e göre de performans analizleri yapılmaktadır. Buna göre okul binasının proje parametreleri;

Deprem Tasarım Sınıfı (DTS): 1

Bina Yükseklik Sınıfı (BYS): 7

Bina Kullanım Sınıfı (BKS): 3

olarak belirlenmiştir. Çizelge 2.11’de verilen TBDY koşulu gereğince normal performans hedefi için DD2 deprem düzeyinde analiz yapılabilmektedir. Ancak isteğe bağlı olarak DD1 ve DD3 deprem düzeylerinde ileri performans hedefi için de analizler yapılabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ileri performans hedefine göre analizler yapılmıştır. TBDY’de verilen performans hedefleri ve tasarım yaklaşımlarına göre *Şekildeğiştirmeye göre analiz* yapılarak, DD1 deprem düzeyinde *KH* ve DD3 deprem düzeyinde ise *SH* performans seviyesinin elde edilmesi gerekmektedir. TBDY’ye göre söz konusu okul binasının performans analizi için yapı genel bilgileri Şekil 4.14 gibi girilmiştir. Yapı genel bilgileri girildikten sonra deprem düzeyinin seçilmektedir. Buna göre ilk olarak DD1 deprem düzeyinde performans analizi yapılmaktadır (bkz. Şekil 4.15).

YAPI GENEL BİLGİLERİ

Yapı Proje İsmi	MİSAKİ MİLLİ DD1 NON
Kat Sayısı	3
Spektral ivme Katsayısı (DD2) S_{ds}/S_{d1}	0.853/0.48
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R_x/R_y	4
Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	2.5
Deprem Yapı Önem Katsayısı I	1
Hareketli Yük Katsayısı n	0.6
Deprem Yüğü Alt Yüksekliği H_x/H_y (m)	0
Zemin Yatak Katsayısı K_0 (t/m ³)	1071
Zemin Emniyet Gerilmesi G_z (t/m ²)	26.79
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı C_z	1
Deprem Yüğü Eksantirisitesi	0
Modal Analiz Min. Yük Oranı β	0.9
Üst Kat no (TDY için)	3
Aplikasyon Kot Farkı (m)	-1.4
Zemin gerilmesi deprem artırım oranı	0.5

YS. CERÇEVE + YS. PERDE

PERFORMANS ANALİZ OPSİYONU

TBDY 2019'A GÖRE DEPREM PARAMETRELERİNİN GİRİLMESİ

deprem alt kotu
BAP

Şekil 4.14. TBDY’ye göre yapı genel bilgilerinin girilmesi.

STA4-CAD		TBDY 2018 Elastik Tasarım İvme Spektrumu Duzenleme		Ok X
Deprem yer hareketi düzeyi	DD1	DD1- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1	50 yılda aşılma olasılığı %2	
Zemin sınıfı	ZD	DD2- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2	50 yılda aşılma olasılığı %10	
Enlem	° 41 . 2476	DD3- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3	50 yılda aşılma olasılığı %50	
Boylam	° 32 . 6834	DD4- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4	50 yılda aşılma olasılığı %68	
Kısa peryod bölgesi, spektral ivme katsayısı	Ss 1.4063	İLERİ PERFORMANS HEDEFİ DD1 DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYİNİN SEÇİLMESİ		
T=1.0 için spektral ivme katsayısı	Si 0.4359			
DD2 için, Kısa peryod tasarım spektral ivme katsayısı	Sds 0.853			
DD2 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi 0.48			
DD3 için, Kısa peryod tasarım spektral ivme katsayısı	Sds3 0.3927			
DD3 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi3 0.1967			
DD1 için, Kısa peryod tasarım spektral ivme katsayısı	Sds1 1.4063			
DD1 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi1 0.8126			
DD4 için, Kısa peryod tasarım spektral ivme katsayısı	Sds4 0.2668			
DD4 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi4 0.1332			

DD1 ve DD4 performans analizi için gereklidir.
Lineer analizde gerekmemektedir.

Şekil 4.15. TBDY'e göre DD1 deprem düzeyinin seçilmesi.

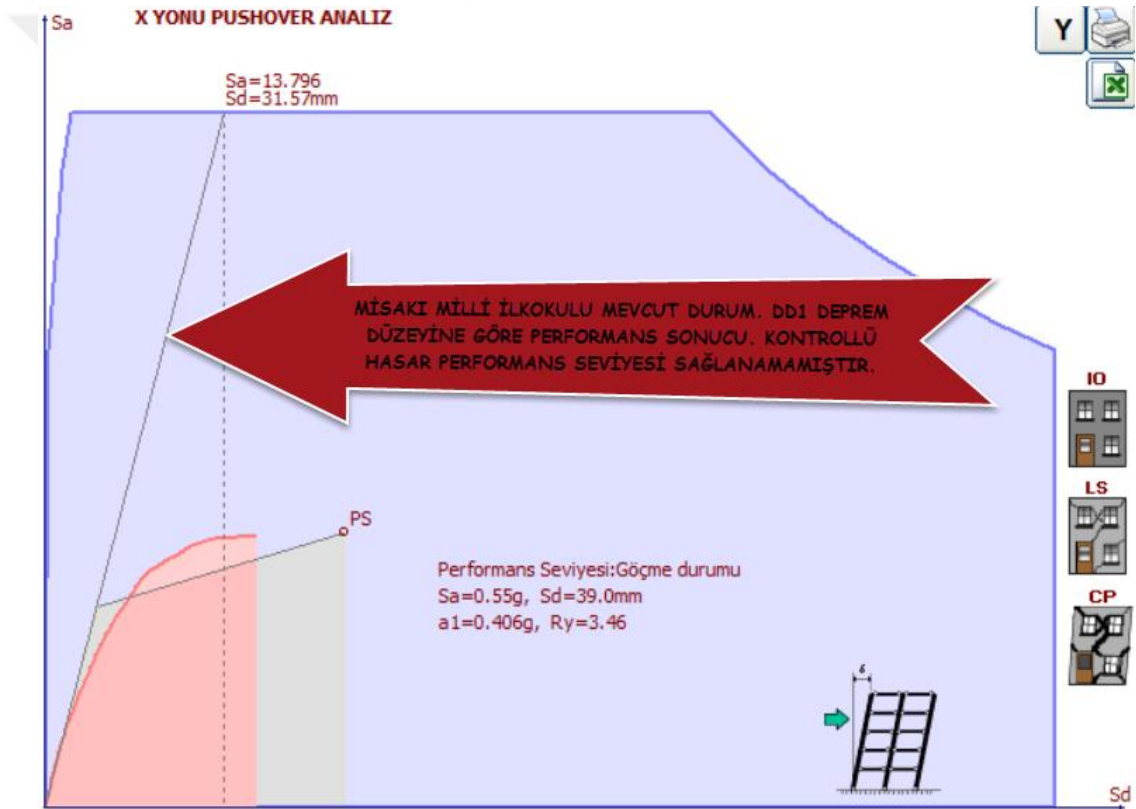
TBDY'de şekildeğiştirmeye göre analiz için birkaç yöntem bulunmaktadır. Belli şartlar sağlandığı takdirde *tek modlu nonlinear analiz* yapılabileceğidir. Bu tez çalışmasında öncelikli olarak *tek modlu nonlinear analiz* seçeneğine göre yapısal çözümlemeler yapılacak ve gereken şartların sağlanmaması durumunda *çok modlu nonlinear analiz* göre yapısal çözümlemeler gerçekleştirilecektir (bkz. Şekil 4.16).

STA4-CAD		PROJE OPSİYONLARI		? Ok X
ANALİZ INDIS RUZGAR / ISI SPECTRUM Time History				
STATİK ANALİZ				
☐ LINEER ANALİZ ☐ TUM YAPININ FEA ANALİZİ Sta-Fea3d S		NONLINEER ANALİZ YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ		
☐ SADECE TEMELLERİN MESH FEA ANALİZİ Plak Birim Mesh Genisliği m 1.0		☒ NONLINEER ANALİZ ☐ ARTİMSAL MODAL ANALİZ Sta-Nonlinear analiz Sta-Perform		
DEPREM ANALİZİ				
☒ TEK MODLU NONLINEER ANALİZ ☐ ÇOK MODLU NONLINEER ANALİZ		☒ DUSEY DEPREM ANALİZİ ☐ Modal ☐ TUGLA DUVARLI DEPREM ANALİZİ		
YAPI-TEMEL ANALİZİ				
☒ YAPI -TEMEL AYRI STATİK ANALİZ ☐ YAPI+TEMEL BIRLIKTE ANALİZ (temel donmeli) ☐ YAPI+TEMEL BIRLIKTE ANALİZ (tam etkilesim)		İNŞAAT AŞAMALARI ANALİZİ		
☒ KIRIS OLU YUKLERİNDE, DUVARLARIN YUKSEKLİK KONTROLLU OTOMATİK DUZENLENMESİ		Ölü yük Çarpanı C 0.0 Aşamadaki kat adedi 1		

Şekil 4.16. TBDY'e göre nonlinear analiz yönteminin seçilmesi.

Misakı Milli ilkokulunun TBDY'e göre yapı genel bilgileri ve analiz seçenekleri belirlendikten sonra DD1 deprem düzeyine göre performans analizi yapılmıştır. Buna

göre söz konusu okul binasının DD1 deprem düzeyinde hedef performansı sağlayamadığı görülmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen performans analizi sonucu *göçme durumu* olarak elde edilmiştir (bkz. Şekil 4.17). DD1 deprem düzeyi için elde edilen bu sonucun geçerli olması için TBDY’de verilen *tek modlu nonlinear* analiz şartlarının sağlanması gerekmektedir. Ancak kütle katılım oranı (KKO) x doğrultusunda %85,1 ve y doğrultusunda %85,7 olarak %70 sınırını geçmiştir. Ayrıca burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} = 1,04$ elde edilerek 1,4 sınırının altında kalmıştır. Buna göre söz konusu okul binasının DD1 deprem düzeyi için *tek modlu nonlinear* analiz sonuçlarının geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.17. Misakı Milli İlkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyi için performans analizi sonucu.

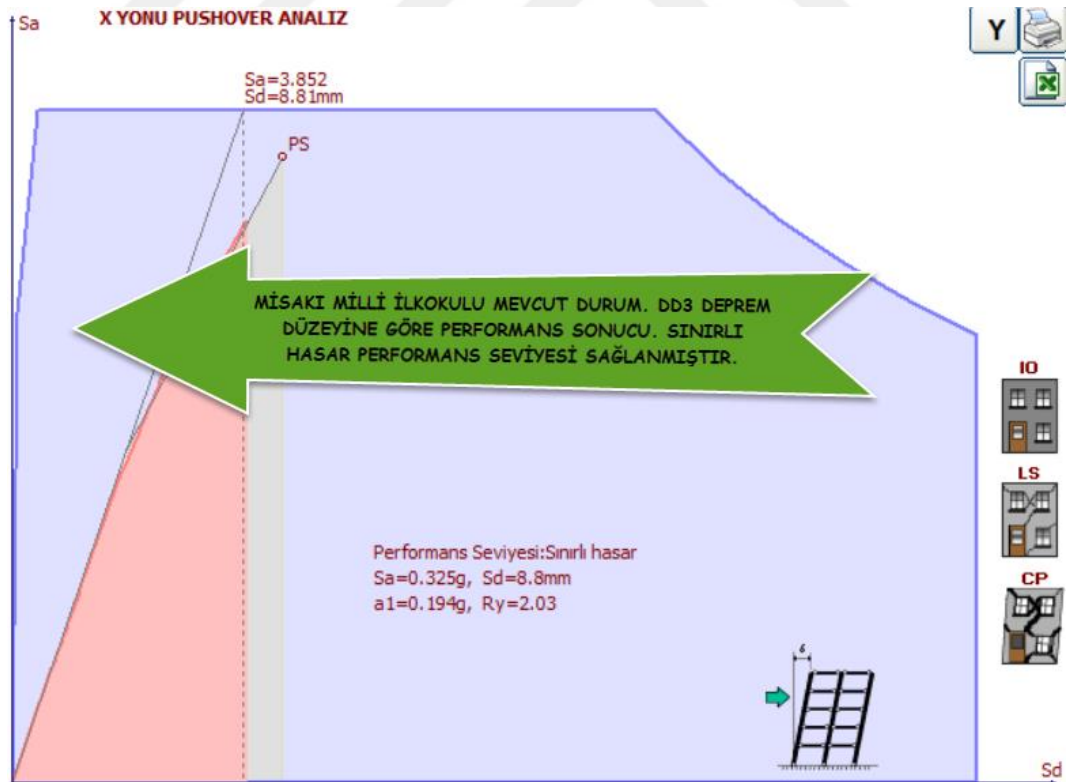
Çizelge 2.11’de verilen TBDY koşulu gereğince Misakı Milli İlkokulu için bir diğer analiz şartı DD3 deprem düzeyidir. DD3 deprem düzeyinde performans analizi yapılmıştır (bkz. Şekil 4.18). Söz konusu okul binasının DD3 deprem düzeyinde hedef performans olan SH performans seviyesini sağladığı görülmektedir (bkz. Şekil 4.19). Ayrıca *tek modlu nonlinear analiz* yönteminden elde edilen KKO DD1 deprem

düzeyinde elde edilen sonuçlarla aynı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan burulma düzensizliği katsayısı ise $\eta_{bi}=1,10$ elde edilerek söz konusu yönetmelik koşulu sağlanmaktadır.

STA4-CAD TBDY 2018 Elastik Tasarım İvme Spektrumu Duzenleme

Deprem yer hareketi düzeyi	DD3	DD1- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 50 yılda aşılma olasılığı %2
Zemin sınıfı	ZD	DD2- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 50 yılda aşılma olasılığı %10
Enlem	° 41.2476	DD3- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 50 yılda aşılma olasılığı %50
Boylam	° 32.6834	DD4- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 50 yılda aşılma olasılığı %68
Kısa periyot bölgesi, spektral ivme katsayısı	Ss 0.2454	İLERİ PERFORMANS HEDEFİ DD3 DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYİNİN SEÇİLMESİ DD1 ve DD4 performans analizi için gereklidir. Lineer analizde gerekmemektedir.
T=1.0 için spektral ivme katsayısı	Si 0.082	
DD2 için, Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	Sds 0.853	
DD2 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi 0.48	
DD3 için, Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	Sds3 0.3927	
DD3 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi3 0.1967	
DD1 için, Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	Sds1 1.4063	
DD1 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi1 0.8126	
DD4 için, Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	Sds4 0.2668	
DD4 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi4 0.1332	

Şekil 4.18. TBDY’ye göre DD3 deprem düzeyinin seçilmesi.



Şekil 4.19. Misakı Milli İlkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyi için performans analizi sonucu.

DD1 ve DD3 deprem düzeylerine göre yapılan performans analizlerinde elde edilen taşıyıcı sistem elemanlarının hasar oranları sırasıyla Çizelge 4.7~Çizelge 4.12’de verilmektedir. DD1 deprem düzeyi için hedef performans olan KH performans seviyesinin sağlanması gerektiğinden değerlendirmeler KH durumu dikkate alınarak yapılmıştır. Buna göre, kirişler -Y ve +Y deprem doğrultularında maksimum %59,1 oranında göçme bölgesinde olduğundan TBDY’e göre çok kötü performans sergilediği görülmektedir. Ayrıca kolon kesme kuvvetine katkı açısından ise özellikle -Y ve +Y deprem doğrultularında göçme bölgesinde bulunan kolonların kesme kuvvetine katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan TBDY’nin “*Diğer taşıyıcı elemanların tümü SH bölgesi veya BH bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden BH sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30’u aşmaması gerekir*” koşulu gereğince kirişler göçme bölgesinde olduğundan hedef performansın sağlanmadığı görülmüştür. Sonuç olarak hem kirişlerin hem de kolonların yeterli koşulları sağlanmadığı dolayısıyla da söz konusu okul binasının DD1 deprem düzeyi için hedef performansa ulaşamadığı görülmektedir.

Çizelge 4.7. DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	44,4	55,6	0	0	44,4	55,6	0	0	40,9	0	0	59,1	40,9	0	0	59,1
2	8,3	91,7	0	0	11,1	88,9	0	0	40,9	0	0	59,1	40,9	0	0	59,1
1	13,5	86,5	0	0	16,2	83,8	0	0	45,8	0	0	54,2	45,8	0	0	54,2
Maks		91,7							45,8			59,1				

Çizelge 4.8. DD1 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	75,7	22,3	1,9	0	100	0	0	0	4	5,3	8	82,8	4,6	5,9	8	81,6
2	86,5	12,7	0,8	0	100	0	0	0	1,7	2,4	29	66,9	1,7	2,4	29	66,9
1	80,6	17	2,4	0	89,1	10,9	0	0	0,2	6,9	13,6	79,3	0,2	8,7	11,7	79,3
Maks		22,3			100						29	82,8				

Çizelge 4.9. DD1 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	SH+BH	İH+GB	SH+BH	İH+GB	SH+BH	İH+GB	SH+BH	İH+GB
3	100	0	100	0	92	8	92	8
2	100	0	100	0	71	29	71	29
1	100	0	100	0	99,2	0,8	98,6	1,4
Maks	100		100			29		

Çizelge 4.10. DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.11. DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.12. DD3 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	SH+BH	İH+GB	SH+BH	İH+GB	SH+BH	İH+GB	SH+BH	İH+GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100							

DD3 deprem düzeyi için hedef performans seviyesi olan SH performans hedefi sağlanması gerektiğinden değerlendirmeler SH durumu dikkate alınarak yapılmıştır. Buna göre TBDY’de verilen “*Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20’si BH bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü SH bölgesindedir*”

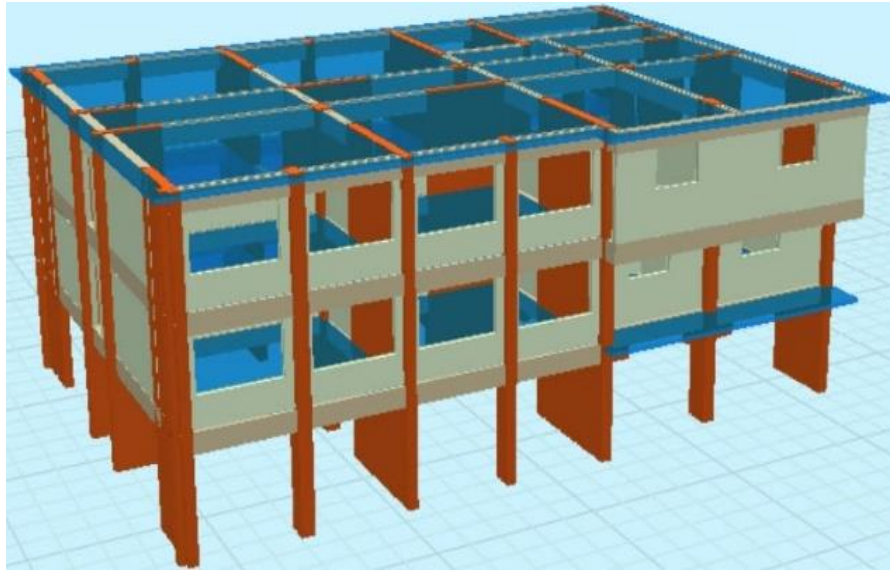
koşulu gereğince kirişler hariç kolonların tamamının SH bölgesinde olduğu görülmektedir. Kirişlerin ise herhangi deprem doğrultusunda BH durumunun olmadığı, tamamının SH bölgesinde olduğu görülmüştür. Özetle, söz konusu okul binası DD3 deprem düzeyi için gereken performans hedefini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, Misakı Milli İlkokulu DD1 deprem düzeyinde hedef performans seviyesini sağlamadığından güçlendirme projesinin hazırlanması gerekmektedir.

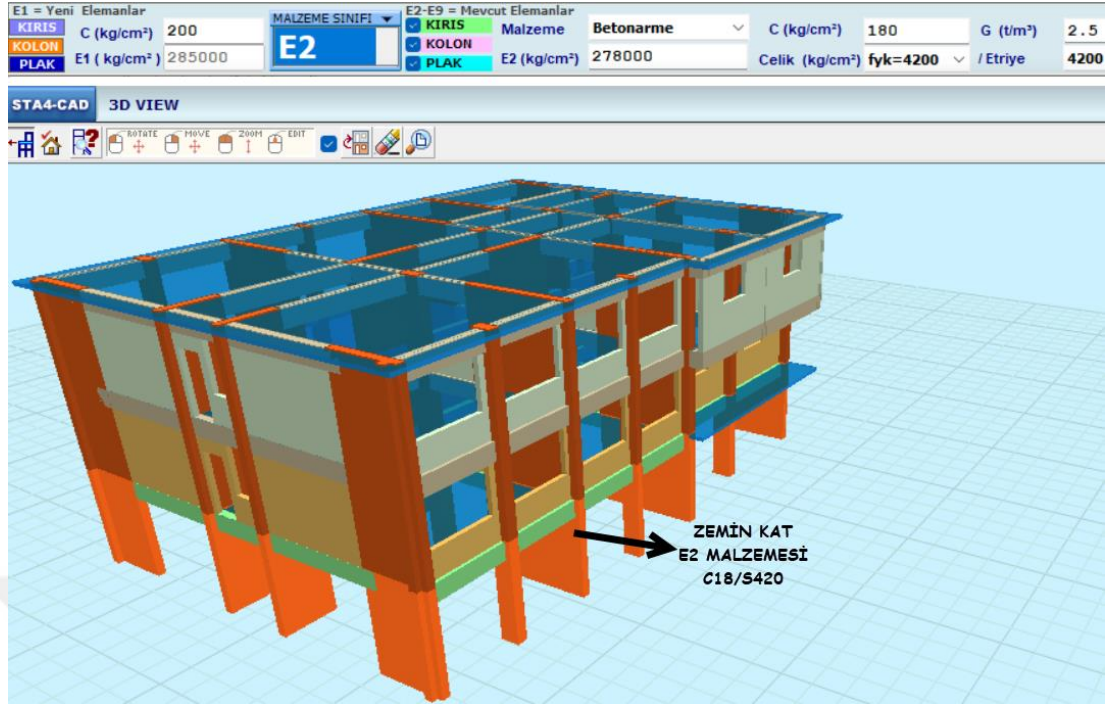
4.2. KALAYCILAR İLKOKULUNUN YAPISAL ÇÖZÜMLEMELERİ

4.2.1. Kalaycılar İlkokulunun Depremsiz Yapısal Çözümlemesi

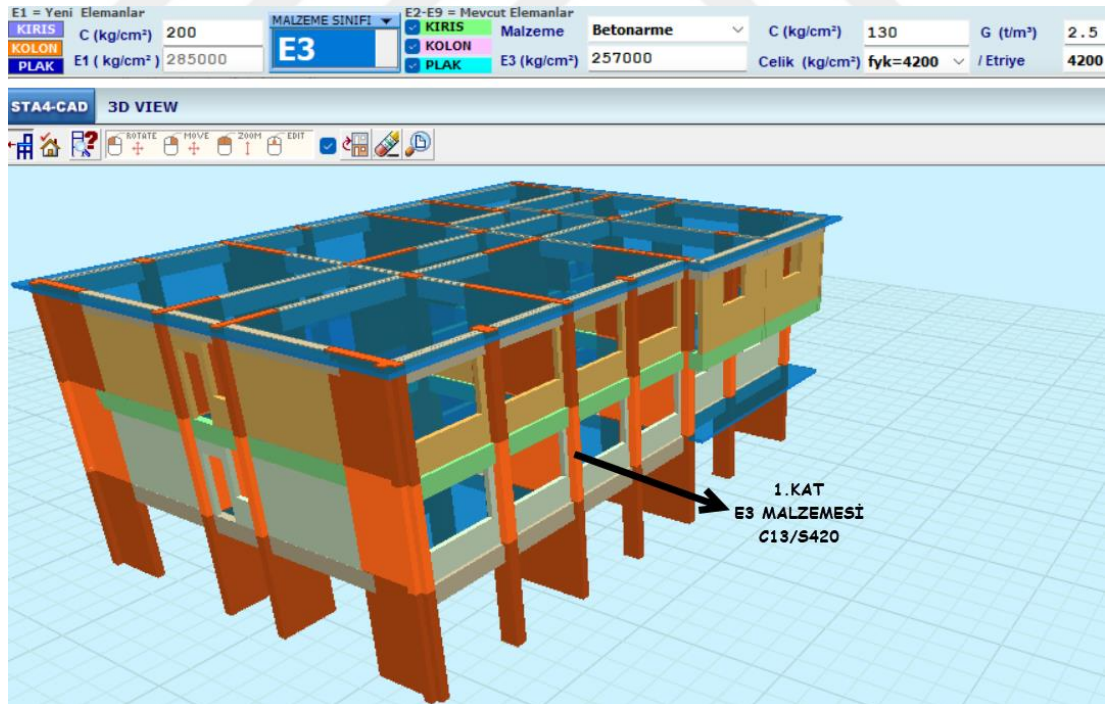
Röleve çalışmaları tamamlanan Kalaycılar İlkokulunun Sta4-Cad programıyla üç boyutlu modeli hazırlanmıştır (bkz. Şekil 4.20). Söz konusu okul binasının yapım yılı 2005 olduğundan ABYYHY hükümlerine göre depremsiz yapısal çözümlemelerin yapılıp donatı bilgilerinin buna göre girilmesi gerekmektedir. Yapısal çözümleme aşamalarında izlenen adımlar Misakı Milli İlkokulu'nda izlenen adımlar ile aynıdır. Buna göre Kalaycılar ilkokulunun üç boyutlu modeli oluşturularak her kat için malzeme tanımlaması yapılmıştır (bkz. Şekil 4.21~ Şekil 4.23).



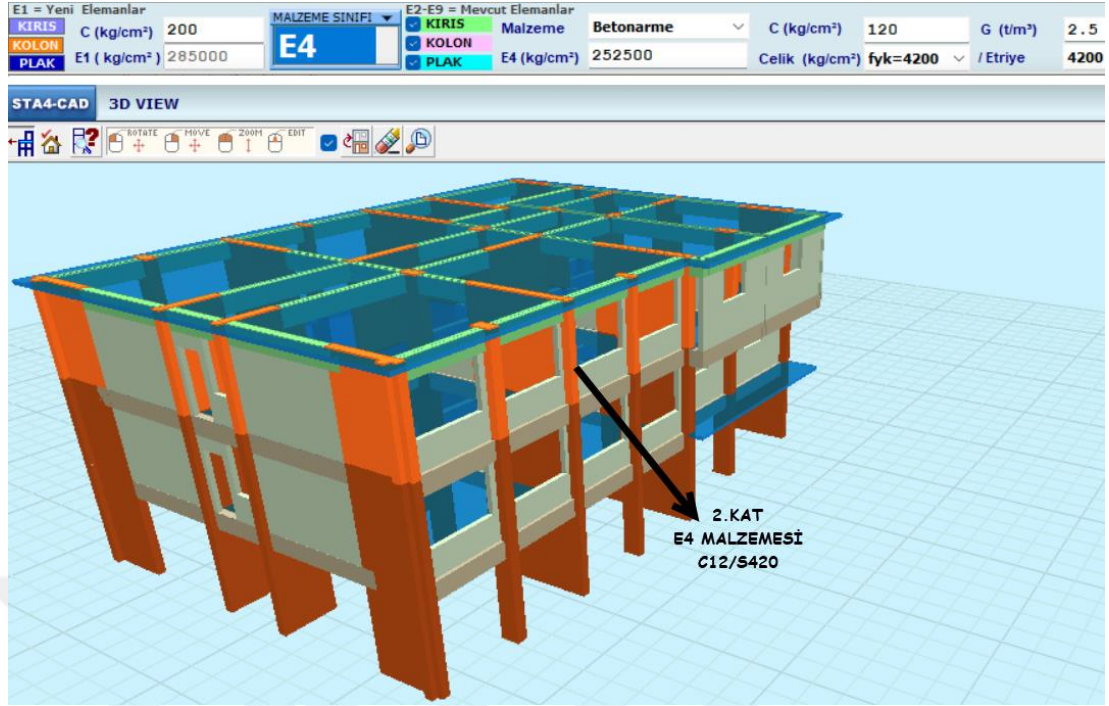
Şekil 4.20. Kalaycılar İlkokulu mevcut durumunun 3 boyutlu modeli.



Şekil 4.21. Kalaycılar ilkokulunun zemin katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi.

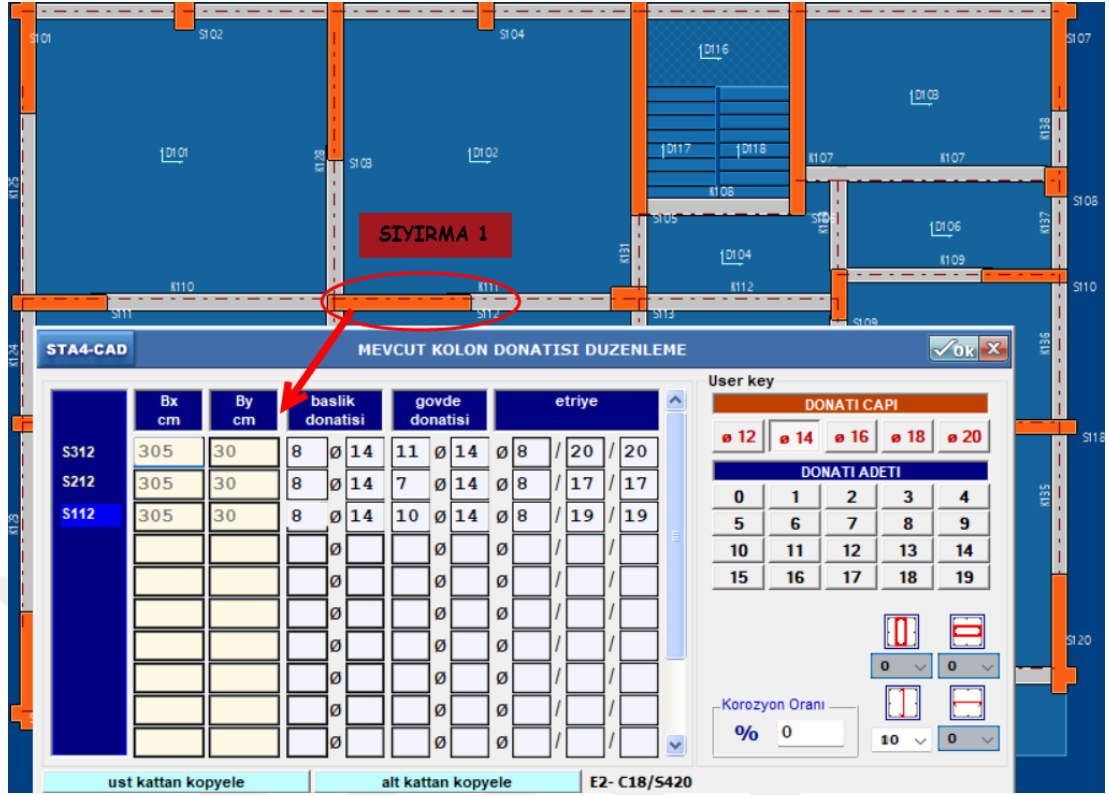


Şekil 4.22. Kalaycılar ilkokulunun 1. katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi.



Şekil 4.23. Kalaycılar ilkokulunun 2. katında E2 malzeme sınıfı bilgi girişi.

Kalaycılar ilkokulunun taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme tanımlaması yapıldıktan sonra söz konusu yapının sabit ve hareketli yükü altında deprem-siz lineer yapısal çözümlemesi yapılmıştır. Yapılan deprem-siz yapısal çözümlemesi sonucu, kesiti yetersiz herhangi bir yapısal elemana rastlanılmamış dolayısıyla okul binasının emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır. Deprem-siz yapısal çözümlemesi sonucu elde edilen bilgiler ışığında söz konusu okul binasının donatı bilgilerinin girişi yapılarak performans analizine hazır hale getirilmiştir (bkz. Şekil 4.24).



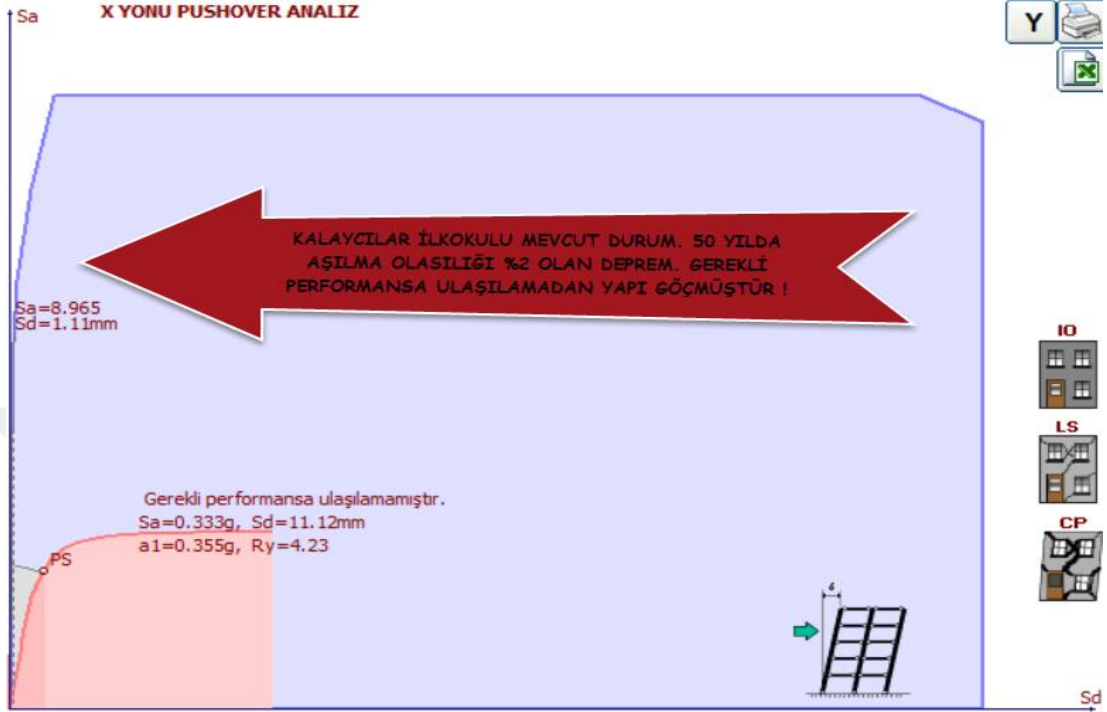
Şekil 4.24. Kalaycılar ilkokulunun sıyrma işlemi bilgilerinin yapısal elemanlara girilmesi.

4.2.2. Kalaycılar İlkokulunun DBYBHY'e Göre Performans Analizi

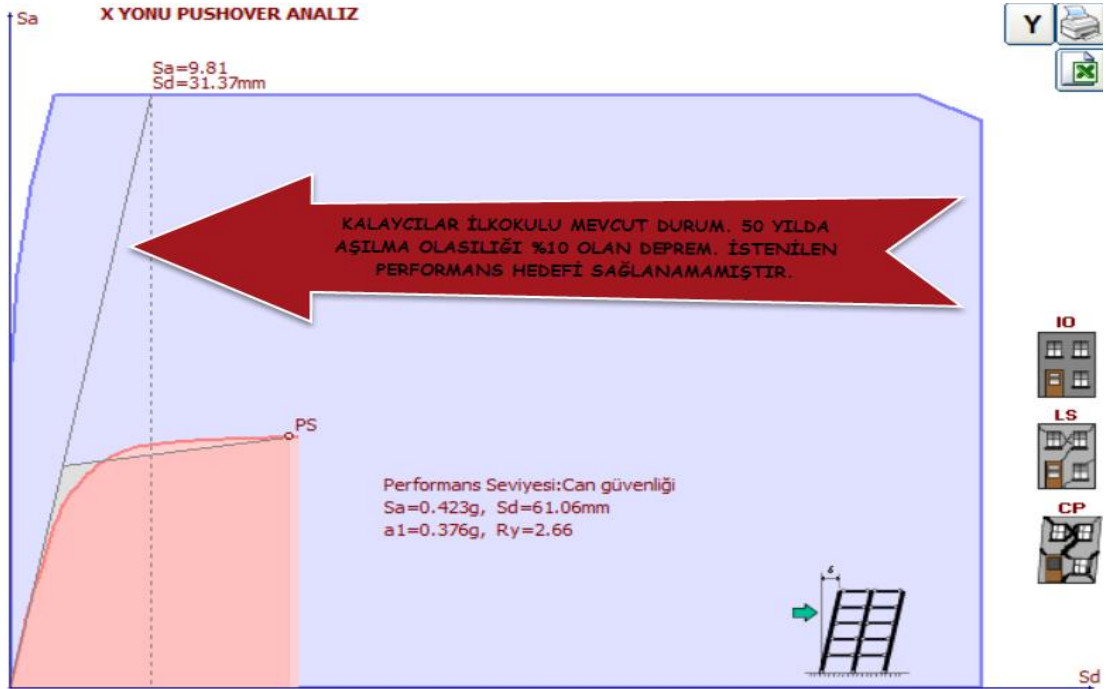
DBYBHY'e göre Kalaycılar ilkokulunun performans analizi 2 aşamada yapılmaktadır. Söz konusu okul binasının performans analizi ilk olarak CG deprem düzeyi için daha sonra ise HK deprem düzeyi için yapılmaktadır (bkz. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26).

Kalaycılar İlkokulunun CG deprem düzeyi için elde edilen hasar oranları sırasıyla Çizelge 4.13~Çizelge 4.15'te verilmektedir. Bu çizelgelerden, CG performans hedefine göre değerlendirildiğinde, her bir deprem doğrultusu için kirişlerin herhangi bir katta İH bölgesine geçmediği görülmektedir. İH bölgesindeki kolonların kesme kuvvetine katkısı olmamakta ve göçme bölgesinde kolon bulunmamaktadır. Ayrıca bu çizelgelerden yapısal elemanların söz konusu yönetmeliğin bütün koşulları sağladığı görülmektedir. Bununla birlikte Kalaycılar İlkokulu mevcut durumu ile

gerekli performansa ulaşamadığından göçmüştür. Bu durum yapısal elemanların performans seviyelerinin elde edilememesine neden olmuştur.



Şekil 4.25. Kalaycılar ilkokulunun CG performans durumu.



Şekil 4.26. Kalaycılar ilkokulunun HK performans durumu.

Çizelge 4.13. CG performans depreminde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	31,8	68,2	0	0	31,8	68,2	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	9,1	90,9	0	0	9,1	90,9	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	9,1	90,9	0	0	9,1	90,9	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks		90,9							100							

Çizelge 4.14. CG performans depreminde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	94,5	5,5	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	96,1	3,9	0	0	89	11	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.15. CG performans depreminde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X			+X			-Y			+Y		
	MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB	
3	100	0		100	0		100	0		100	0	
2	100	0		100	0		100	0		100	0	
1	100	0		100	0		100	0		100	0	
Maks	100											

Kalaycılar ilkokulunun HK deprem düzeyi için elde edilen hasar oranları sırasıyla Çizelge 4.16~Çizelge 4.18’de verilmektedir. Bu çizelgelerden, HK performans hedefine göre değerlendirildiğinde, diğer taşıyıcı elemanların tümünün MN bölgesinde olması şartıyla kirişlerin en fazla %10’unun BH bölgesinde olması gerekmektedir. Ancak kolonlar belli oranlarda BH bölgesine geçtiğinden gereken performans hedefinin sağlanmamaktadır. Ayrıca BH bölgesinde bulunan kirişler %10 oranından fazla olduğu için de performans hedefinin sağlanamadığı görülmektedir. Sonuç olarak söz konusu deprem düzeylerinde hedef performans hedefleri sağlanamadığı için Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.16. HK performans depreminde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	45,5	54,5	0	0	45,5	54,5	0	0	63,2	36,8	0	0	63,2	36,8	0	0
2	31,8	68,2	0	0	27,3	72,7	0	0	57,9	42,1	0	0	52,6	47,4	0	0
1	22,7	77,3	0	0	27,3	72,7	0	0	50	50	0	0	50	50	0	0
Maks		77,3							63,2							

Çizelge 4.17. HK performans depreminde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	76,9	23,1	0	0	73,7	26,3	0	0	93,1	6,9	0	0	89,1	10,9	0	0
Maks	100					26,3										

Çizelge 4.18. HK performans deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100							

4.2.3. Kalaycılar İlkokulunun TBDY'e Göre Performans Analizi

TBDY'e göre Kalaycılar İlkokulu ileri performans hedefi dikkate alınarak 2 deprem düzeyine bağlı olarak analiz edilmiştir. Buna göre DD1 deprem düzeyi için KH ve DD3 depremi için ise SH performans hedeflerinin sağlanması gerekmektedir. TBDY'e göre söz konusu okul binasının performans analizi için deprem düzeyi Şekil 4.27'deki gibi seçilmiştir. Kalaycılar ilkokulunun DD1 deprem düzeyine göre yapılan performans analizinden, söz konusu okul binasının hedef performansı sağladığı görülmektedir (bkz. Şekil 4.28). Buna karşın DD3 deprem düzeyine göre yapılan performans analizinden ise öngörülen performansı hedefinin sağlamadığı görülmüştür (bkz. Şekil 4.29). DD1 deprem düzeyi için elde edilen bu sonucun geçerli olması için TBDY'de verilen *tek modlu nonlineer* analiz şartlarının

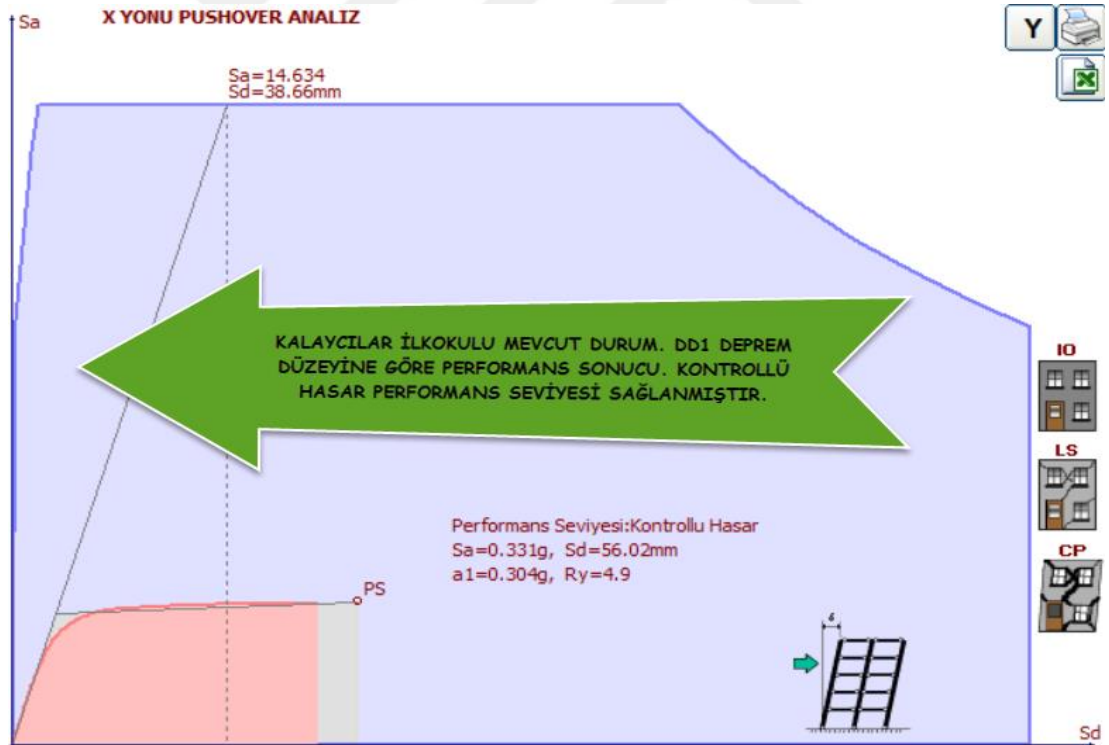
sağlanması gerekmektedir. Buna göre KKO x doğrultusunda %79,5 ve y doğrultusunda %74,2 olarak elde edilmiştir. Ayrıca burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} = 1,23$ elde edilerek 1,4 sınırının altında kalarak yönetmelik koşulu sağlanmıştır.

STA4-CAD TBDY 2018 Elastik Tasarım İvme Spektrumu Duzenleme		Ok
Deprem yer hareketi düzeyi	DD1	DD1- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 50 yılda aşılma olasılığı %2
Zemin sınıfı	ZD	DD2- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 50 yılda aşılma olasılığı %10
Enlem	41.1984	DD3- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 50 yılda aşılma olasılığı %50
Boylam	32.625	DD4- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 50 yılda aşılma olasılığı %68
Kısa periyot bölgesi, spektral ivme katsayısı	Ss 1.4917	
T=1.0 için spektral ivme katsayısı	Si 0.4618	
DD2 için, Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	Sds 0.888	
DD2 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi 0.504	
DD3 için, Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	Sds3 0.4262	
DD3 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi3 0.2078	
DD1 için, Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	Sds1 1.4917	
DD1 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi1 0.8489	
DD4 için, Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	Sds4 0.2929	
DD4 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sdi4 0.1382	

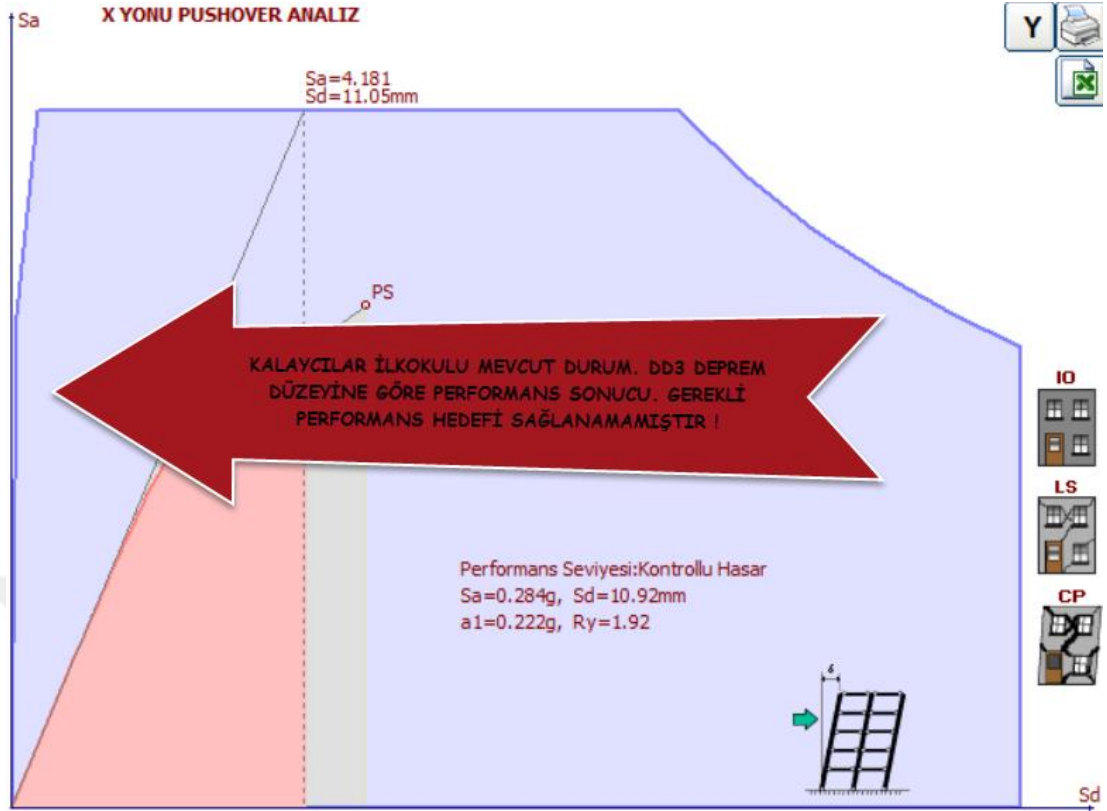
**İLERİ PERFORMANS HEDEFİ
DD1 DEPREM YER HAREKETİ
DÜZEYİNİN SEÇİLMESİ**

DD1 ve DD4 performans analizi için gereklidir.
Linear analizde gerekmemektedir.

Şekil 4.27. Kalaycılar ilkokulunun TBDY'ye göre DD1 deprem düzeyinin seçilmesi.



Şekil 4.28. Kalaycılar ilkokulunun DD1 deprem düzeyine göre KH performans durumu.



Şekil 4.29. Kalaycılar ilkokulunun DD3 deprem düzeyine göre KH performans durumu.

Kalaycılar ilkokulunun DD1 deprem düzeyi göre gerçekleştirilen yapısal çözümleme elde edilen kiriş hasar yüzdeleri, kolon kesme kuvveti yüzdeleri ve alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri sonuçları sırasıyla Çizelge 4.19~Çizelge 4.21’de verilmektedir. Bu çizelgelerden KH performans seviyesine göre değerlendirildiğinde, kirişlerin -X deprem doğrultusunda maksimum %77,3 oranında, +X deprem doğrultusunda ise %72,7 oranında BH bölgesinde olduğu görülmektedir. Ancak herhangi bir katta İH veya göçme bölgesinde kirişin bulunmadığı görülmüştür. Bunun yanı sıra +X deprem doğrultusunda maksimum %65,1 oranında BH bölgesindeki kolonlar kesme kuvvetine katkıda bulunmaktadır. Buna karşın İH ve göçme bölgesinde kesme kuvvetine katkısı olan kolon bulunmamaktadır. Diğer taraftan alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonlar bulunmadığından TBDY’ye göre KH performans seviyesi sağlanmaktadır.

Çizelge 4.19. DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	45,5	54,5	0	0	45,5	54,5	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	22,7	77,3	0	0	27,3	72,7	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	22,7	77,3	0	0	27,3	72,7	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks		77,3							100							

Çizelge 4.20. DD1 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	92,6	7,4	0	0	97,5	2,5	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	96,5	13,5	0	0	87,5	12,5	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	95,9	4,1	0	0	34,9	65,1	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks						65,1			100							

Çizelge 4.21. DD1 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100							

Kalaycılar ilkokulunun DD3 deprem düzeyi için elde edilen yapısal çözümleme sonuçları sırasıyla Çizelge 4.22~Çizelge 4.24'te verilmektedir. Bu çizelgelerden, SH performans seviyesine göre değerlendirildiğinde, kirişlerin tamamının SH bölgesinde ve kolonların ise -Y ve +Y deprem doğrultusunda maksimum %7,7 oranında BH bölgesinde olduğu görülmektedir. Ancak kolonların tamamının SH bölgesinde bulunması gerektiğinden yönetmelik koşulu sağlanamamaktadır. Sonuç olarak DD3 deprem düzeyi için performans hedefi sağlanamadığından Kalaycılar ilkokulunun TBDY'ye göre güçlendirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.22. DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.23. DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	95,4	4,6	0	0	95,4	4,6	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	94,9	5,1	0	0	94,9	5,1	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	92,3	7,7	0	0	92,3	7,7	0	0
Maks										7,7						

Çizelge 4.24. DD3 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

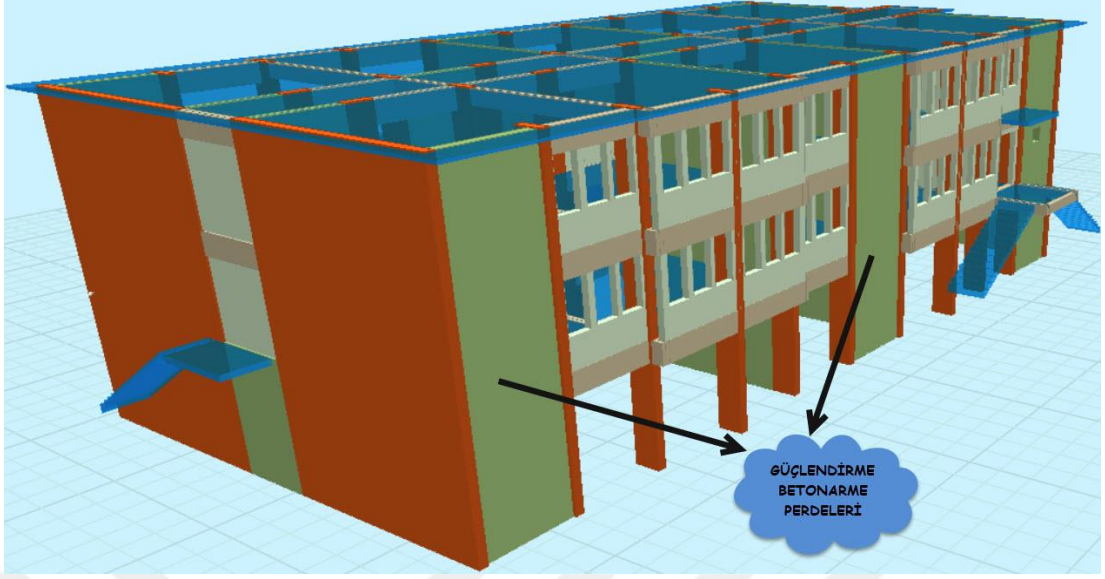
Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100							

4.3. GÜÇLENDİRME PROJELERİNİN HAZIRLANMASI

Bu başlık altında Bölüm 3.1, Bölüm 4.1 ve Bölüm 4.2’de verilen bilgilerin ışığında Misakı Milli ve Kalaycılar İlkokullarının güçlendirme projeleri hazırlanmış ve söz konusu okul binalarının güçlendirilmiş durumları DBYBHY ve TBDY yönetmeliklerine göre analiz edilmiştir.

4.3.1. Misakı Milli İlkokulunun Güçlendirilmiş Durumu

Bu tez çalışmasında örnek olarak seçilen Misakı Milli ilkokulunda sistem bazında güçlendirme yöntemi seçilerek söz konusu okul binasına x ve y doğrultularında betonarme duvarlar ilave edilmiştir (bkz. Şekil 4.30). Ancak söz konusu okul

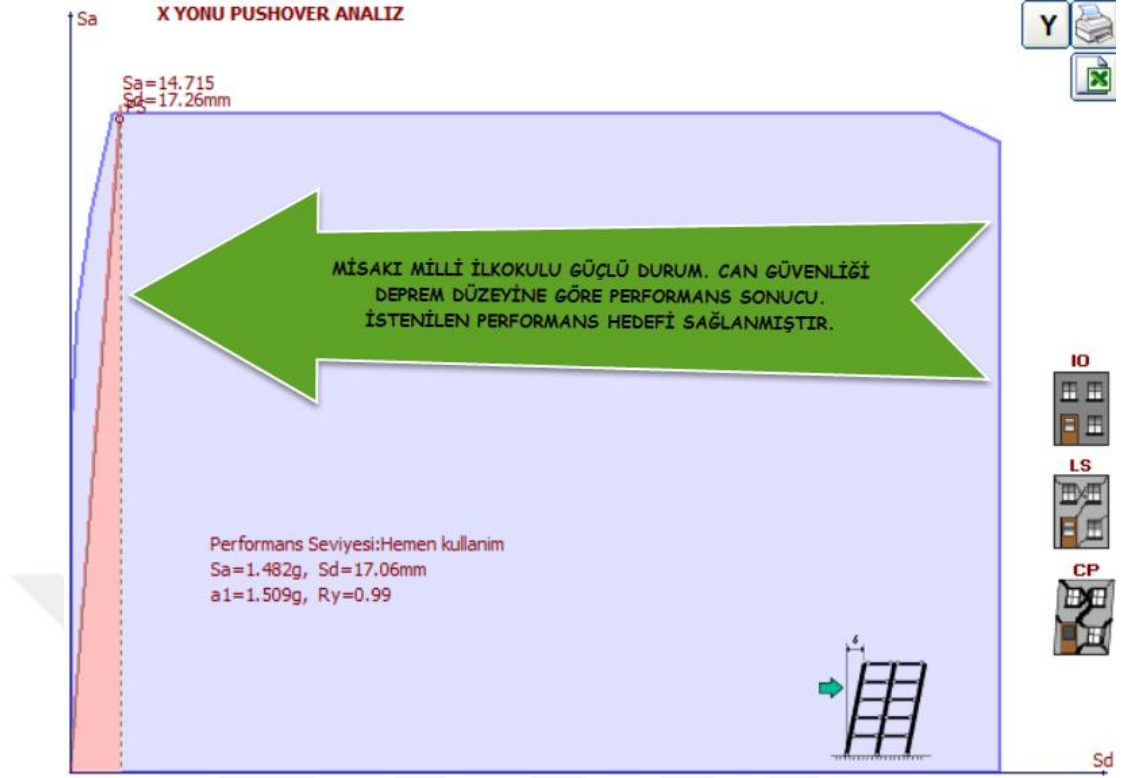


Şekil 4.31. Misakı Milli ilkokulunda uygulanan güçlendirme betonarme duvarlarının bir görünümü.

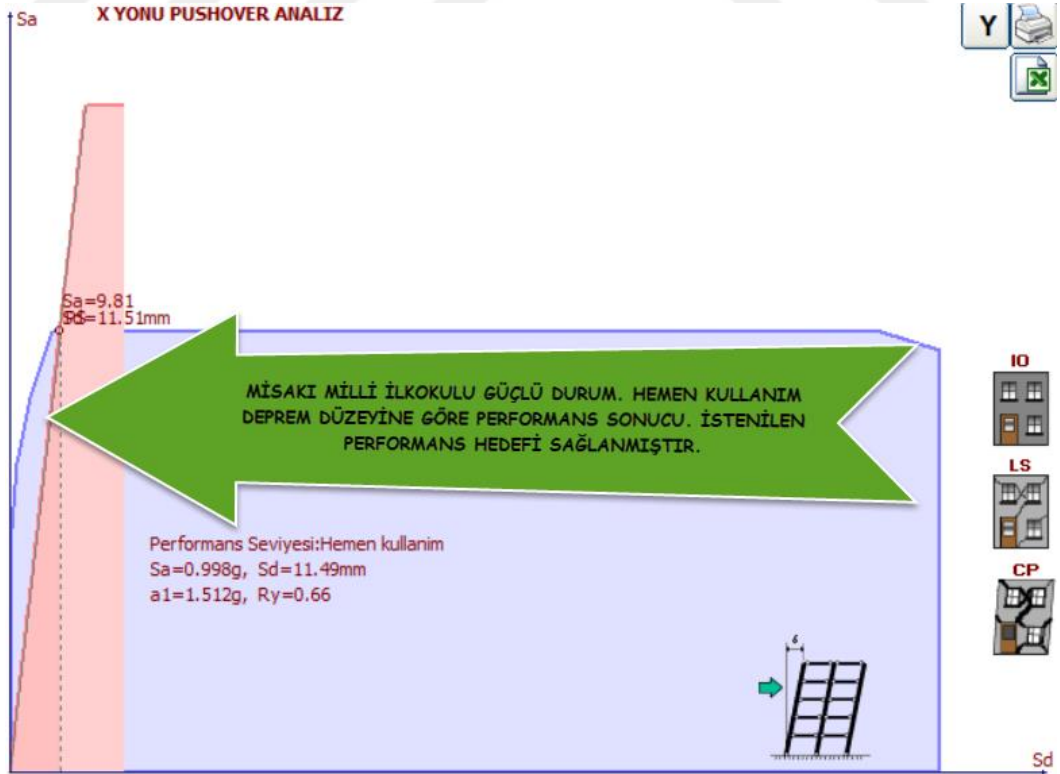
4.3.1.1. Güçlendirilmiş Misakı Milli İlkokulunun DBYBHY'e Göre Performans Analizi

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun performans analizi ilk olarak CG deprem düzeyi için yapılmaktadır. Söz konusu deprem düzeyinde hedeflenen performans seviyesinden daha iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen çok sayıda gevrek yapısal elemanların oluştuğu görülmüştür (bkz. Şekil 4.32). Analiz sonucunda oluşan gevrek yapısal elemanlar, ilave edilen taşıyıcı elemanlarda olabileceği gibi mevcut yapısal elemanlarda da olabilmektedir. Bu nedenle bu elemanların da güçlendirilmesi gerekmektedir.

Misakı Milli ilkokulunun diğer bir performans analizi HK deprem düzeyi için yapılmıştır. Güçlendirilmiş okul binasının performansının söz konusu deprem düzeyi için de sağlandığı görülmektedir (bkz. Şekil 4.33). Ancak bu deprem düzeyinde de diğer deprem düzeyinde olduğu gibi oluşan gevrek yapısal elemanların güçlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.32. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun CG performans analizi sonucu.



Şekil 4.33. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun HK performans analizi sonucu.

Misaki Milli ilkokulunun CG / HK deprem düzeyleri için elde edilen yapısal çözümleme sonuçları sırasıyla Çizelge 4.25~Çizelge 4.27’de verilmektedir. Bu çizelgelerden, her iki deprem düzeyi için elde edilen performans hedeflerinin sağlandığı görülmektedir. CG deprem düzeyinde 17 adet gevrek yapısal eleman oluşurken, HK deprem düzeyi için 9 adet gevrek yapısal eleman oluşmaktadır. Söz konusu yapısal elemanların gevrek davranışının önlenmesi amacıyla kolonlar mantolanabilmekte ve güçlendirme betonarme duvarlarının tevzi donatıları daha sık yerleştirilebilmektedir. Ayrıca her iki performans hedefi değerlendirildiğinde tüm yapısal elemanların MNr bölgesinde olduğu görülmektedir. Bundan dolayı söz konusu okul binasında tüm yapısal elemanların sorunsuz olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.25. CG / HK performans deprem düzeylerinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.26. CG / HK performans deprem düzeylerinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

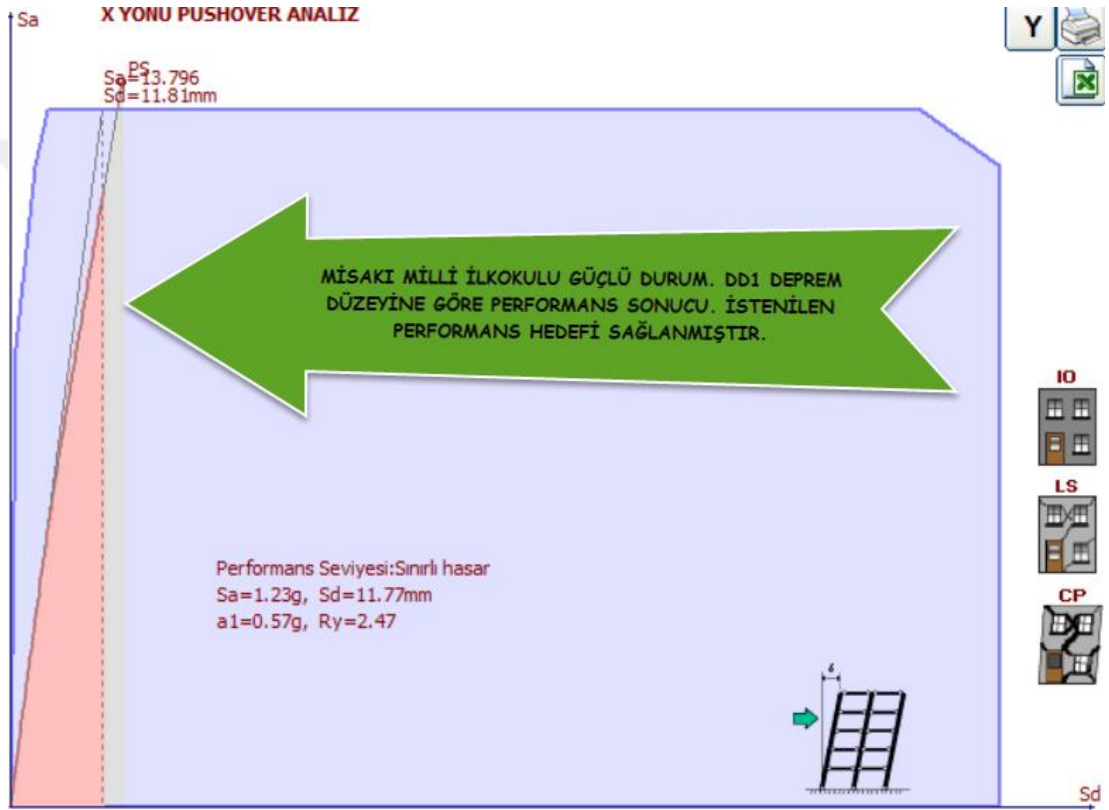
Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.27. CG / HK performans deprem düzeylerinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

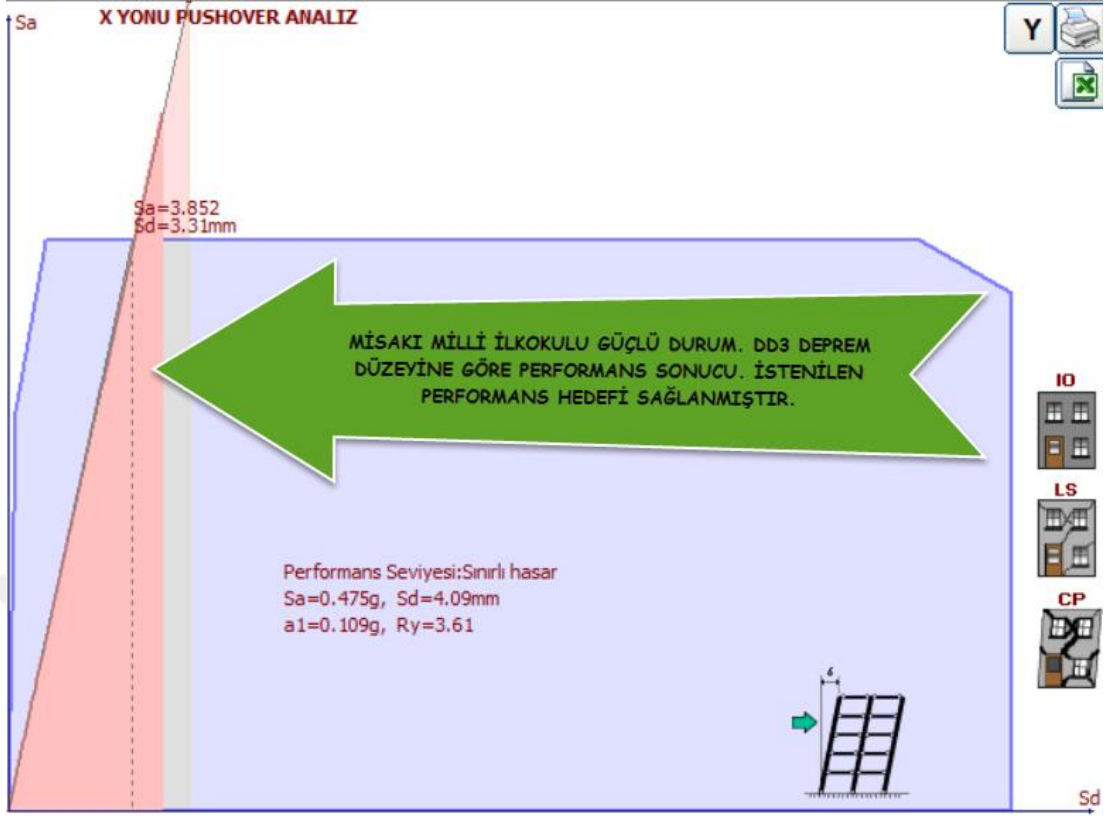
Kat No	-X			+X			-Y			+Y		
	MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB		MN	BH+İH+GB	
3	100	0		100	0		100	0		100	0	
2	100	0		100	0		100	0		100	0	
1	100	0		100	0		100	0		100	0	
Maks	100											

4.3.1.2. Misakı Milli İlkokulu Güçlendirilmiş Binanın TBDY'e Göre Performans Analizi

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun performans analizi önce DD1 deprem düzeyine göre, daha sonra DD3 deprem düzeyine göre yapılmaktadır. Söz konusu deprem düzeylerine göre performans analizi sonuçları Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilmektedir.



Şekil 4.34. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DD1 performans analizi sonucu.



Şekil 4.35. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DD3 performans analizi sonucu.

Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumu, mevcut durumda olduğu gibi, tek modlu nonlinear analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Yapısal çözümlemelerden söz konusu yöntemin gerektirdiği KKO ve burulma düzensizliği koşulları güçlendirilmiş durum için de sağlanmaktadır. Güçlendirilmiş durumun DD1 ve DD3 deprem düzeylerine göre yapılan performans analizi sonuçları SH seviyesinde bulunarak hedef performans seviyesi sağlanmaktadır. Ayrıca güçlendirilmesi gereken herhangi gevrek eleman bulunmadığı görülmüştür. Söz konusu güçlendirilmiş okul binasının yapısal elemanlarının deprem düzeylerine göre elde edilen hasar oranları sırasıyla Çizelge 4.28~Çizelge 4.30'da verilmektedir. Bu çizelgelerden Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun, DD1 ve DD3 deprem düzeylerinde aynı hasar oranlarını verdiği görülmektedir. Ayrıca güçlendirilmiş okul binası, KH ve SH performans seviyelerine göre değerlendirildiğinde bütün koşulları sağlamaktadır.

Çizelge 4.28. DD1 ve DD3 deprem düzeylerinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.29. DD1-DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

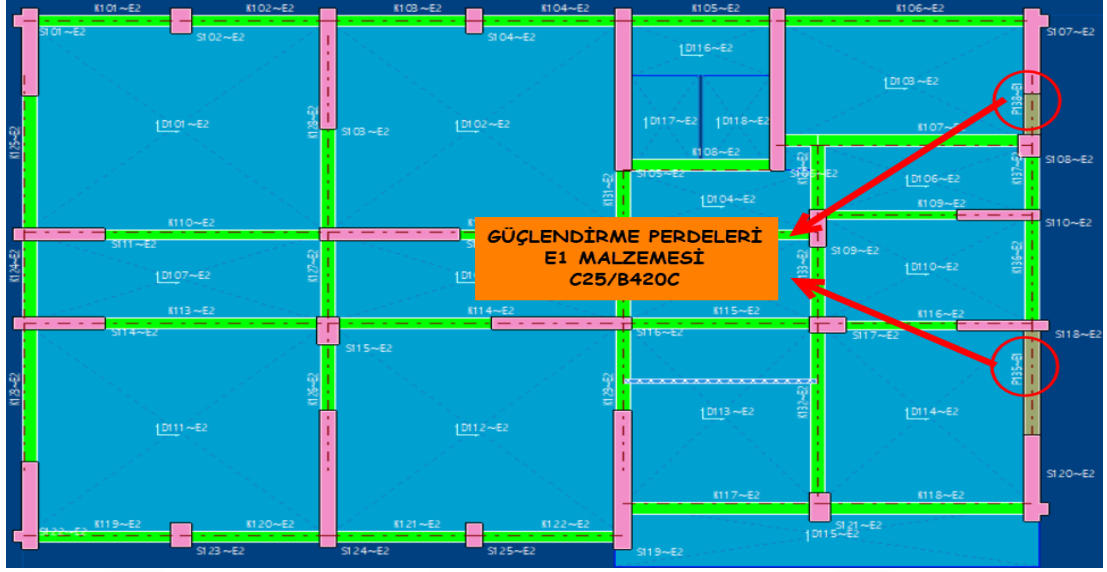
Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.30. DD1 ve DD3 deprem düzeylerinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

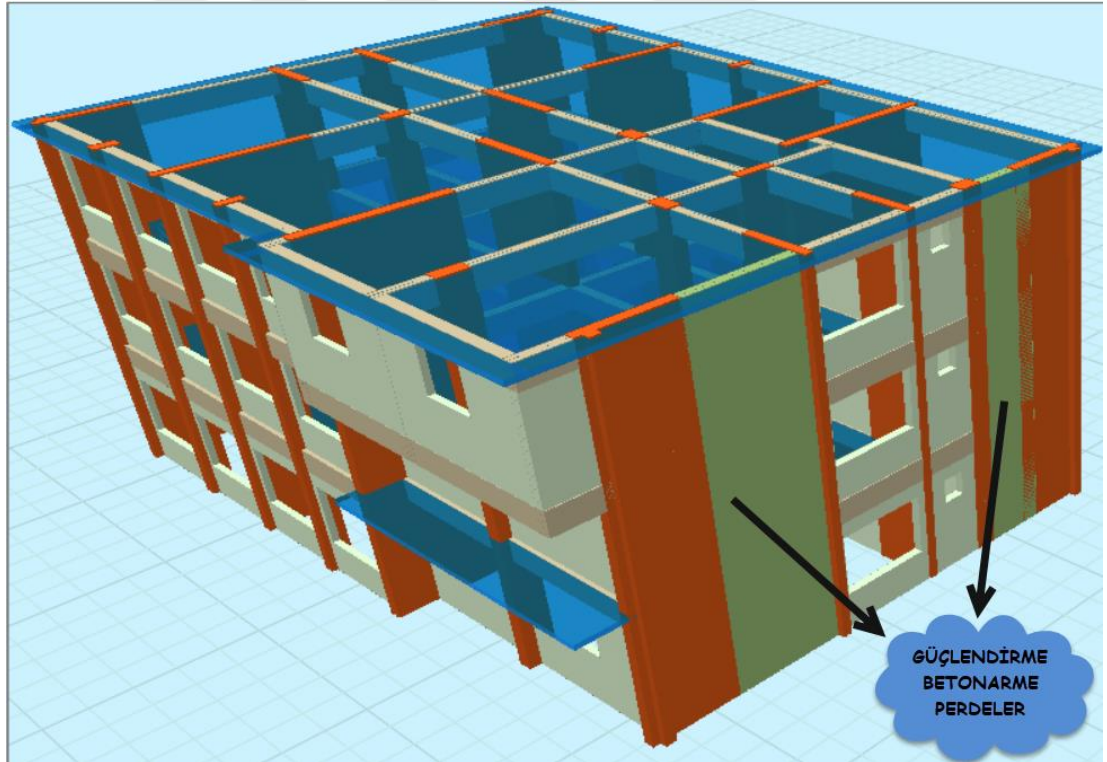
Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100							

4.3.2. Kalaycılar İlkokulunun Güçlendirilmiş Durumu

Kalaycılar ilkokulunda güçlendirme yöntemi olarak sistem bazında güçlendirme yöntemi seçilerek söz konusu okul binasına y doğrultusunda betonarme duvarlar ilave edilmiştir (bkz. Şekil 4.36 ve Şekil 4.37).



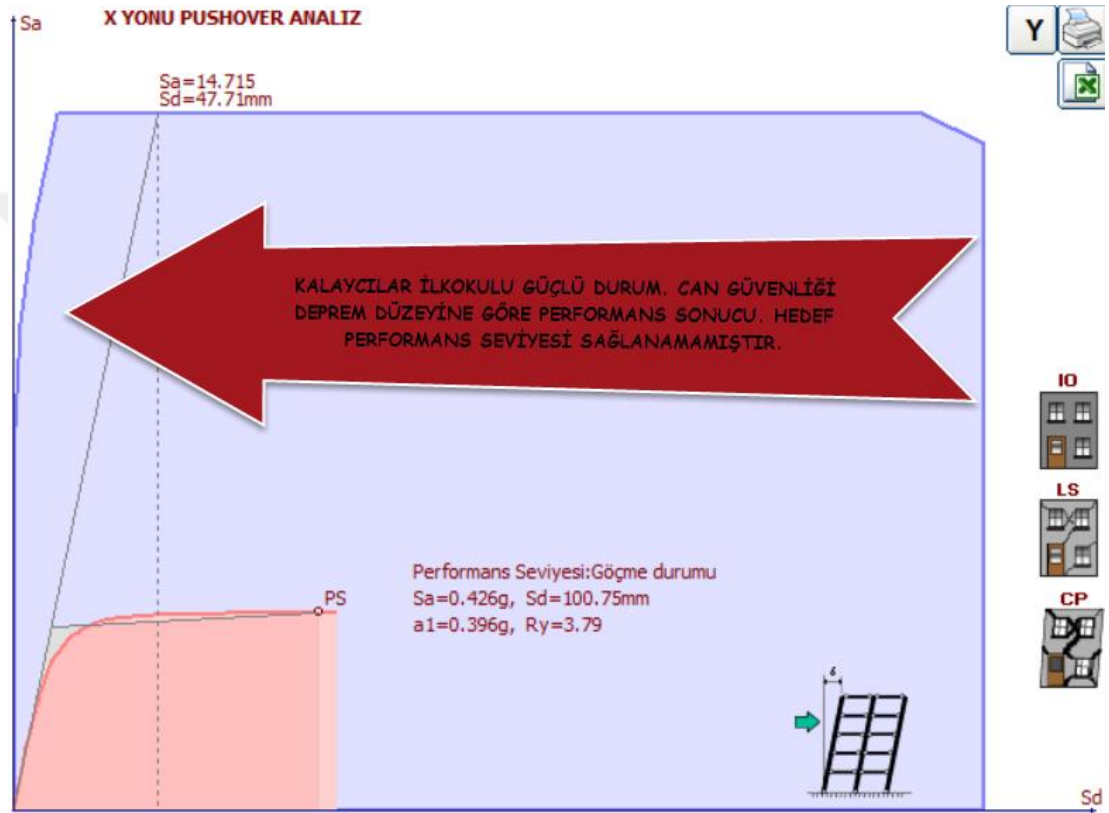
Şekil 4.36. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmesi amacıyla ilave edilen betonarme duvarların konumları.



Şekil 4.37. Kalaycılar ilkokulunda uygulanan güçlendirme betonarme duvarlarının bir görünümü.

4.3.2.1. Güçlendirilmiş Kalaycılar İlkokulunun DBYBHY'e Göre Performans Analizi

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun performans analizi ilk olarak CG deprem düzeyi için yapılmaktadır. Söz konusu deprem düzeyinde hedeflenen performans seviyesinin sağlanmadığı görülmüştür (bkz. Şekil 4.38).



Şekil 4.38. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun CG performans analizi sonucu.

Performans sonucu *Göçme Bölgesinde* olan güçlendirilmiş okul binasının hasar oranları sırasıyla Çizelge 4.31~Çizelge 4.33'te verilmektedir. Bu çizelgeler CG performans düzeyine göre değerlendirildiğinde, kirişlerin en fazla %30'u İH bölgesine geçmektedir. Çizelge 4.31'den -Y ve +Y deprem doğrultularında göçme bölgesinde olan kirişlerin bulunduğu görülmektedir. Bu durum hedef performans seviyesinin doğrudan sağlanamamasına neden olmaktadır. Ayrıca İH bölgesinde maksimum %20 oranında kolonların kesme kuvvetine katkıda bulunması gerekirken,

göçme bölgesinde bulunan kolonların kesme kuvvetine katkıda bulunduğu görülmüştür. Özetle, hedef performans seviyesinin sağlanamadığı görülmektedir.

Çizelge 4.31. CG performans depreminde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	31,8	68,2	0	0	31,8	68,2	0	0	58,8	0	0	41,2	58,8	0	0	41,2
2	9,1	90,9	0	0	9,1	90,9	0	0	35,3	0	0	64,7	35,3	0	0	64,7
1	9,1	90,9	0	0	9,1	90,9	0	0	42,9	7,1	0	50	35,7	14,3	0	50
Maks		90,9							58,8			64,7				

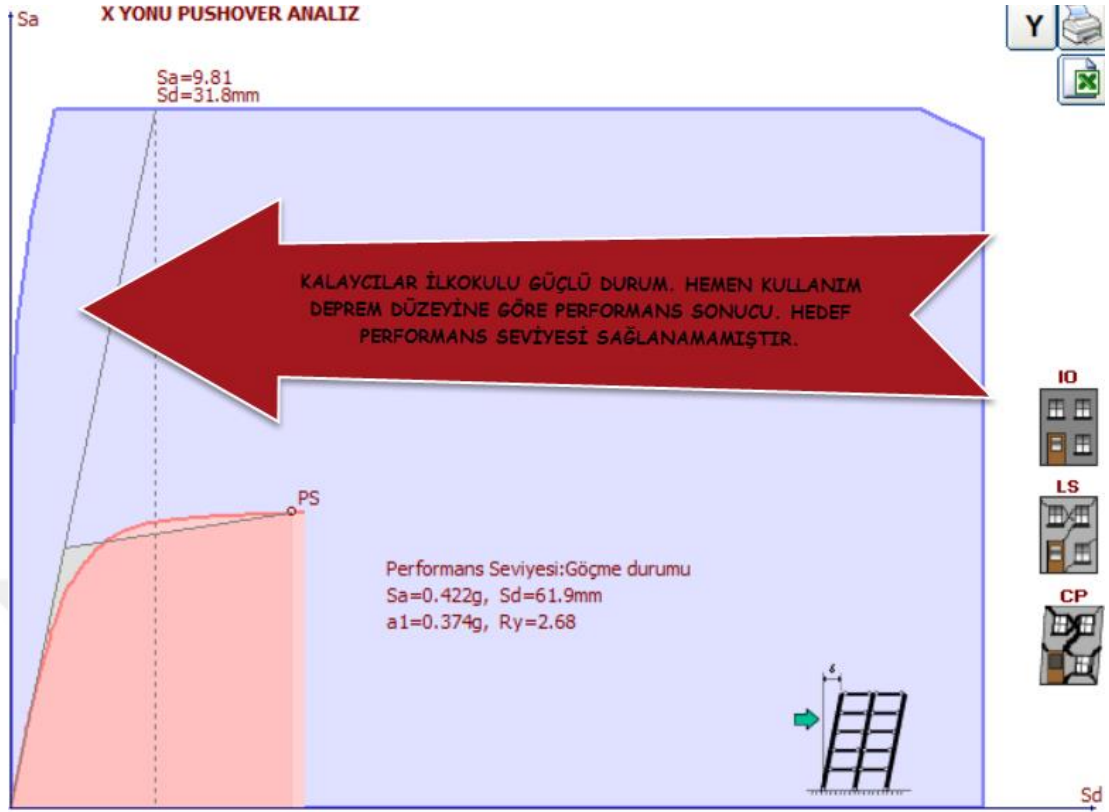
Çizelge 4.32. CG performans depreminde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	94,3	5,7	0	0	88,9	11,1	0	0	41,5	44,8	13,7	0	41,5	58,5	0	0
2	92,1	7,9	0	0	94,7	5,3	0	0	54,8	45,2	0	0	56,6	43,4	0	0
1	71,7	28,3	0	0	68,5	31,5	0	0	47,6	5,3	0	47,1	49,4	3,5	39,4	7,7
Maks					94,7							47,1		58,5	39,4	

Çizelge 4.33. CG performans depreminde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB
3	94,3	5,7	100	0	100	0	100	0
2	97,3	2,7	100	0	100	0	100	0
1	95,6	4,4	100	0	98,4	1,6	100	0
Maks		5,7	100					

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun HK deprem düzeyi için gerçekleştirilen performans analizi sonucu *Göçme Bölgesi* olarak elde edilmiştir (bkz. Şekil 4.39). Söz konusu okul binasının hasar oranları sırasıyla Çizelge 4.34~Çizelge 4.36'da verilmektedir. Bu çizelgeler HK performans düzeyi kuralına göre değerlendirildiğinde, kirişlerin en fazla %10'u BH bölgesine geçebilirken diğer taşıyıcı elemanların tamamının MN bölgesinde olması gerekmektedir. Buna göre -Y ve +Y deprem doğrultularında göçme bölgesinde kirişlerin bulunması ve BH ve İH bölgelerinde kolonların bulunması söz konusu performans hedefinin sağlanamadığını görülmektedir.



Şekil 4.39. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun HK performans analizi sonucu.

Çizelge 4.34. HK performans deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	45,5	54,5	0	0	45,5	54,5	0	0	58,8	5,9	11,8	23,5	58,8	5,9	11,8	23,5
2	31,8	68,2	0	0	27,3	72,7	0	0	35,3	23,5	5,9	35,3	35,3	17,6	11,8	35,3
1	31,8	68,2	0	0	27,3	72,7	0	0	50	7,1	14,3	28,6	50	7,1	14,3	28,6
Maks						72,7			58,8		14,3	35,3				

Çizelge 4.35. HK performans deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB	MN	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	69,8	30,2	0	0	69,8	30,2	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	77,2	22,8	0	0	77,2	22,8	0	0
1	78,4	21,6	0	0	77,0	23	0	0	85,6	12,4	2,1	0	63,4	36,6	0	0
Maks	100										2,1			36,6		

Çizelge 4.36. HK performans deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde MN bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

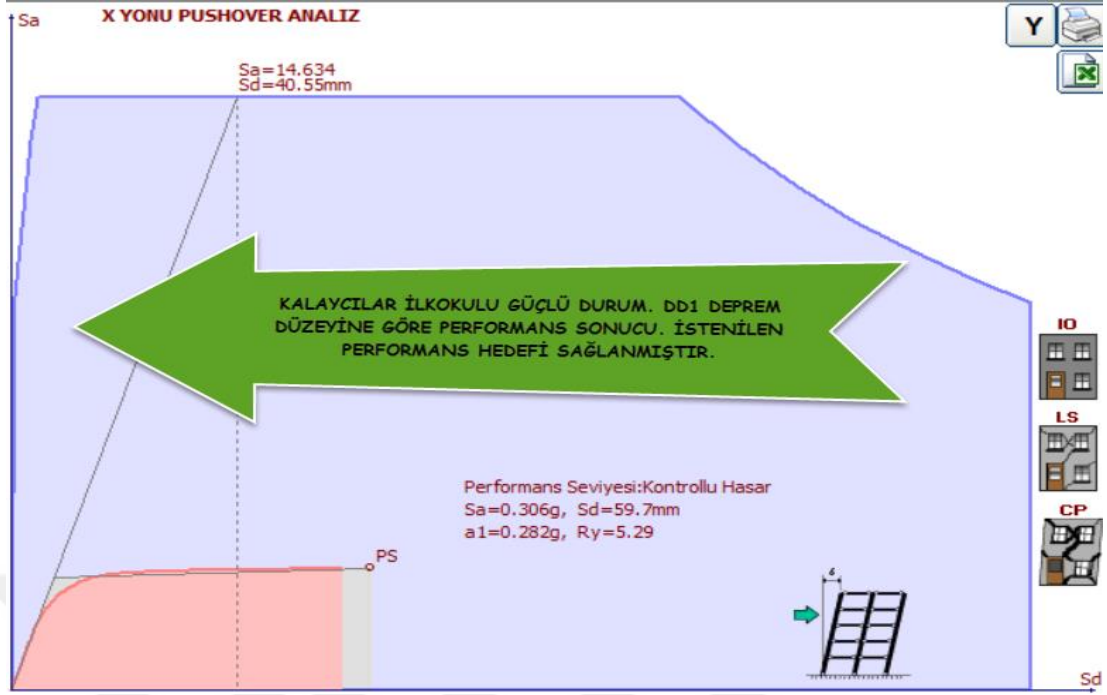
Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB	MN	BH+İH+GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks								

4.3.2.2. Güçlendirilmiş Kalaycılar İlkokulunun TBDY'e Göre Performans Analizi

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun performans analizi önce DD1 deprem düzeyine göre daha sonra DD3 deprem düzeyine göre yapılmıştır. Söz konusu okul binası performans hedefi sağlanmasına karşın, ilk etapta tek modlu nonlineer analiz gerçekleştirilmiştir. Ancak güçlendirilmiş okul binası için gerçekleştirilen analiz sonucunda y doğrultusunda $KKO = 48,9\%$ ve burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} = 1,49 > 1,4$ hesaplanarak yönetmelik koşulları sağlanamamıştır. Bu nedenle güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun çok modlu nonlineer analizinin yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen çok modlu nonlineer performans analizi sonucu Şekil 4.40'ta görülmektedir. Hedef performans seviyesi sağlanan güçlendirilmiş binanın hasar yüzdeleri sırasıyla Çizelge 4.37~Çizelge 4.39'da verilmektedir.

Çizelge 4.37. DD1 deprem düzeyinde giriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	45,5	54,5	0	0	45,5	54,5	0	0	64,7	35,3	0	0	64,7	35,3	0	0
2	27,3	72,7	0	0	31,8	68,2	0	0	58,8	41,2	0	0	52,9	47,1	0	0
1	36,4	63,6	0	0	36,4	63,6	0	0	50	50	0	0	50	50	0	0
Maks		72,7							64,7							



Şekil 4.40. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DD1 performans analizi sonucu.

Çizelge 4.38. DD1 deprem düzeyinde kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	92,6	7,4	0	0	83,7	16,3	0	0	88,5	11,5	0	0	88,5	11,5	0	0
2	96	4	0	0	88,5	11,5	0	0	87,1	12,9	0	0	90,5	9,5	0	0
1	93,6	6,4	0	0	46,8	53,2	0	0	81,9	18,1	0	0	72,9	27,1	0	0
Maks	96					53,2										

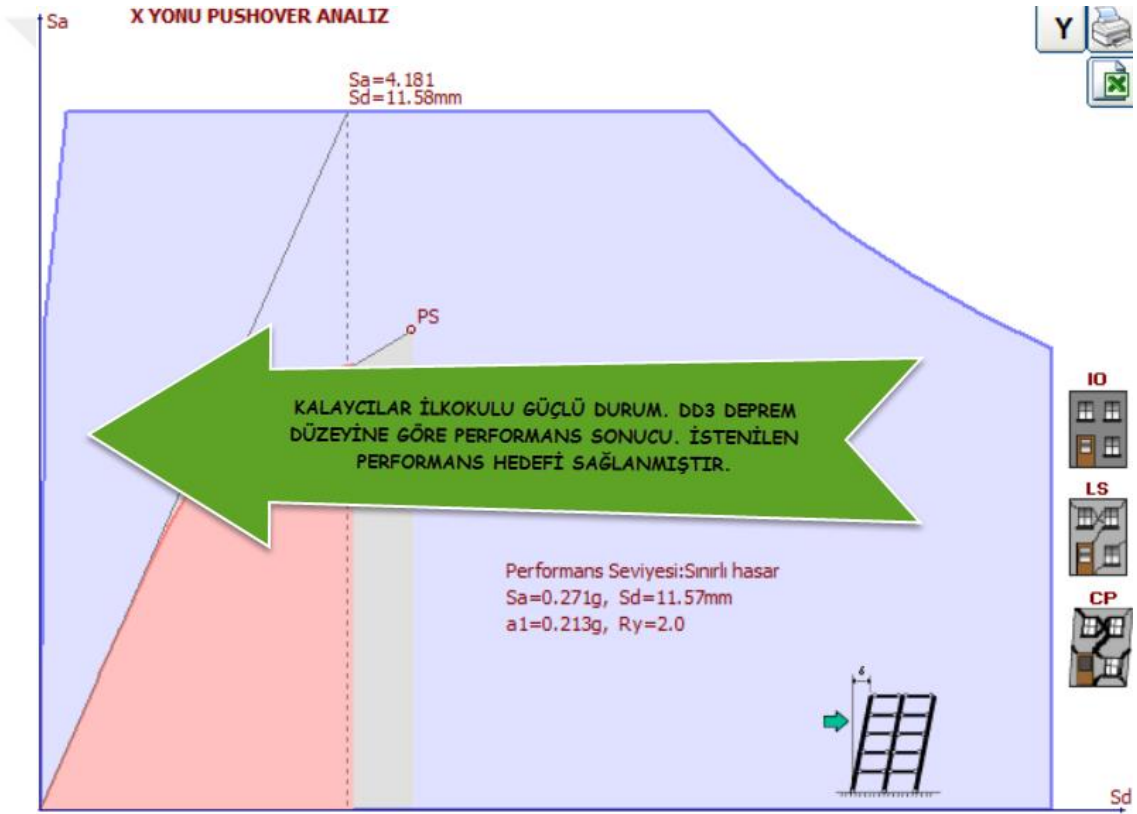
Çizelge 4.39. DD1 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100							

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun KH performans seviyesi sonuçları değerlendirildiğinde, İH bölgesinde herhangi bir kiriş ve kolon bulunmamaktadır. Ayrıca alt ve üst kesitlerinde BH sınırını aşan düşey yapısal eleman

bulunmadığından söz konusu güçlendirilmiş okul binası DD1 deprem düzeyi için hedef performans seviyesini sağlamaktadır.

DD1 deprem düzeyi için gerçekleştirilen tek modlu nonlinear analiz yöntemi DD3 deprem düzeyi için de uygulanmıştır. Burada da DD1 depreminde olduğu gibi kütle katılım oranı y doğrultusunda $KKO=48,9\%$ ve burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi}=1,6 > 1,4$ elde edilerek söz konusu yönetmelik koşulu sağlanmamış dolayısıyla çok modlu nonlinear analiz yöntemine göre çözümü yapılmıştır. Buna göre DD3 deprem düzeyi için performans analizi sonucu Şekil 4.41’de görülmektedir.



Şekil 4.41. Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DD3 performans analizi sonucu.

DD3 depremi düzeyi için hedef performans seviyesi sağlanan güçlendirilmiş okul binasının hasar yüzdeleri sırasıyla Çizelge 4.40~Çizelge 4.42’de verilmektedir. Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun SH performans seviyesi sonuçları değerlendirildiğinde, BH bölgesinde herhangi bir yapısal eleman bulunmamaktadır. Ayrıca güçlendirilmesi gereken gevrek yapısal eleman bulunmadığından söz konusu

güçlendirilmiş okul binası DD3 deprem düzeyi için hedef performans seviyesini sağlamaktadır.

Çizelge 4.40. DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.41. DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks	100															

Çizelge 4.42. DD3 deprem düzeyinde alt ve üst kesitlerinde BH bölgesini aşan kolonların kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	-X		+X		-Y		+Y	
	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB	SH + BH	İH + GB
3	100	0	100	0	100	0	100	0
2	100	0	100	0	100	0	100	0
1	100	0	100	0	100	0	100	0
Maks	100							

4.4. TABAN KESME KUVVETLERİ

4.4.1. Misakı Milli İlkokulu

Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının analizleri DBYBHY ve TBDY’de verilen deprem düzeylerine göre yapılmıştır. Yapısal analizler sonucunda söz konusu ilkokulun mevcut durumu için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri ve betonarme (perde) duvarların taşıma oranları Çizelge

4.43'te ve güçlendirilmiş durumları için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri ve betonarme duvarların taşıma oranları ise Çizelge 4.44'te verilmektedir.

Çizelge 4.43. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumu için taban momenti ve kesme kuvveti oranları.

Deprem Düzeyleri	X Doğrultusu					Y Doğrultusu				
	Taban		Yığışimli		Perde taşıma oranları (%)	Taban		Yığışimli		Perde taşıma oranları (%)
	ΣV_x	ΣM_x	V_T	M_T		ΣV_y	ΣM_y	V_T	M_T	
CG	694,04		850,2		82	747,7		850,2		88
HK	462,69		566,8		82	498,5		566,8		88
DD1		3552,8		7084,29	50		4921,9		7084,29	69
DD3		992,09		1978,24	50		1374,4		1978,24	69

Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunda CG deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan kesme kuvvetleri x doğrultusunda toplam 694,04 ton ve y doğrultusunda ise 747,76 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre mevcut betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda $(694,04/850,22)$ %82'sini ve y doğrultusunda ise $(747,76/850,22)$ %88'ini karşılamaktadır. Ayrıca söz konusu okul binasının periyodu x doğrultusunda $T_x = 0,34$ s ve y doğrultusunda ise $T_y = 0,21$ s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bulgu Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun y doğrultusunda daha rijit davrandığını göstermektedir. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunda HK deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan kesme kuvvetleri x doğrultusunda toplam 462,69 ton ve y doğrultusunda ise 498,51 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre mevcut betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda $(462,69/566,82)$ %82'sini ve y doğrultusunda ise $(498,51/566,82)$ %88'ini karşılamaktadır.

Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunda DD1 deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değeri x doğrultusunda 3552,79 tm ve y doğrultusunda ise 4921,87 tm olarak hesaplanmıştır. Buna göre mevcut betonarme duvarların meydana gelen depremin x doğrultusunda $(3552,79/7084,29)$ %50'sini ve y doğrultusunda ise $(4921,87/7084,29)$ %69'unu karşıladığı görülmektedir. Ayrıca yapı periyodu x doğrultusunda $T_x = 0,3$ s ve y doğrultusunda ise $T_y = 0,17$ s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bulgu Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun y doğrultusunda daha rijit davrandığını göstermektedir. Misakı Milli ilkokulu mevcut

durumunda DD3 deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değeri x doğrultusunda 992,09 tm ve y doğrultusunda ise 1374,4 tm olarak hesaplanmıştır. Buna göre mevcut betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda (992,09/1978,24) %50'sini ve y doğrultusunda ise (1374,4/1978,24) %69'unu karşılamaktadır.

Çizelge 4.44. Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulu taban momenti ve kesme kuvveti oranları.

Deprem Düzeyleri	X Doğrultusu					Y Doğrultusu				
	Taban		Yığılımlı		Perde taşıma oranları (%)	Taban		Yığılımlı		Perde taşıma oranları (%)
	ΣV_x	ΣM_x	V_T	M_T		ΣV_y	ΣM_y	V_T	M_T	
CG	701,15		958,2		73	788,02		819,4		96
HK	467,43		638,8		73	525,35		546,3		96
DD1		6077,13		8002,23	76		9563,65		9563,65	100
DD3		1970,04		2242,79	88		2679,62		2679,62	100

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun CG deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan kesme kuvvetleri x doğrultusunda toplam 701,15 ton ve y doğrultusunda ise 788,02 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda (701,15/958,19) %73'ünü ve y doğrultusunda ise (788,02/819,39) %96'sını karşılamaktadır. Ayrıca güçlendirilmiş okul binasının periyodu x doğrultusunda $T_x = 0,21 s$ ve y doğrultusunda ise $T_y = 0,15 s$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bulgu güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun x ve y doğrultusundaki periyod değerlerinin birbirine yaklaştığını dolayısıyla söz konusu okul binasının mevcut durumuna göre daha iyi davranış göstereceğini ortaya koymaktadır. Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun HK deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan kesme kuvvetleri x doğrultusunda toplam 467,43 ton ve y doğrultusunda ise 525,35 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda (467,43/638,79) %73'ünü ve y doğrultusunda ise (525,35/546,26) %96'sını karşılamaktadır.

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun DD1 deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değerleri x doğrultusunda 6077,13 tm ve y doğrultusunda ise 9563,65 tm olarak hesaplanmıştır. Buna göre betonarme duvarlar

meydana gelen depremin x doğrultusunda (6077,13/8002,23) %76'sını ve y doğrultusunda ise (9563,65/9563,65) %100'ünü karşılamaktadır. Ayrıca yapı periyodu x doğrultusunda $T_x = 0,18$ s ve y doğrultusunda ise $T_y = 0,12$ s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bulgu güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun y doğrultusunda daha rijit davranış göstereceğini ortaya koymaktadır. Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun DD3 deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değerleri x doğrultusunda 1970,04 tm ve y doğrultusunda ise 2679,62 tm olarak hesaplanmıştır. Buna göre betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda (1970,04/2242,79) %88'ini ve y doğrultusunda ise (2679,62/2679,62) %100'ünü karşılamaktadır.

4.4.2. Kalaycılar İlkokulu

Kalaycılar ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının analizleri DBYBHY ve TBDY'de verilen deprem düzeylerine göre yapılmıştır. Yapısal analizler sonucunda söz konusu ilkokulun mevcut durumu için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri ve betonarme duvarların taşıma oranları Çizelge 4.45'te ve güçlendirilmiş durumları için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri ve betonarme duvarların taşıma oranları ise Çizelge 4.46'da verilmektedir.

Çizelge 4.45. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumu için taban momenti ve kesme kuvveti oranları.

Deprem Düzeyleri	X Doğrultusu					Y Doğrultusu				
	Taban		Yığılımlı		Perde taşıma oranları (%)	Taban		Yığılımlı		Perde taşıma oranları (%)
	ΣV_x	ΣM_x	V_T	M_T		ΣV_y	ΣM_y	V_T	M_T	
CG	284,85		480,5		59	450		480,5		94
HK	186,16		320,3		58	297,64		320,3		93
DD1		2428,62		3970,64	61		3807,72		4207,36	91
DD3		698,25		1136,56	61		1029,75		1136,56	91

Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunda CG deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan kesme kuvvetleri x doğrultusunda 284,85 ton ve y doğrultusunda ise 450 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre mevcut betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda (284,85/480,45) %59'unu ve y doğrultusunda ise (450/480,45) %94'ünü karşılamaktadır. Ayrıca mevcut okul binasının periyodu x

doğrultusunda $T_x = 0,35$ s ve y doğrultusunda ise $T_y = 0,22$ s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bulgu Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun y doğrultusunda daha rijit davrandığını göstermektedir. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunda HK deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan kesme kuvvetleri x doğrultusunda 186,16 ton ve y doğrultusunda ise 297,64 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre mevcut betonarme duvarların meydana gelen depremin x doğrultusunda $(186,16/320,3)$ %58'ini ve y doğrultusunda ise $(297,64/320,3)$ %93'ünü karşıladığı görülmektedir. Burada CG deprem düzeyini için Kalaycılar ilkokulu mevcut durumu hedeflenen performansı sağlayamadığından hem x hem de y doğrultusunda hesaplanan periyot değerlerinin performans durumdaki değerler olmadığını belirtmek yararlı olacaktır.

Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunda DD1 deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değerleri x doğrultusunda 2428,62 tm ve y doğrultusunda ise 3807,72 tm olarak hesaplanmıştır. Buna göre mevcut betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda $(2428,62/3970,64)$ %61'ini ve y doğrultusunda ise $(3807,72/4207,36)$ %91'ini karşılamaktadır. Ayrıca söz konusu okul binası periyodu x doğrultusunda $T_x = 0,33$ s ve y doğrultusunda ise $T_y = 0,18$ s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bulgu Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun y doğrultusunda daha rijit davrandığını göstermektedir. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunda DD3 deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değerleri x doğrultusunda 698,25 tm ve y doğrultusunda ise 1029,75 tm olarak hesaplanmıştır. Buna göre mevcut betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda $(698,25/1136,56)$ %61'ini ve y doğrultusunda ise $(1029,75/1136,56)$ %91'ini karşılamaktadır.

Çizelge 4.46. Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulu taban momenti ve kesme kuvveti oranları.

Deprem Düzeyleri	X Doğrultusu					Y Doğrultusu				
	Taban		Yığışimli		Perde taşıma oranları (%)	Taban		Yığışimli		Perde taşıma oranları (%)
	ΣV_x	ΣM_x	V_T	M_T		ΣV_y	ΣM_y	V_T	M_T	
CG	283,68		488,15		58	459,58		488,15		94
HK	189,12		325,43		58	306,38		325,43		94
DD1		2460,05		4036,13	61		3271,12		3758,86	87
DD3		677,62		1111,85	61		934,01		1073,25	87

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun CG deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan kesme kuvvetleri x doğrultusunda 283,68 ton ve y doğrultusunda ise 459,58 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda $(283,68/488,15)$ %58'ini ve y doğrultusunda ise $(459,58/488,15)$ %94'ünü karşılamaktadır. Ayrıca güçlendirilmiş okul binasının periyodu x doğrultusunda $T_x = 0,35$ s ve y doğrultusunda ise $T_y = 0,26$ s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bulgu güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun y doğrultusunda daha rijit davrandığını göstermektedir. Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun HK deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değerleri x doğrultusunda 189,12 ton ve y doğrultusunda ise 306,38 ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda $(189,12/325,43)$ %58'ini ve y doğrultusunda ise $(306,38/325,43)$ %94'ünü karşıladığı görülmektedir.

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun DD1 deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değeri x doğrultusunda 2460,05 tm ve y doğrultusunda ise 3271,12 tm olarak hesaplanmıştır. Buna göre betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda $(2460,05/4036,13)$ %61'ini ve y doğrultusunda ise $(3271,12/3758,86)$ %87'sini karşılamaktadır. Ayrıca güçlendirilmiş okul binasının periyodu x doğrultusunda $T_x = 0,33$ s ve y doğrultusunda ise $T_y = 0,14$ s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu bulgu güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun y doğrultusunda daha rijit davrandığını göstermektedir. Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun DD3 deprem düzeyinde betonarme duvarların tabanında oluşan taban momenti değeri x doğrultusunda 677,62 tm ve y doğrultusunda ise 934,01 tm olarak hesaplanmıştır. Buna göre betonarme duvarlar meydana gelen depremin x doğrultusunda $(677,62/1111,85)$ %61'ini ve y doğrultusunda ise $(934,01/1073,25)$ %87'sini karşılamaktadır.

4.5. SPEKTRAL İVME VE YERDEĞİŞTİRMELER

4.5.1. Misakı Milli İlkokulu

Misakı Milli ilkokulunun DBYBHY ve TBDY’de verilen deprem düzeylerine göre gerçekleştirilen yapısal analizleri sonucu performans seviyesinde elde edilen spektral ivme (S_a) değerleri Çizelge 4.47’de verilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi DBYBHY’den elde edilen ivme değerleri TBDY’de elde edilenlerden daha büyük olmaktadır. Ayrıca bu şekillerden CG performans seviyesinden elde edilen spektral ivme değerlerinin diğer performans seviyelerinden daha büyük olduğu görülmektedir.

Misakı Milli ilkokulunun DBYBHY ve TBDY’ye göre dikkate alınan deprem düzeylerinde yapılan yapısal çözümlemeler sonucunda x ve y deprem doğrultularında performans seviyesine ulaştığında elde edilen spektral yerdeğiştirme (S_d) değerleri Çizelge 4.48’de verilmektedir. Bu çizelgeden CG performans seviyesi için hesaplanan spektral yerdeğiştirme değerlerinin hem x hem de y doğrultusunda diğer deprem düzeyleri için elde edilenlerden büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.47. Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının performans seviyesindeki spektral ivme değerleri.

Deprem Düzeyleri	X Doğrultusunda		Y Doğrultusunda	
	Mevcut durum	Güçlendirilmiş durum	Mevcut durum	Güçlendirilmiş durum
CG	0,617	1,482	1,748	1,531
HK	0,57	0,998	1,412	1,048
DD1	0,55	1,23	1,186	1,195
DD3	0,325	0,475	0,37	0,39

Çizelge 4.48. Misakı Milli ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumunun spektral yerdeğiştirme değerleri.

			Deprem Düzeyleri			
			CG	HK	DD1	DD3
Mevcut durum	S_d (cm)	X Doğrultusunda	8,9	5,2	3,9	0,9
		Y Doğrultusunda	4,2	2,8	1,9	0,3
Güçlendirilmiş durum	S_d (cm)	X Doğrultusunda	1,7	1,1	1,2	0,4
		Y Doğrultusunda	0,8	0,6	0,5	0,1

4.5.2. Kalaycılar İlkokulu

Kalaycılar ilkokulunun DBYBHY ve TBDY’de verilen deprem düzeylerine göre gerçekleştirilen yapısal analizleri sonucu performans seviyesinde elde edilen spektral ivme (S_a) değerleri Çizelge 4.49’da verilmektedir. Bu şekillerden Kalaycılar ilkokulunda da DBYBHY’den elde edilen ivme değerleri TBDY’de elde edilenlerden büyük olmaktadır. Ayrıca bu şekillerden CG performans seviyesinden elde edilen spektral ivme değerlerinin diğer deprem düzeylerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Diğer taraftan Kalaycılar ilkokulu mevcut durumu ile CG deprem düzeyinde gerekli performans seviyesine ulaşamadığından belli bir ivme değeri elde edilememiştir (bkz. Çizelge 4.49).

Kalaycılar ilkokulunun DBYBHY ve TBDY’ye göre dikkate alınan deprem düzeylerinde yapılan yapısal çözümlemeler sonucunda x ve y deprem doğrultularında performans seviyesine ulaştığında elde edilen spektral yerdeğiştirme (S_d) değerleri Çizelge 4.50’de verilmektedir. Bu çizelgeden TBDY’de önerilen deprem düzeyleri için elde edilen spektral yerdeğiştirme değerleri DBYBHY’de önerilen deprem düzeylerinden elde edilenlerden küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca CG deprem düzeyinde gerekli performans seviyesine ulaşamadığından belli bir spektral yerdeğiştirme değeri elde edilememiştir. Diğer taraftan güçlendirme amacıyla ilave edilen betonarme duvarlar y doğrultusunda olduğundan y doğrultusunda spektral yerdeğiştirme değerleri x doğrultusunda elde edilen spektral yerdeğiştirme değerlerinden küçük olmaktadır.

Çizelge 4.49. Kalaycılar ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının performans seviyesindeki spektral ivme değerleri.

Deprem Düzeyleri	X Doğrultusunda		Y Doğrultusunda	
	Mevcut durum	Güçlendirilmiş durum	Mevcut durum	Güçlendirilmiş durum
CG	-	0,426	-	1,093
HK	0,423	0,422	0,625	0,815
DD1	0,333	0,306	0,592	0,619
DD3	0,284	0,271	0,403	0,411

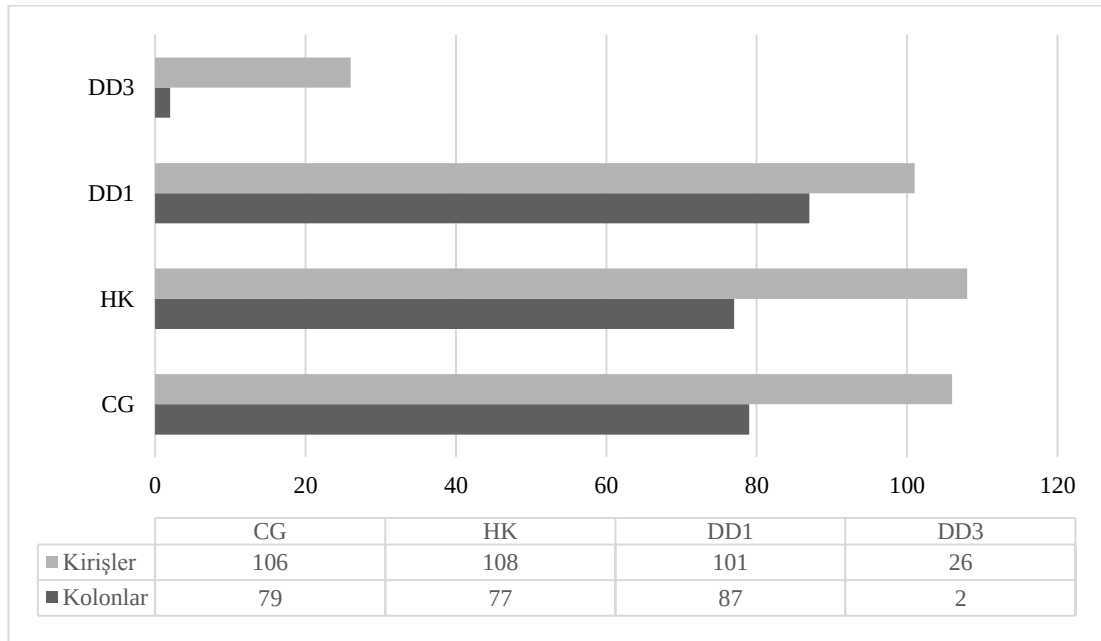
Çizelge 4.50. Kalaycılar ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumunun spektral yerdeğiştirme değerleri.

			Deprem Düzeyleri			
			CG	HK	DD1	DD3
Mevcut durum	S _d (cm)	X Doğrultusunda	1,1	6,1	5,8	1,1
		Y Doğrultusunda	0,6	3	1,6	0,3
Güçlendirilmiş durum	S _d (cm)	X Doğrultusunda	10,1	6,2	6	1,2
		Y Doğrultusunda	4,2	2,1	1,1	0,3

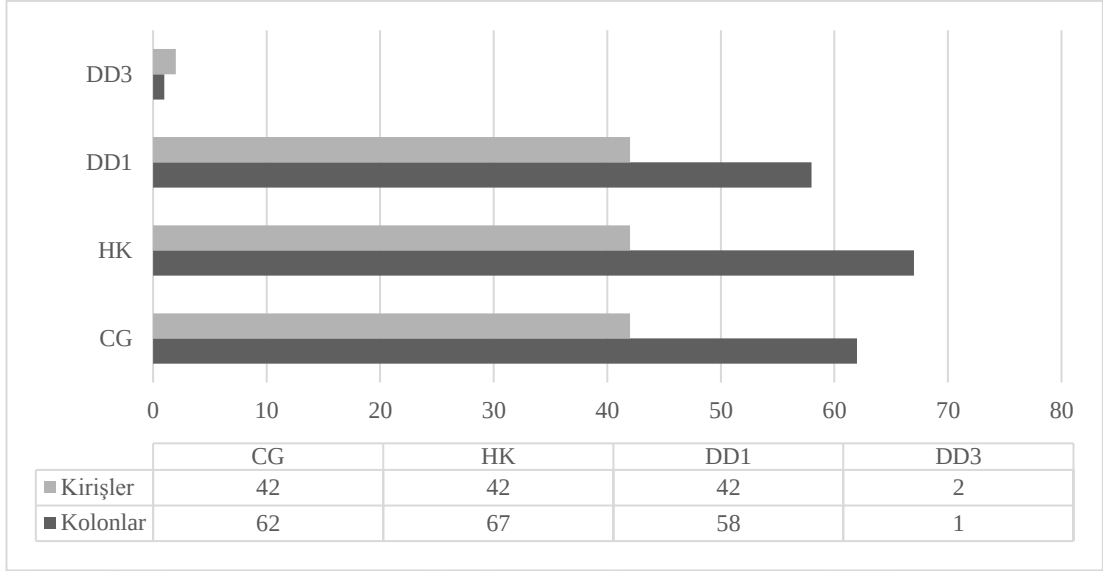
4.6. İTERASYON ADIMLARI VE YAPISAL ELEMANLARIN PLASTİKLEŞMESİ

4.6.1. Misakı Milli İlkokulu

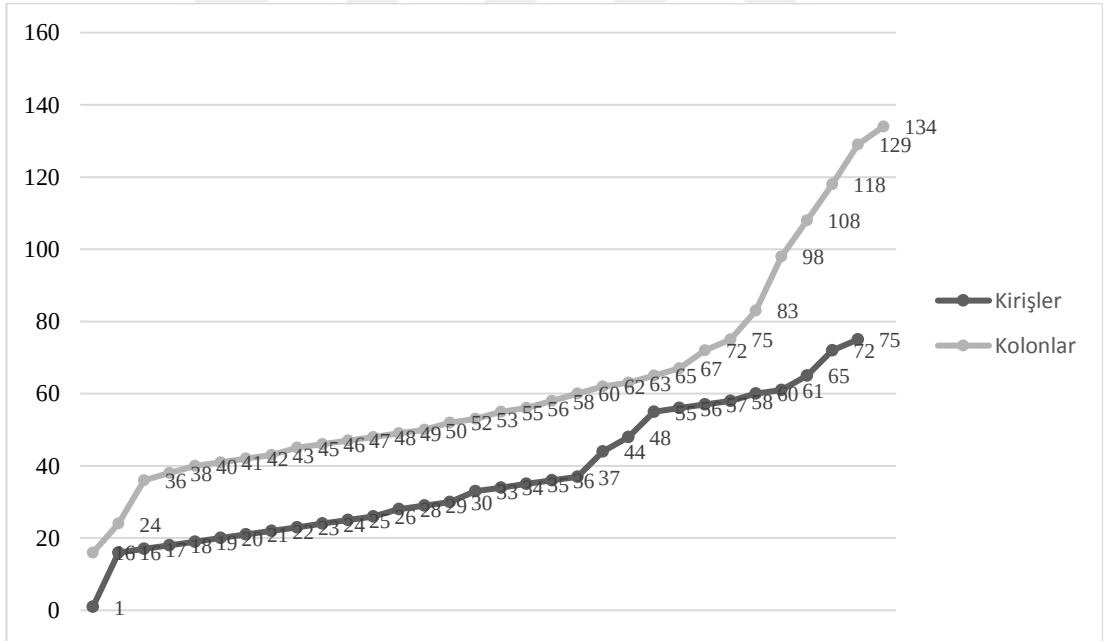
Misakı Milli ilkokulunun mevcut durumu için DBYBHY ve TBDY'deki deprem düzeylerine göre yapısal elemanlarında (kolonlar ve kirişlerde) toplam plastik mafsalları Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te görülmektedir. Ayrıca söz konusu okul binasının dikkate alınan deprem düzeyleri için x ve y doğrultularındaki iterasyon adımlarına göre mafsallaşma sayıları da sırasıyla Şekil 4.44~Şekil 4.51'te verilmektedir.



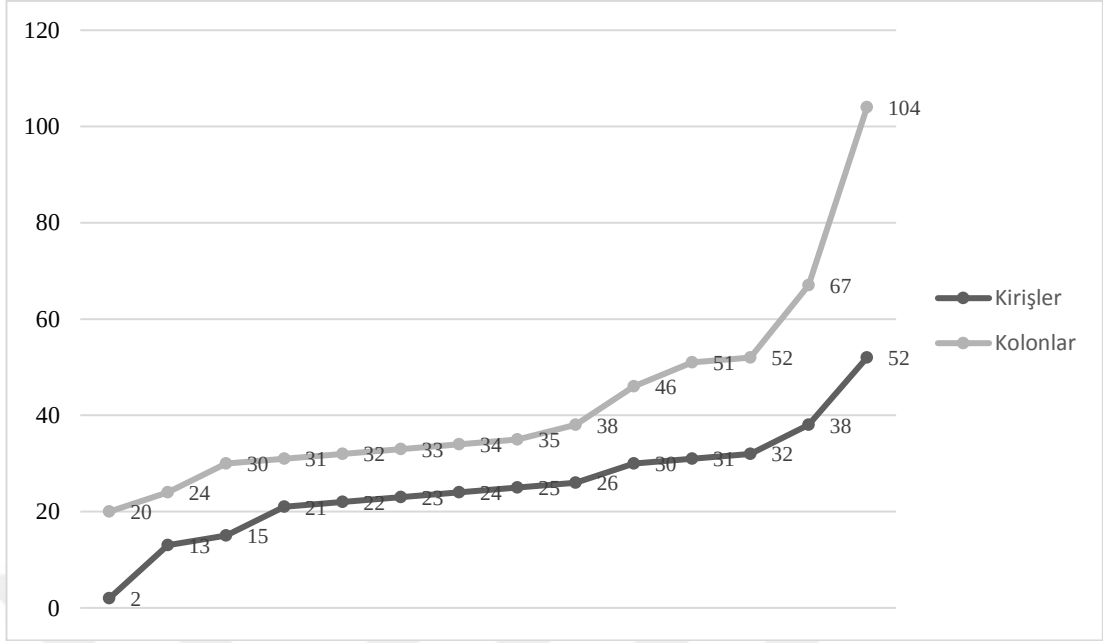
Şekil 4.42. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun x deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları.



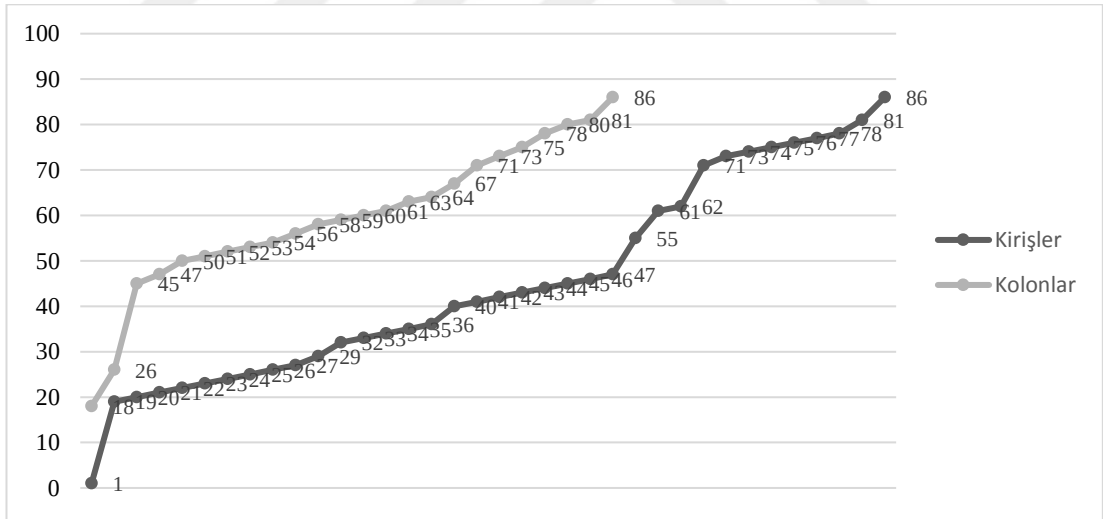
Şekil 4.43. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun y deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları.



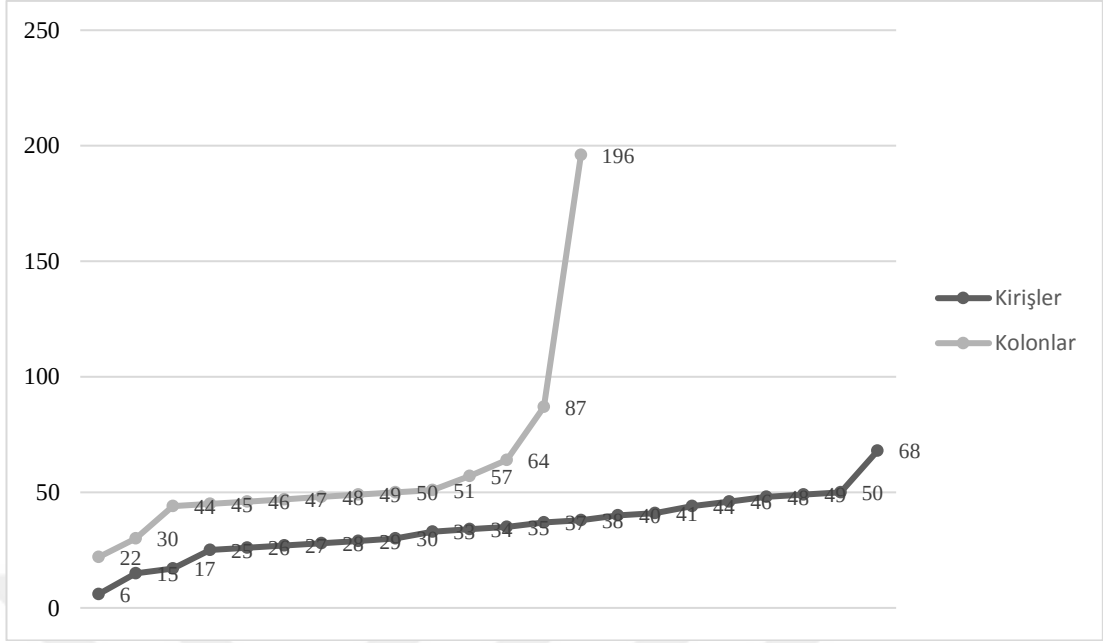
Şekil 4.44. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun CG deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



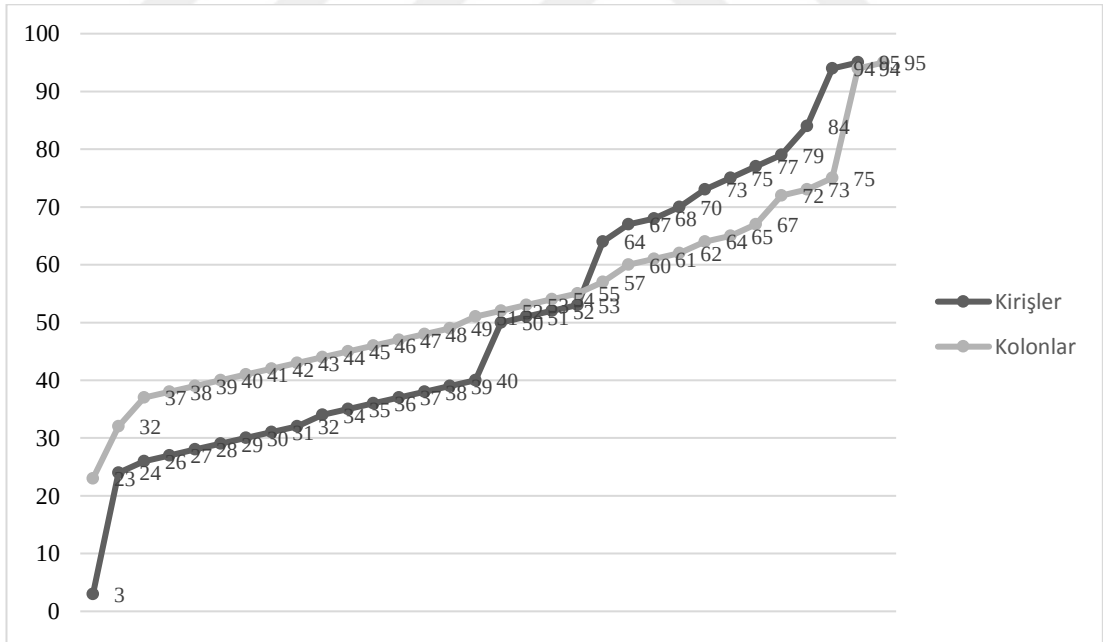
Şekil 4.45. Misaki Milli ilkokulu mevcut durumunun CG deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



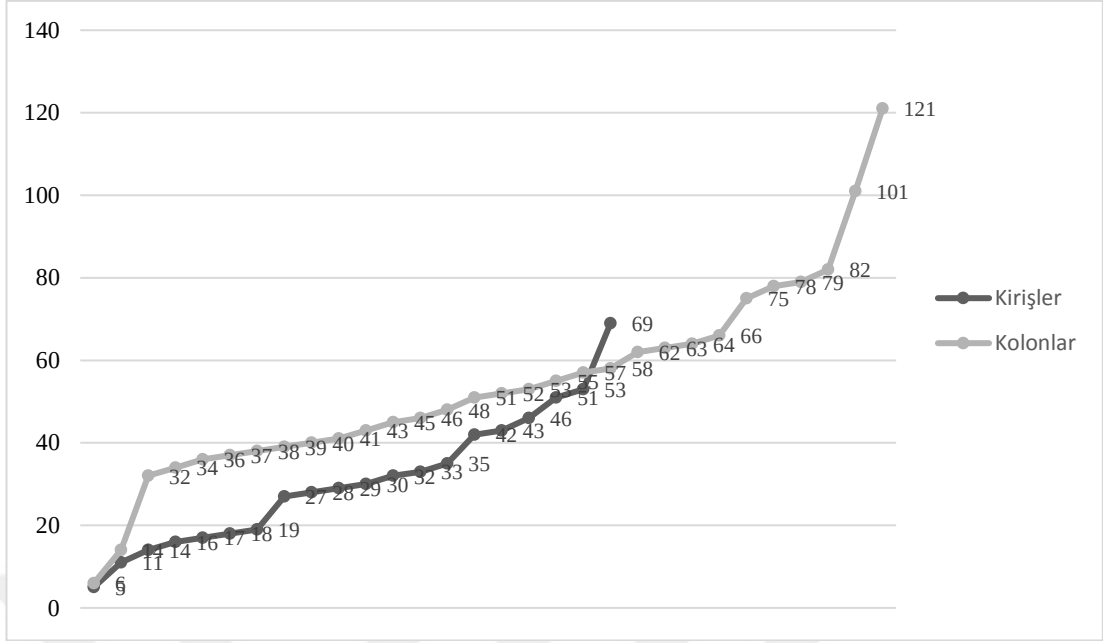
Şekil 4.46. Misaki Milli ilkokulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



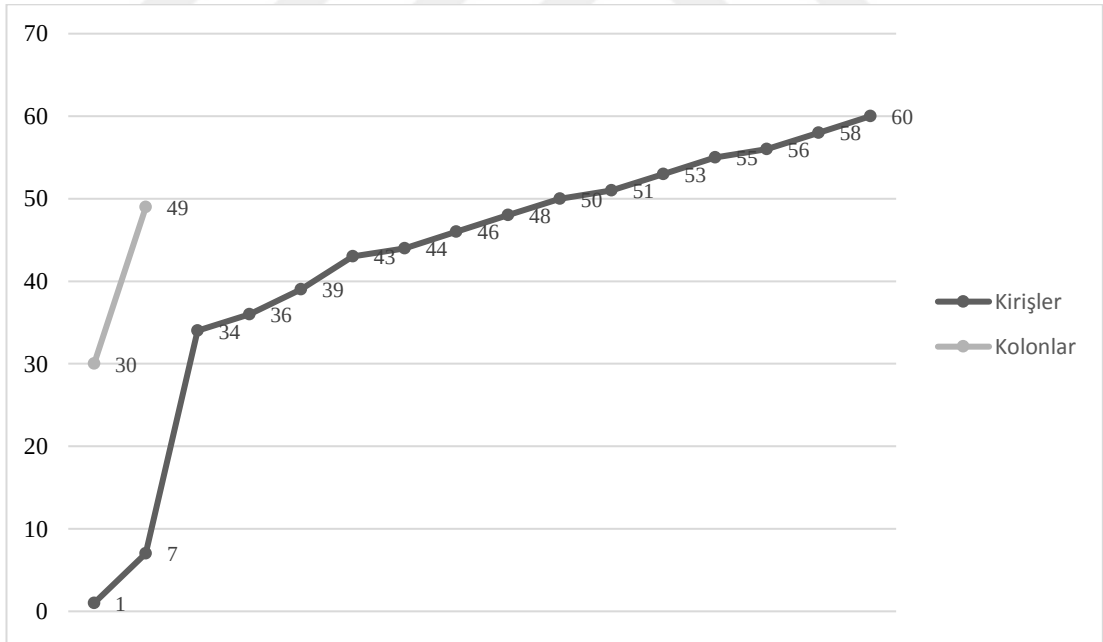
Şekil 4.47. Misakı Milli ilkökulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



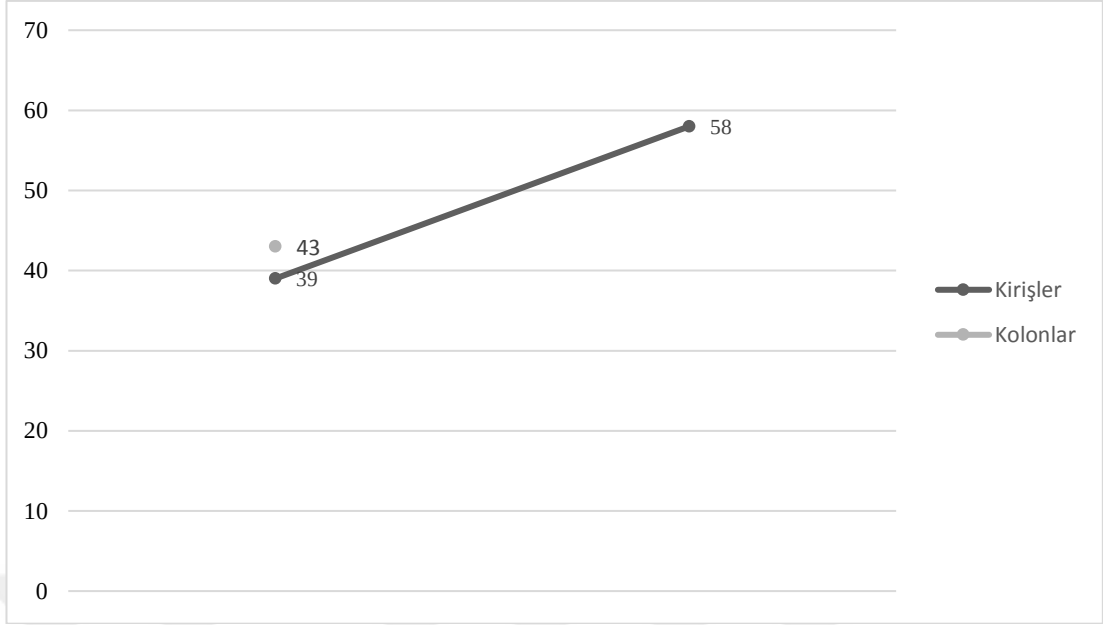
Şekil 4.48. Misakı Milli ilkökulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



Şekil 4.49. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



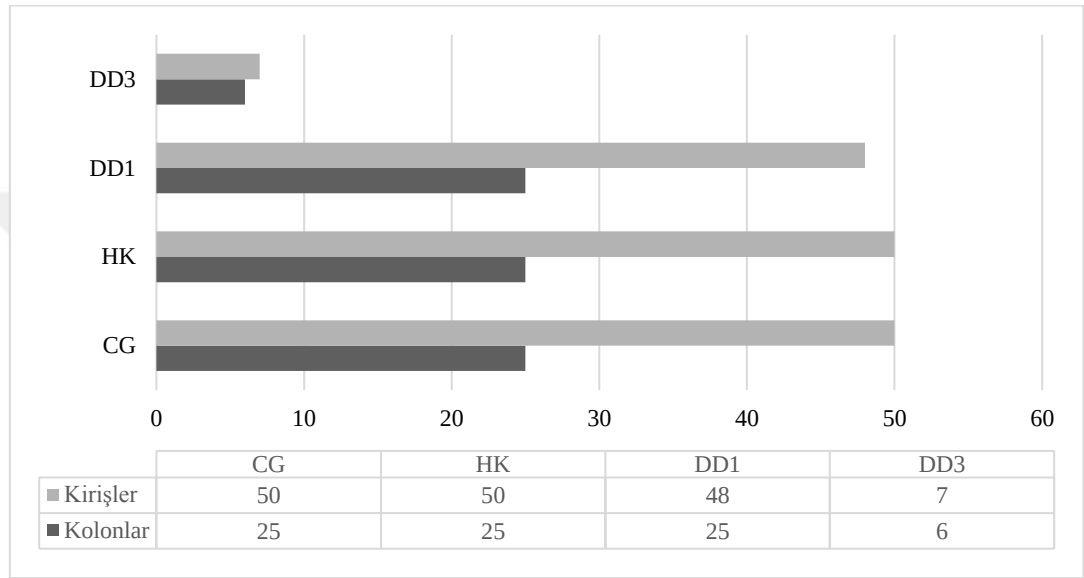
Şekil 4.50. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



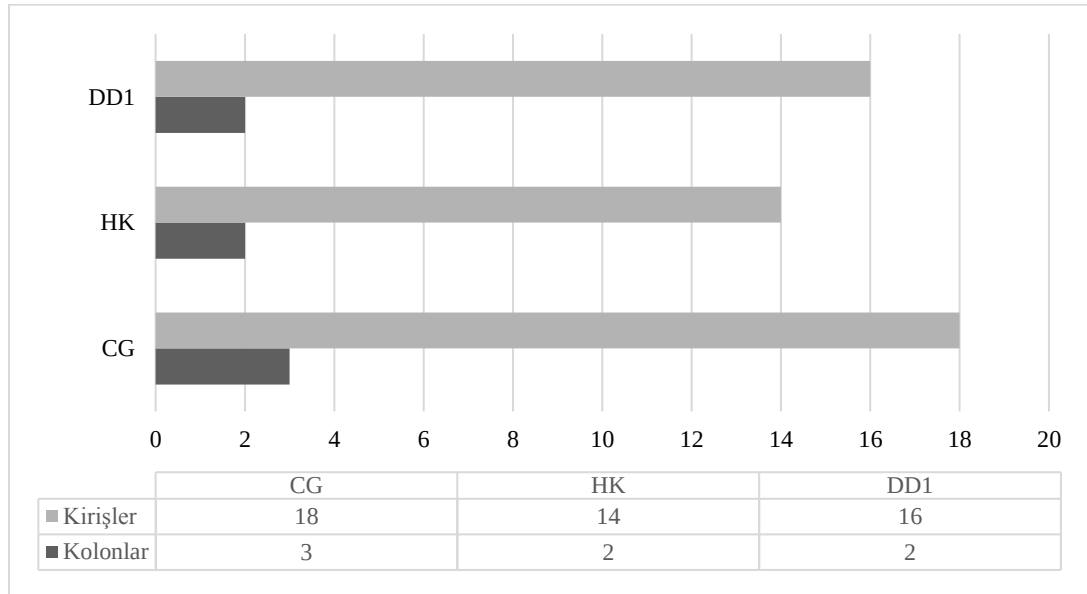
Şekil 4.51. Misakı Milli ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Misakı Milli ilkokulunda CG deprem düzeyinde performansa x doğrultusunda 134 ve y doğrultusunda ise 200 iterasyon adımıyla ulaşılmıştır. Ayrıca söz konusu deprem düzeyinde x doğrultusunda toplamda 106 adet kiriş ve 79 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 42 adet kiriş ve 62 adet kolonda plastik mafsalları belirlenmiştir. Misakı Milli ilkokulunun HK deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 86 ve y doğrultusunda ise 198 iterasyon adımıyla ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x doğrultusunda 108 adet kiriş ve 77 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 42 adet kiriş ve 67 adet kolonda plastik mafsalları oluşmuştur. Misakı Milli ilkokulunun DD1 deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 95 ve y doğrultusunda ise 133 iterasyon adımıyla ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x deprem doğrultusunda 101 adet kiriş ve 87 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 42 adet kiriş ve 58 adet kolonda plastik mafsalları gözlemlenmiştir. Misakı Milli ilkokulunun DD3 deprem düzeyinde performans seviyesi x doğrultusunda 71 ve y doğrultusunda 62 iterasyon adımıyla sağlanmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x deprem doğrultusunda 26 adet kiriş ve 2 adet kolonda ve y deprem doğrultusunda ise 2 adet kiriş ve 1 adet kolonda plastik mafsalları oluşmuştur.

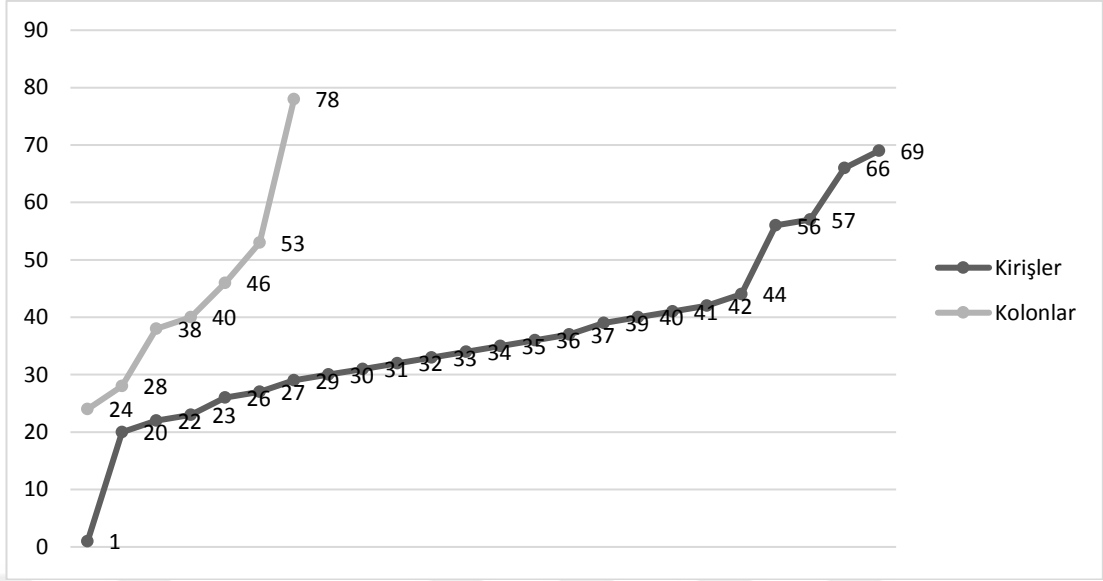
Misakı Milli ilkokulunun DBYBHY ve TBDY'e göre güçlendirilmiş durumları için söz konusu deprem düzeylerine göre yapısal elemanlarında oluşan toplam plastik mafsalsayı Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'te verilmektedir. Ayrıca söz konusu güçlendirilmiş okul binasının dikkate alınan deprem düzeyleri için x ve y doğrultularındaki iterasyon adımlarına göre yapısal elemanlarda oluşan plastik mafsalsayı da sırasıyla Şekil 4.54~Şekil 4.60'te verilmektedir.



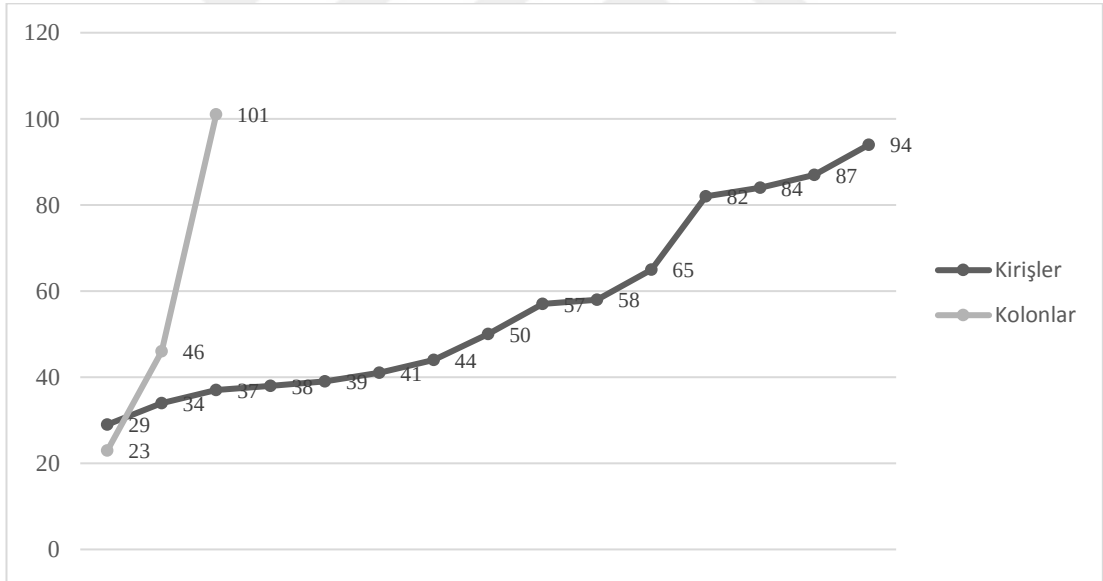
Şekil 4.52. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun x deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları.



Şekil 4.53. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun y deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları.

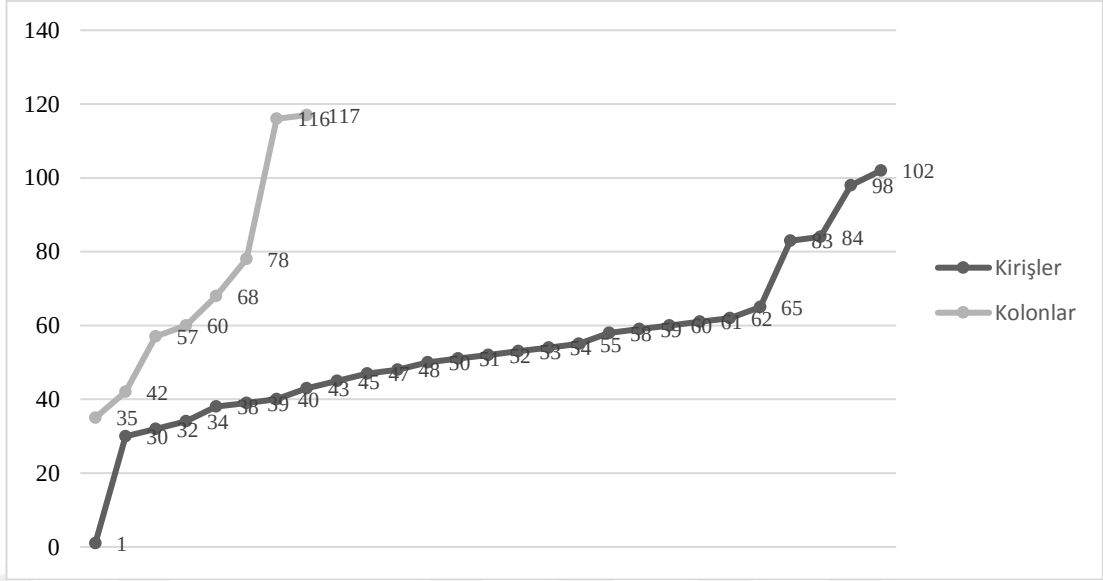


Şekil 4.54. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun CG deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

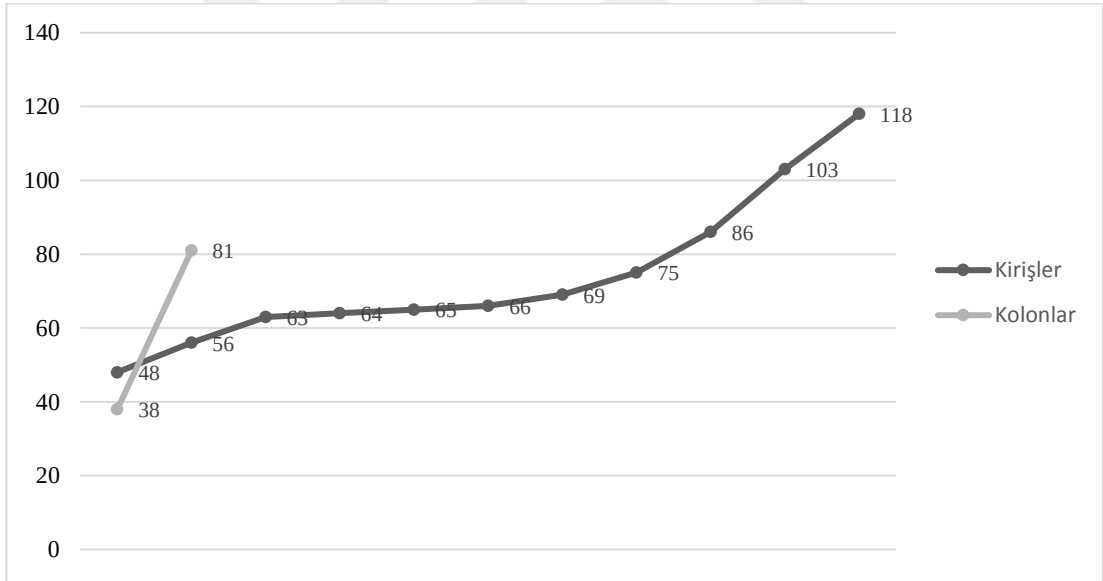


Şekil 4.55. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun CG deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulu CG deprem düzeyinde performansa x doğrultusunda 81 ve y doğrultusunda ise 104 iterasyon adımıyla ulaşılmıştır. Ayrıca söz konusu deprem düzeyinde x doğrultusunda toplamda 50 adet kiriş ve 25 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 18 adet kiriş ve 3 adet kolonda plastik mafsalları oluşmuştur.

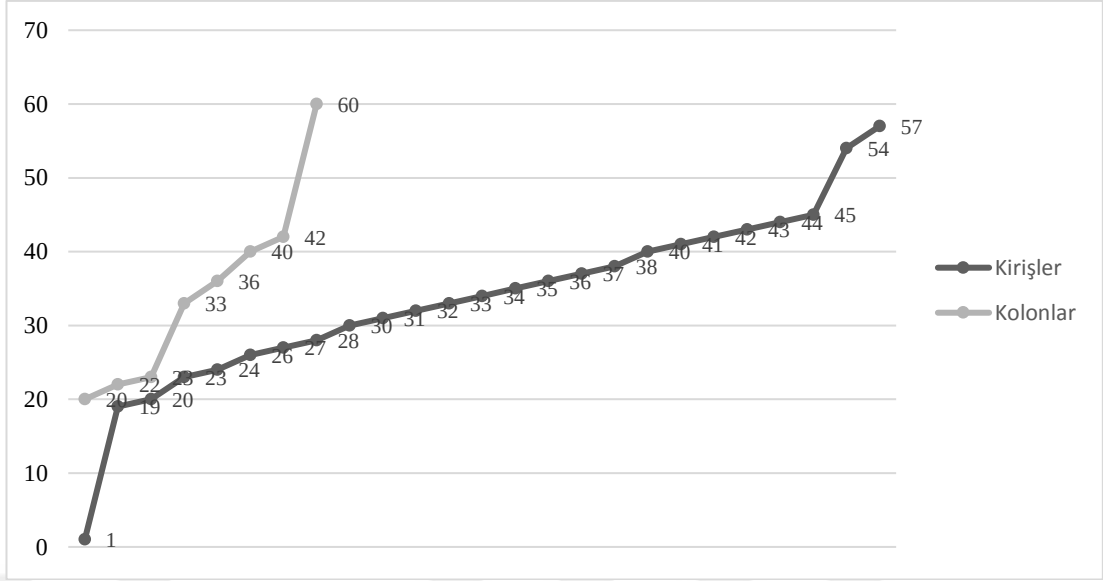


Şekil 4.56. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun HK deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

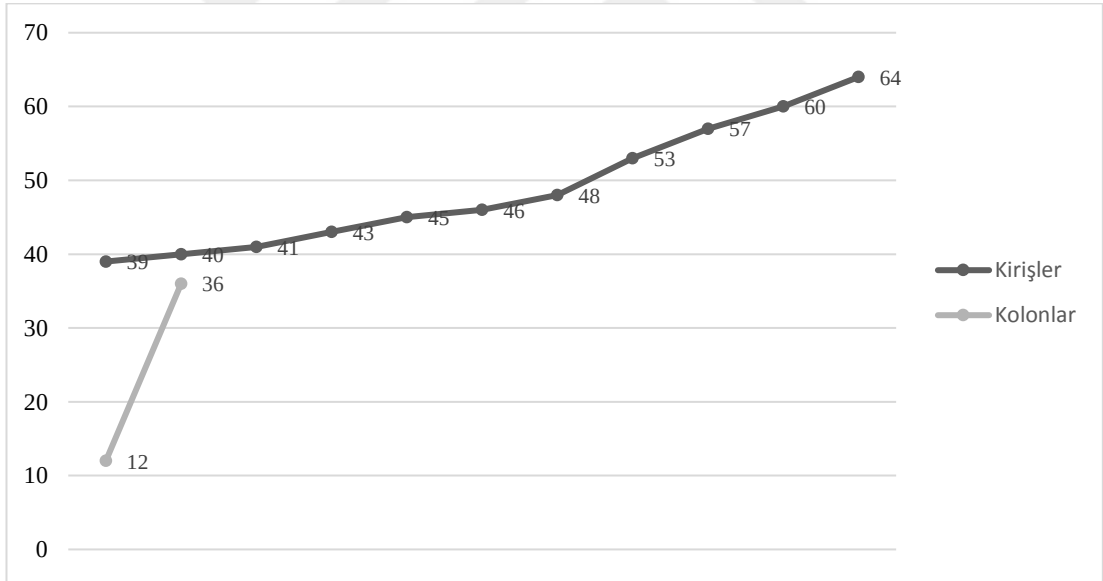


Şekil 4.57. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun HK deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulu HK deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 120 ve y doğrultusunda ise 119 iterasyon adımında ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x doğrultusunda toplam 50 adet kiriş ve 25 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 14 adet kiriş ve 2 adet kolonda plastik mafsalları oluşmuştur.

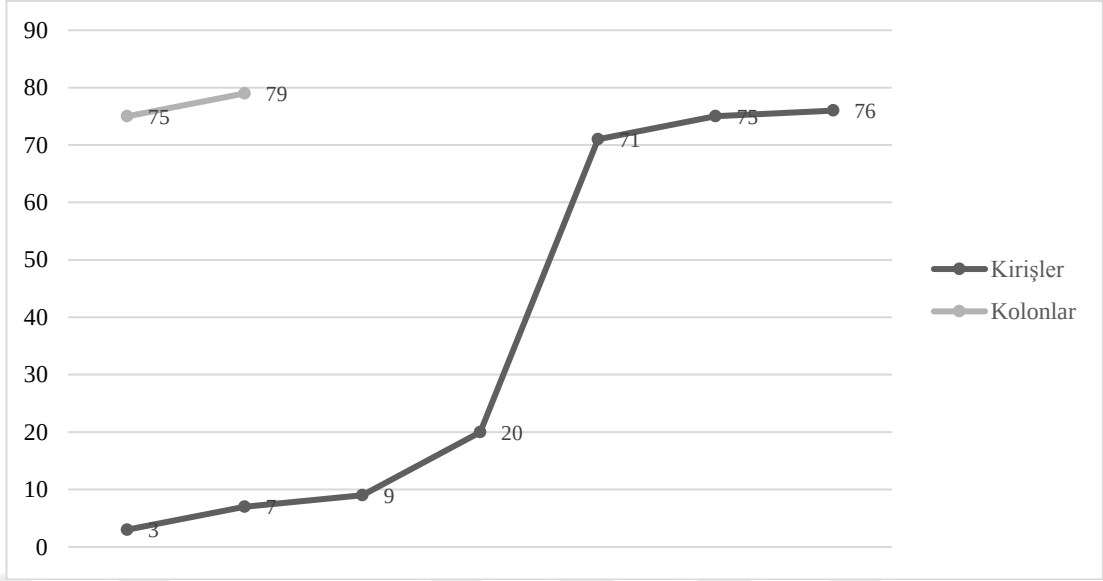


Şekil 4.58. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD1 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



Şekil 4.59. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD1 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulu DD1 deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 68 ve y doğrultusunda ise 71 iterasyon adımında ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x deprem doğrultusunda 48 adet kiriş ve 25 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 16 adet kiriş ve 2 adet kolonda plastik mafsall gözlemlenmiştir.

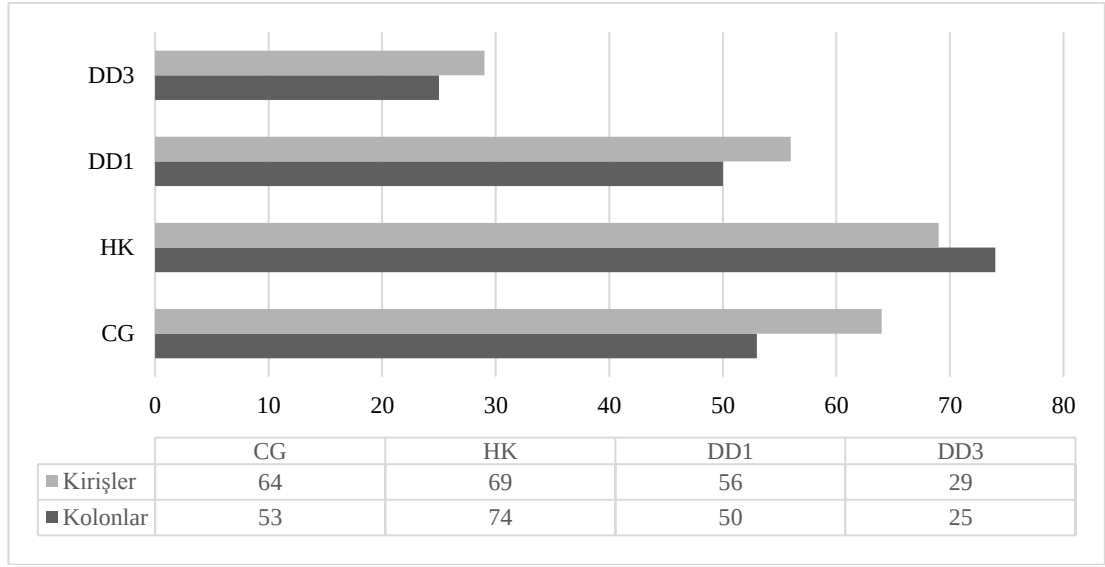


Şekil 4.60. Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD3 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

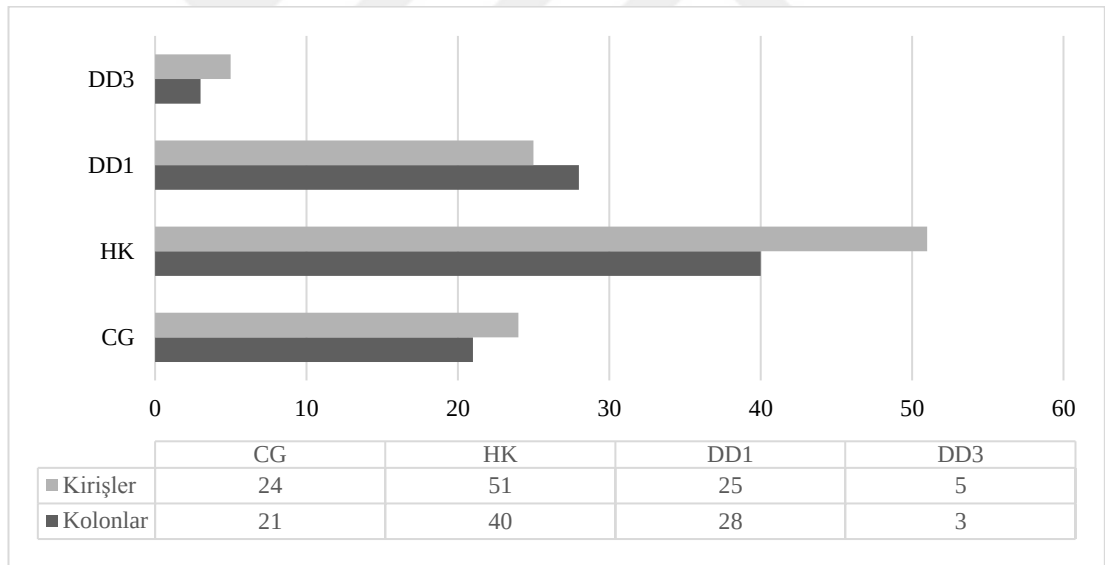
Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulu DD3 deprem düzeyinde performans seviyesi x doğrultusunda 84 ve y doğrultusunda 92 iterasyon adımı sağlanmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x deprem doğrultusunda toplam 7 adet kiriş ve 6 adet kolonda plastik mafsalları oluşmuştur. Ayrıca y deprem doğrultusunda plastik mafsalları oluşan yapısal elemanlara rastlanmamıştır.

4.6.2. Kalaycılar İlkokulu

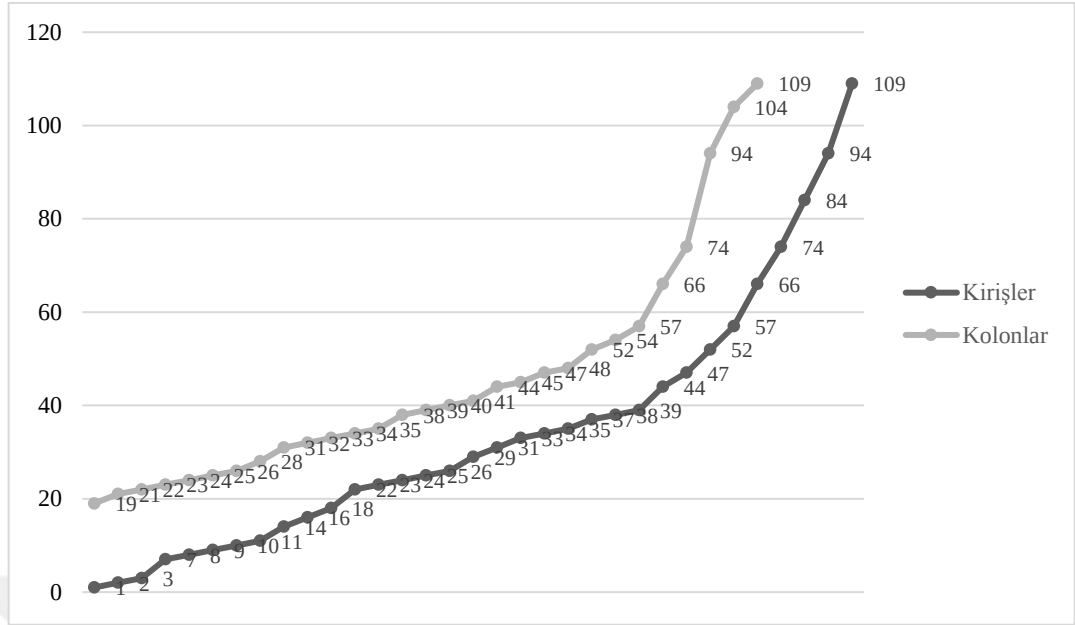
Kalaycılar ilkokulunun mevcut durumu için DBYBHY ve TBDY’de verilen deprem düzeylerine göre yapısal elemanlarında (kolonlar ve kirişlerde) toplam plastik mafsalları sayıları Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de verilmektedir. Ayrıca söz konusu okul binasının dikkate alınan deprem düzeyleri için x ve y doğrultularındaki iterasyon adımlarına göre yapısal elemanlarda oluşan plastik mafsalları da sırasıyla Şekil 4.63~Şekil 4.70’de görülmektedir.



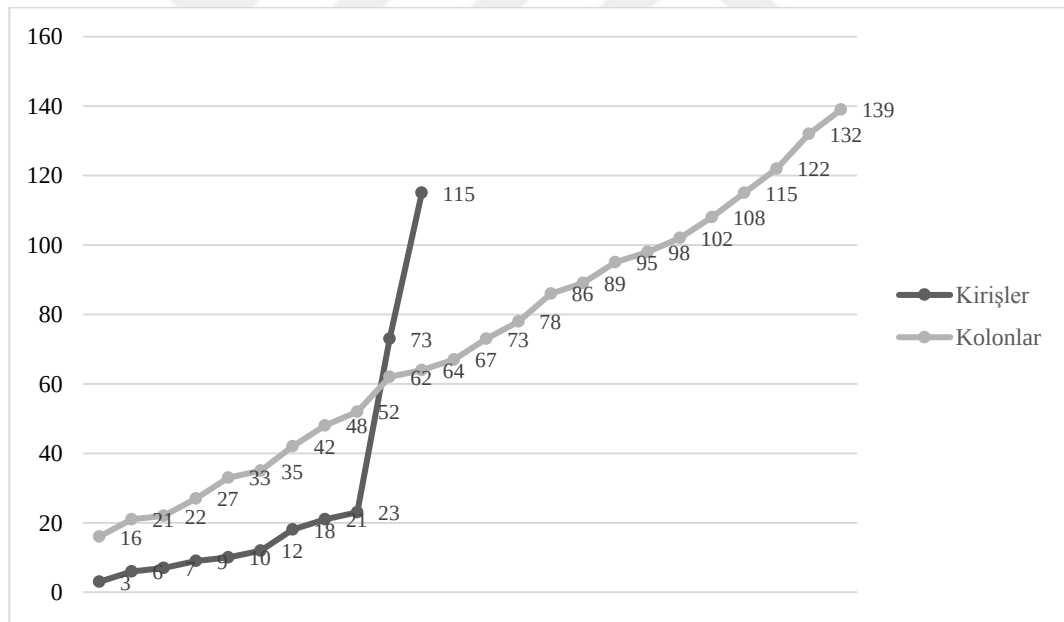
Şekil 4.61. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun x deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları.



Şekil 4.62. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun y deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları.

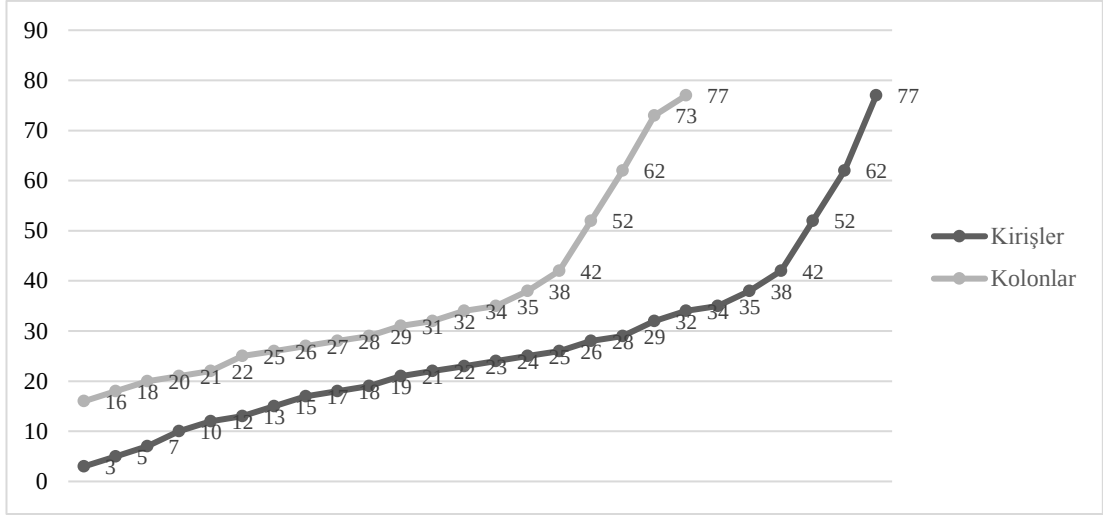


Şekil 4.65. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

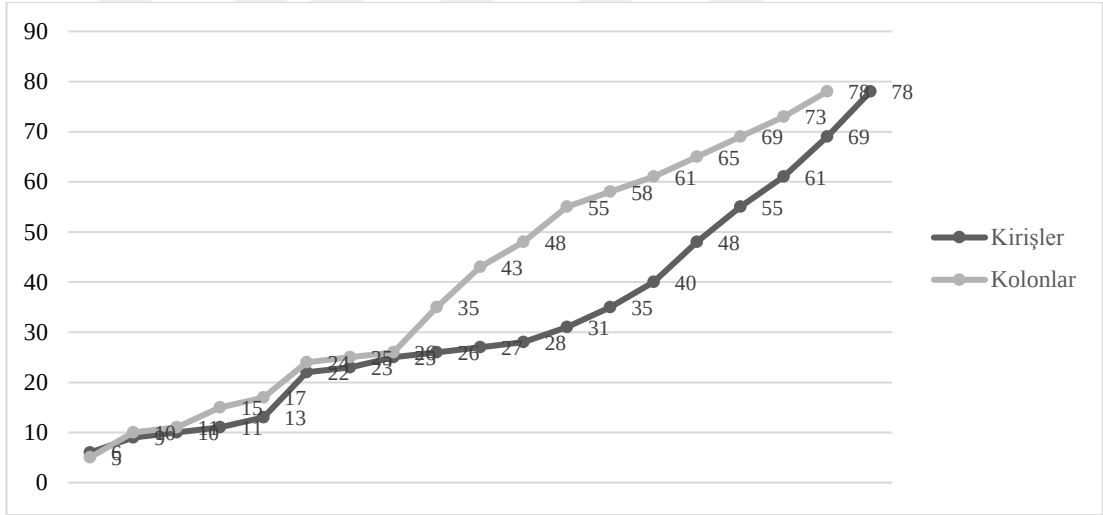


Şekil 4.66. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun HK deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 109 ve y doğrultusunda ise 139 iterasyon adımıyla ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x doğrultusunda 69 adet kirişte ve 74 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 51 adet kiriş ve 40 adet kolonda plastik mafsalları oluşmuştur.

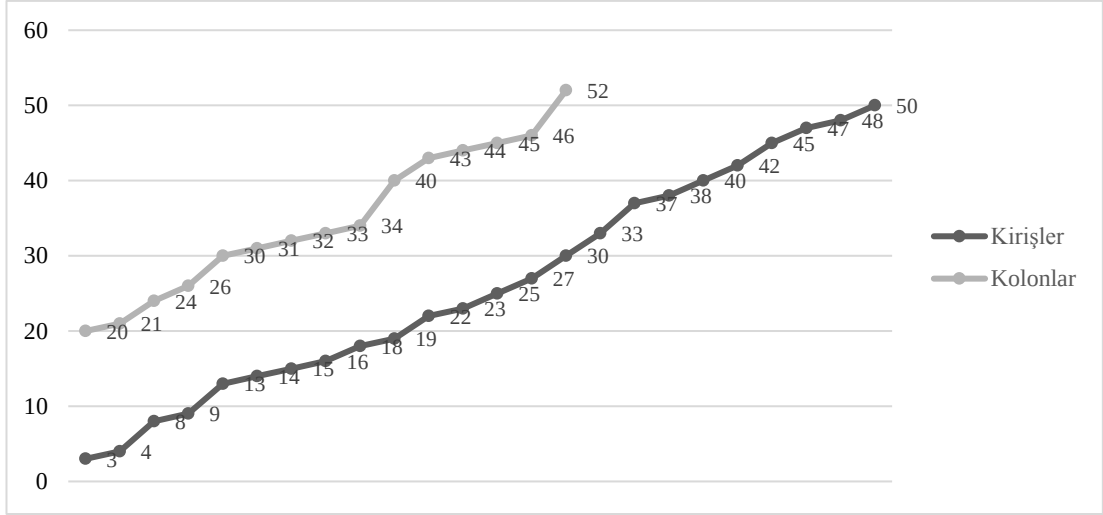


Şekil 4.67. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

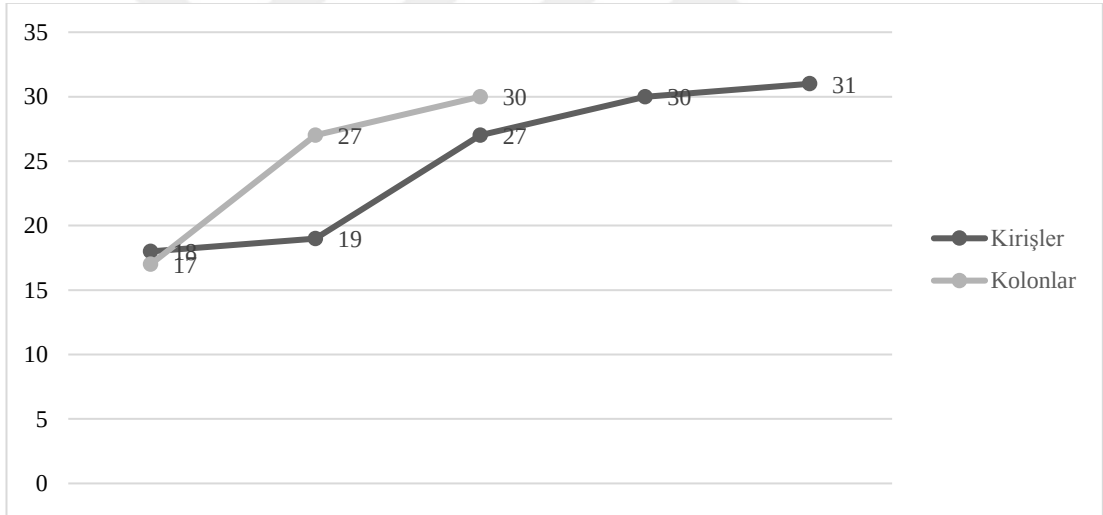


Şekil 4.68. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD1 deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 77 ve y doğrultusunda ise 83 iterasyon adımıyla ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x deprem doğrultusunda 56 adet kirişte ve 50 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 25 adet kirişte ve 28 adet kolonda plastik mafsala çıkmaktadır.



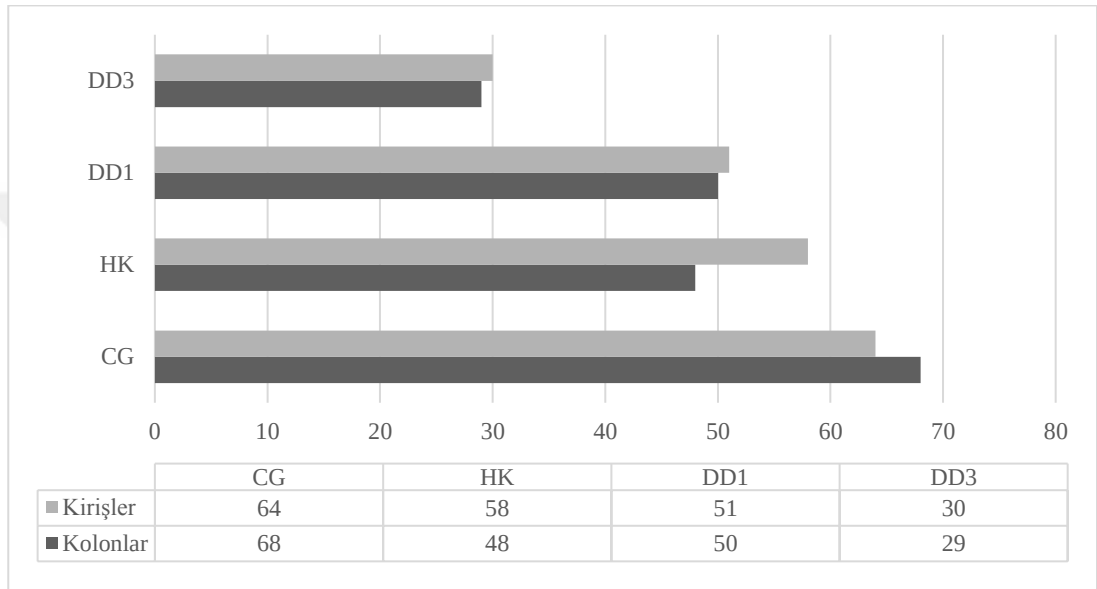
Şekil 4.69. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



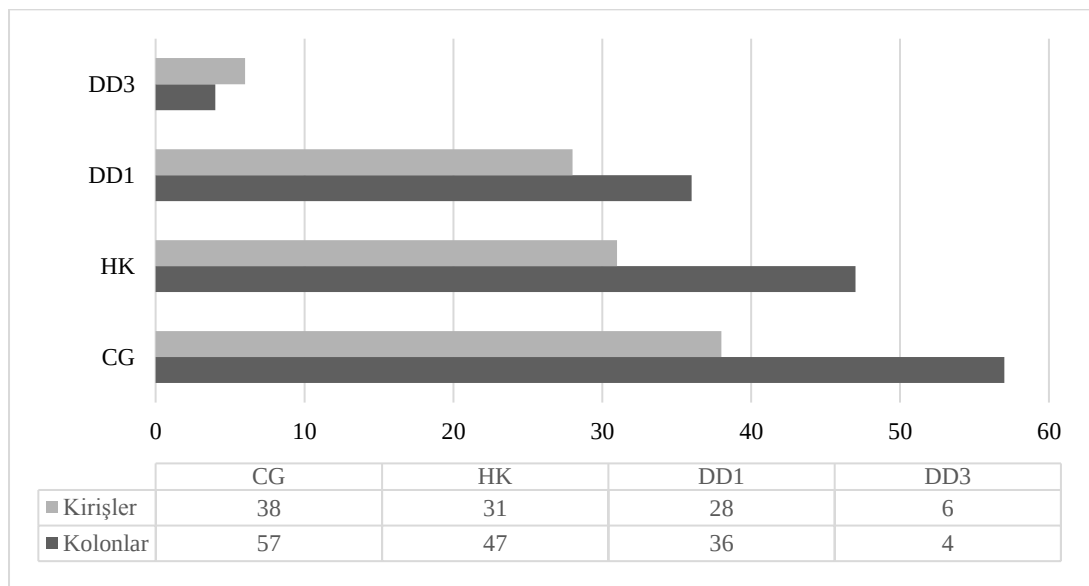
Şekil 4.70. Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Kalaycılar ilkokulu mevcut durumunun DD3 deprem düzeyinde performans seviyesi x doğrultusunda 53 ve y doğrultusunda 42 iterasyon adımıyla sağlanmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x deprem doğrultusunda 29 adet kirişte ve 25 adet kolonda ve y deprem doğrultusunda ise 5 adet kirişte ve 3 adet kolonda plastik mafsalları oluşmuştur.

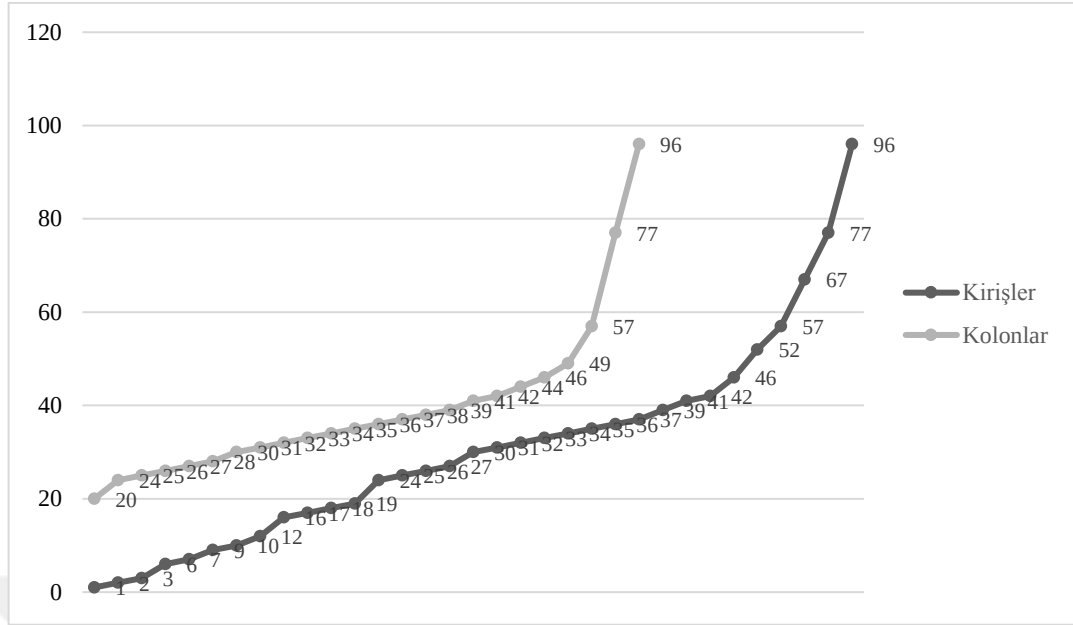
Kalaycılar ilkokulunun DBYBHY ve TBDY'e göre güçlendirilmiş durumları için söz konusu deprem düzeylerine göre yapısal elemanlarında oluşan toplam plastik mafsalları Şekil 4.71 ve Şekil 4.72'de verilmektedir. Ayrıca söz konusu güçlendirilmiş okul binasının dikkate alınan deprem düzeyleri için x ve y doğrultularındaki iterasyon adımlarına göre yapısal elemanlarda oluşan plastik mafsalları da sırasıyla Şekil 4.73~Şekil 4.80'de verilmektedir.



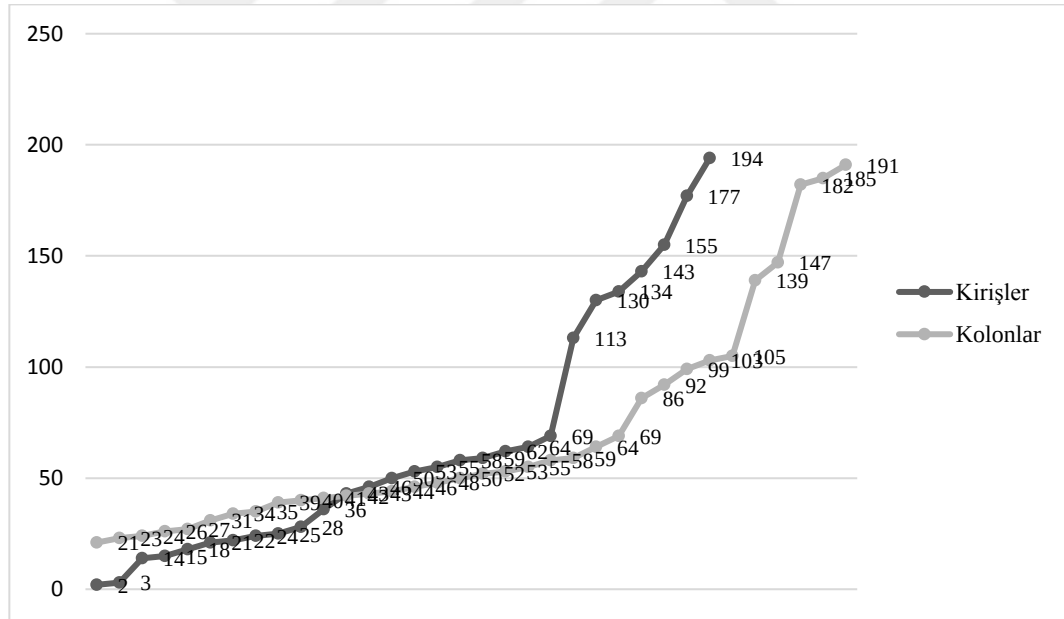
Şekil 4.71. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun x deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları.



Şekil 4.72. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun y deprem doğrultusunda plastikleşen yapısal eleman sayıları.

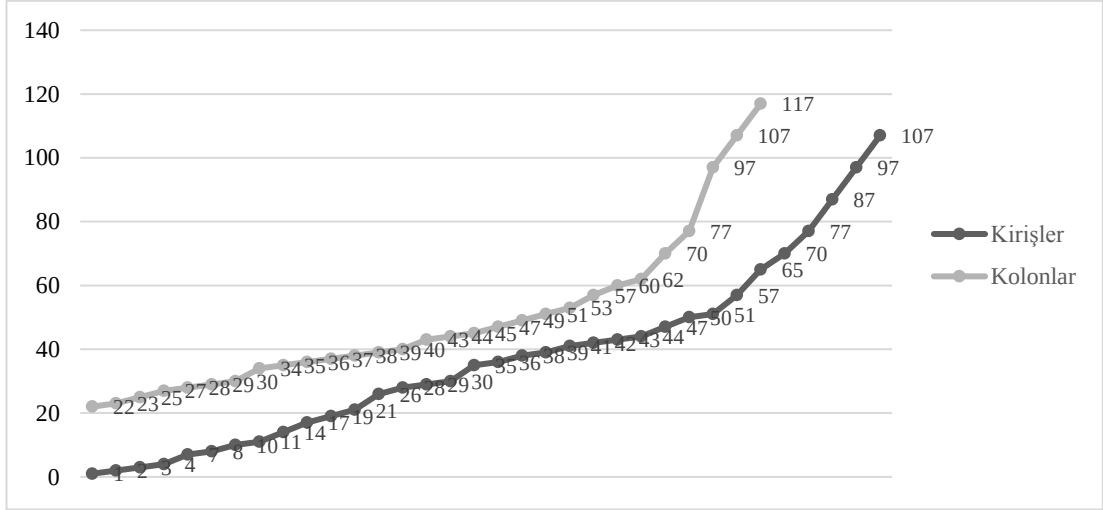


Şekil 4.73. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun CG deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

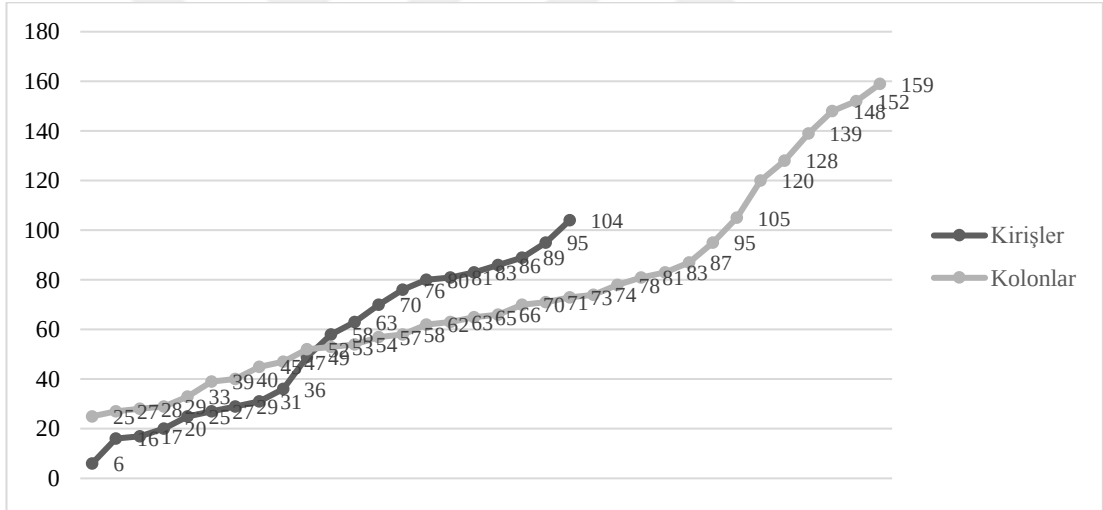


Şekil 4.74. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun CG deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulu CG deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 96 ve y doğrultusunda ise 214 iterasyon adımında ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x doğrultusunda toplamda 64 adet kirişte ve 68 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 38 adet kirişte ve 57 adet kolonda plastik mafsall oluşmuştur.

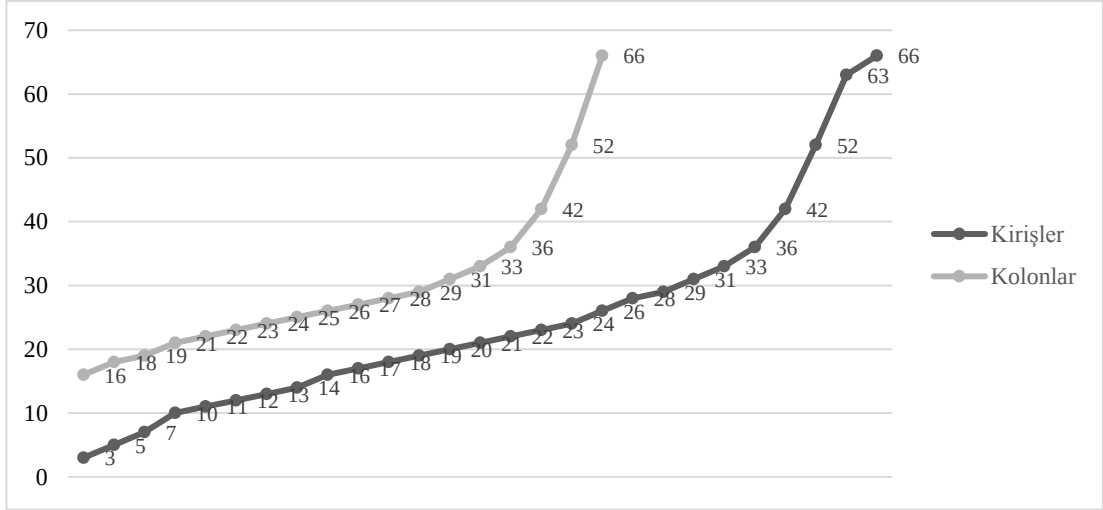


Şekil 4.75. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun HK deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

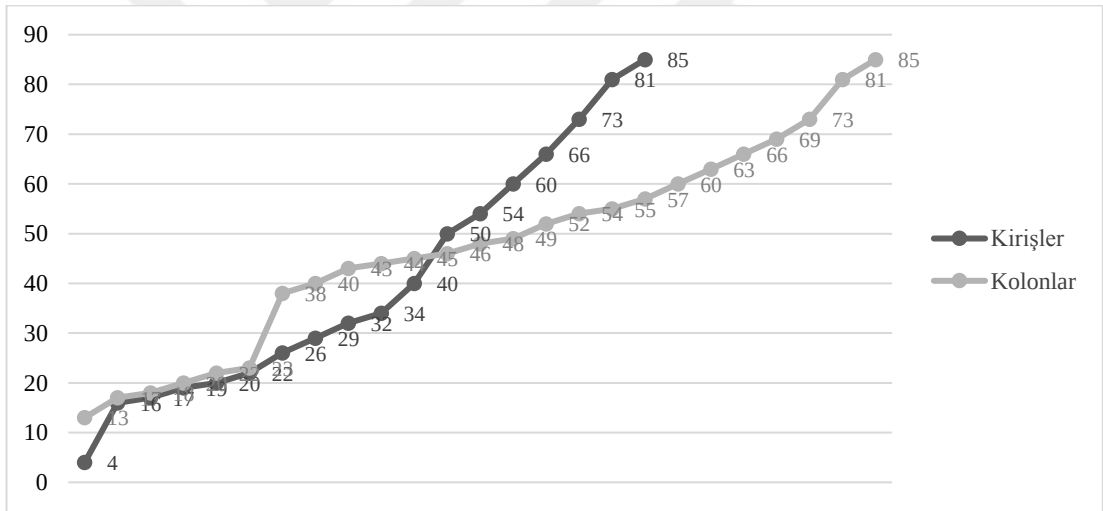


Şekil 4.76. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun HK deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulu HK deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 120 ve y doğrultusunda ise 161 iterasyon adımıyla ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x doğrultusunda toplam 58 adet kirişte ve 48 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 31 adet kirişte ve 47 adet kolonda plastik mafsalları oluşmuştur.

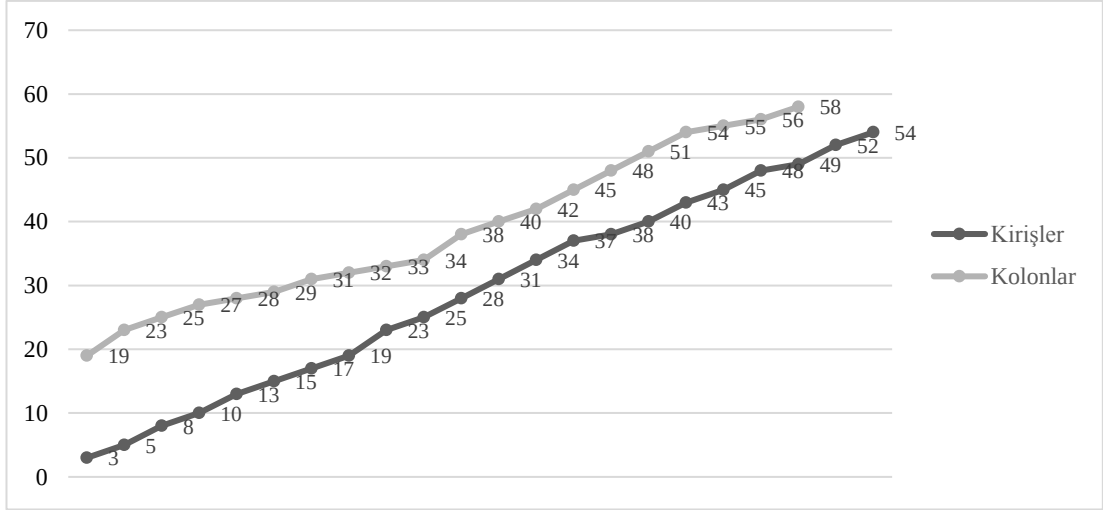


Şekil 4.77. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD1 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

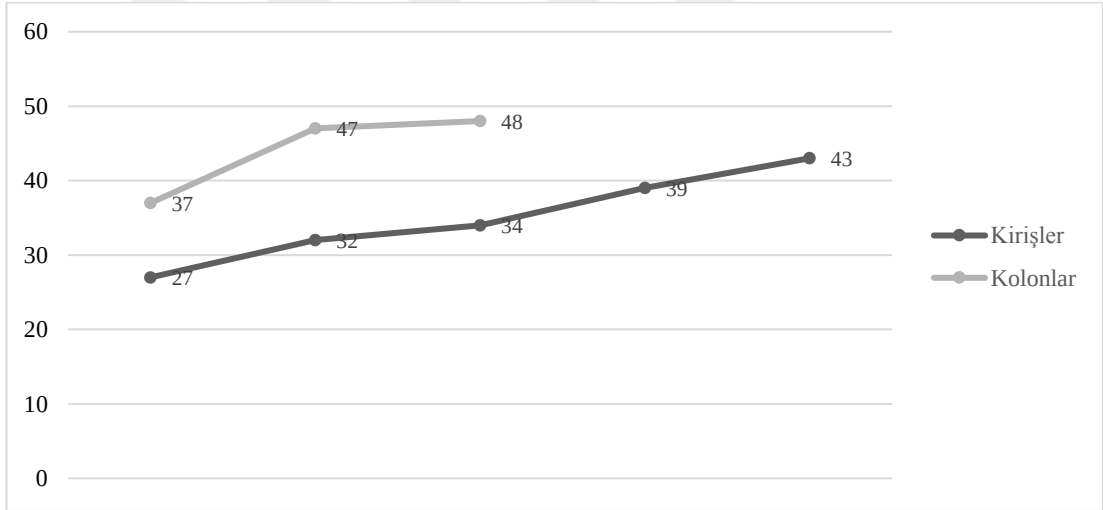


Şekil 4.78. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD1 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulu DD1 deprem düzeyinde performans seviyesine x doğrultusunda 66 ve y doğrultusunda ise 85 iterasyon adımında ulaşılmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x deprem doğrultusunda 51 adet kirişte ve 50 adet kolonda ve y doğrultusunda ise 28 adet kirişte ve 36 adet kolonda plastik mafsall oluşmaktadır.



Şekil 4.79. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD3 deprem düzeyinde x doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.



Şekil 4.80. Kalaycılar ilkokulu güçlendirilmiş durumunun DD3 deprem düzeyinde y doğrultusundaki iterasyon adımlarında plastikleşen yapısal elemanlar.

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulu DD3 deprem düzeyinde performans seviyesi x doğrultusunda 59 ve y doğrultusunda 49 iterasyon adımı sağlanmıştır. Buna göre söz konusu deprem düzeyinde x deprem doğrultusunda toplam 30 adet kirişte ve 29 adet kolonda ve y deprem doğrultusunda ise 6 adet kirişte ve 4 adet kolonda plastik mafsall oluşmuştur.

4.7. GÜÇLENDİRME MALİYETİ

4.7.1. Misakı Milli İlkokulu

Misakı Milli ilkokulunun güçlendirme maliyetinin hesabı OSKA programı yardımıyla yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında güçlendirme maliyeti hesabında sadece kaba inşaat maliyeti dikkate alınmaktadır. Söz konusu okul binasının metraj ve yaklaşık maliyet hesabında 2021 yılı birim fiyatları kullanılmıştır. Misakı Milli ilkokulunun kaba inşaat güçlendirme maliyeti ve porsantajı Çizelge 4.51’de verilmektedir. Bu çizelgeden Misakı Milli ilkokulunun güçlendirme maliyetinin 969.568,74 TL olduğu görülmektedir. Buna göre kaba inşaat maliyeti toplam güçlendirme maliyetinin %82,19’u kadar olmaktadır. Diğer taraftan Misakı Milli ilkokulunun yıkılıp yeniden inşa edilmesi veya güçlendirilmesi kararı, söz konusu okul binasının yapım yılı ve yapı yaklaşık birim maliyeti dikkate alınarak hesaplanan yaklaşık maliyet ile güçlendirme maliyetinin kıyaslanması şeklinde verilmelidir. Buna göre toplam alanı 1793 m² olan Misakı Milli ilkokulunun yaklaşık maliyeti, 2021 yılı yapı yaklaşık birim maliyeti (YYBM, 2021) fiyatlarına göre hesaplandığında 2.438.480 ₺ olarak elde edilmektedir. Ayrıca söz konusu okul binasının yapım yılına göre bina maliyet oranı (Mutlu, 2015) belirlenerek yapı yaklaşık maliyetinin de bu oran ile çarpılması gerekmektedir. Misakı Milli ilkokulu bina maliyet oranı Çizelge 4.52’de verilmektedir. Bu çizelgeden de Misakı Milli ilkokulunun 2021 yılı için bina yaşı 19 olduğundan maliyet oranı ise enterpolasyonla %49 olarak elde edilmektedir. Buna göre yapı yaklaşık maliyetinin %49’luk maliyeti ise 1.194.855,2 ₺ olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak Misakı Milli ilkokulu güçlendirme maliyeti, yapı yaklaşık maliyeti ile kıyaslandığında güçlendirme maliyeti daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmesinin tercih edilmesi doğru bir seçim olmaktadır.

Çizelge 4.51. Misakı Milli ilkokulu kaba inşaat güçlendirme maliyeti.

Misakı Milli İlkokulu	Güçlendirme Maliyeti (₺)	Maliyet Porsantajı
	969.568,74	82,1925

Burada maliyet porsantajının; kaba inşaat maliyetinin toplam maliyete (kaba inşaat + elektrik + mekanik) oranını ifade ettiğini belirtmek uygun olacaktır.

Çizelge 4.52. Misakı Milli ilkokulunun bina yaşı-maliyet oranı ilişkisi.

Binanın Yaşı	Maliyet Oranı (%)
50	0
40	16
30	32
25	40
20	48
10	64
5	72
1	78

Misakı Milli ilkokulu binasının güçlendirilmiş durumu hedef performans seviyesi bakımından değerlendirildiğinde DBYBHY ve TBDY'ye koşulları sağlanmaktadır. Ancak DBYBHY'e göre hedef performans seviyesi sağlanmasına rağmen söz konusu okul binasında gevrek olan yapısal elemanlar bulunmaktadır. Diğer bir ifadeyle CG deprem düzeyi sonucunda oluşan 17 adet gevrek olan yapısal elemanların sünek davranış göstermesinin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle Misakı Milli ilkokulunun DBYBHY'e göre güçlendirme maliyeti TBDY'ye göre daha fazla olmaktadır.

4.7.2. Kalaycılar İlkokulu

Kalaycılar ilkokulunun güçlendirme maliyeti hesabı da OSKA programı yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca bu okul binasında da metraj ve yaklaşık maliyet hesabında 2021 yılı birim fiyatları kullanılmıştır. Kalaycılar ilkokulunun kaba inşaat güçlendirme maliyeti ve porsantajı Çizelge 4.53'te verilmektedir. Bu çizelgeden Kalaycılar ilkokulunun güçlendirme maliyetinin 302.628,03 TL olduğu görülmektedir. Buna göre kaba inşaat maliyeti toplam güçlendirme maliyetinin %63,12'si kadar olmaktadır. Ayrıca toplam alanı 1051 m² olan Kalaycılar ilkokulunun yaklaşık maliyeti, 2021 yılı yapı yaklaşık birim maliyeti fiyatlarına göre hesaplandığında 1.429.360 ₺ olarak elde edilmektedir.

Çizelge 4.53. Kalaycılar ilkokulunun kaba inşaat güçlendirme maliyeti.

Kalaycılar İlkokulu	Güçlendirme Maliyeti (₺)	Maliyet Porsantajı
	302.628,03	63,12

Kalaycılar ilkokulunun 2021 yılı için bina yaşı 17 olduğundan maliyet oranı ise enterpolasyonla %56 olarak elde edilmektedir (bkz. Çizelge 4.52). Buna göre yapı yaklaşık maliyetinin %56'lık maliyeti ise 800.441,6 ₺ olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak Kalaycılar ilkokulu güçlendirme maliyeti, yapı yaklaşık maliyeti ile kıyaslandığında güçlendirme maliyetinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmesinin tercih edilmesi doğru bir seçim olmaktadır.

Kalaycılar ilkokulu binasının güçlendirilmiş durumu hedef performans seviyesi bakımından değerlendirildiğinde sadece TBDY'ye koşulları sağlanmaktadır. Burada DBYBHY ve TBDY'nin kıyaslanması için güçlendirme maliyeti TBDY'de kurtaran (sağlayan) güçlendirilmiş bina modeline göre hesaplanmıştır. Diğer bir ifadeyle TBDY'e göre sağlayan güçlendirilmiş bina modelinin DBYBHY'e göre sağlaması için taşıyıcı sisteme daha fazla güçlendirme elemanlarının eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda DBYBHY'e göre yapılacak güçlendirme maliyetinin artıracakını göstermektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, örnek olarak seçilen betonarme okul binalarının güçlendirme tasarım ilkeleri ve güçlendirme kaba inşaat maliyetleri 2007 ve 2019 Türkiye Deprem Yönetmeliklerine göre karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu tez çalışmasından elde edilen başlıca sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

5.1. MİSAKİ MİLLİ İLKOKULU İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Misakı Milli ilkokuluna x ve y doğrultularında güçlendirme amacıyla betonarme duvarlar eklendiğinden her iki doğrultuda da betonarme duvarların kesme kuvvetini taşıma oranları büyük bir artış görülmektedir.

Misakı Milli ilkokulunun performans seviyesi sağlandığında elde edilen spektral ivme değerleri güçlendirilmiş durumda mevcut duruma göre x doğrultusunda büyük artış gösterirken, y doğrultusunda ise birbirlerine yakın olmaktadır. Spektral ivme değerlerindeki bu artış güçlendirilmiş okul binasının daha rijit davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumu için performans seviyesi sağlandığında elde edilen spektral yerdeğiştirme değerleri mevcut durum ile kıyaslandığında hem x hem de y doğrultularında önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Spektral yerdeğiştirme değerlerindeki bu azalma güçlendirilmiş okul binasının daha rijit davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun dikkate alınan deprem düzeyleri için plastik mafsallı oluşan yapısal elemanlarının sayısı mevcut duruma göre azalmaktadır. Bu durum taşıyıcı sisteme etkiyen deprem kuvvetlerinin büyük bir kısmının güçlendirme

amacıyla ilave edilen betonarme duvarları tarafından karşılanarak mevcut yapısal elemanların daha az zorlanması olarak açıklanabilmektedir.

Misakı Milli ilkokulunun güçlendirme maliyeti 969.568,74 ₺ olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca Misakı Milli ilkokulunun %49'luk yapı yaklaşık maliyeti 1.194.855,2 ₺ olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak Misakı Milli ilkokulu için güçlendirme tercihi doğru bir seçim olmaktadır.

Misakı Milli ilkokulu güçlendirilmiş durumu için hem DBYBHY hem de TBDY'ye göre hedef performans seviyesi sağlanmakta, ancak DBYBHY'e göre söz konusu okul binasında gevrek olan yapısal elemanlar bulunmaktadır. Elde edilen bu sonuç Misakı Milli ilkokulunun DBYBHY'e göre güçlendirme maliyeti TBDY'ye göre daha fazla olduğu ortaya koymaktadır.

Misakı Milli ilkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumları için DBYBHY ve TBDY'ye göre gerçekleştirilen performans analizlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmektedir. Bu çizelgeden;

Çizelge 5.1. Misakı Milli ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumları için performans analizi sonuçları.

Analiz Türü	Deprem Düzeyi	Hesap Yöntemi	Hedef Performans	Sonuç Performans		Açıklama	
				Mevcut Durum	Güçlendirilmiş Durum	Mevcut Durum	Güçlendirilmiş Durum
İtme analizi	DBYBHY I=1,5	Çok modlu	CG	Göçme durumu	HK	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanmıştır (Gevrek elemanlar bulunmaktadır)
İtme analizi	DBYBHY I=1	Çok modlu	HK	Göçme durumu	HK	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanmıştır (Gevrek elemanlar bulunmaktadır)
İtme analizi	TBDY DD1	Tek modlu	KH	Göçme durumu	SH	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanmıştır
İtme analizi	TBDY DD3	Tek modlu	SH	SH	SH	Hedef performans sağlanmıştır	Hedef performans sağlanmıştır

1. Misakı Milli ilkokulunun mevcut durumu için DBYBHY'e göre CG deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden hedef performans seviyesinin sağlanamadığı ve HK deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden de *Göçme Durumu* performans sonucu elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuç DBYBHY'e göre Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.
2. Misakı Milli ilkokulunun mevcut durumu için TBDY'e göre DD1 deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden *Göçme Durumu* performans sonucu elde edildiği ve DD3 deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden de SH performans seviyesi elde edildiği dolayısıyla DD3 deprem düzeyi için hedef performansın sağlandığı görülmektedir. Ancak DD1 deprem düzeyinde hedef performans seviyesi sağlanamadığından TBDY'e göre Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmesi gerekmektedir.
3. Misakı Milli ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DBYBHY'e göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden dikkate alınan her iki deprem düzeyi için de hedef performans seviyelerinin sağlandığı görülmektedir. Ancak CG seviyesinde 17 adet ve HK seviyesinde ise 9 adet gevrek yapısal eleman bulunduğu dolayısıyla bunların güçlendirilerek sünek davranış sağlanması gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında gevreklik mevcut kolonlarda mantolama yöntemiyle veya FRP uygulamasıyla ve betonarme duvarlarında ise tevzi donatısı aralıklarının sıklaştırılmasıyla giderilmiştir.
4. Güçlendirilmiş Misakı Milli ilkokulunun TBDY'ye göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden DD1 ve DD3 deprem düzeyleri için hedef performans seviyelerinin sağlandığı görülmektedir.

5.2. KALAYCILAR İLKOKULU İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun yapısal çözümlemelerinden betonarme duvarların her iki doğrultuda da kesme kuvvetini taşıma oranlarında önemli değişim olmamıştır. Bu durum Kalaycılar ilkokuluna güçlendirme amacıyla sadece y

doğrultusunda betonarme duvarların eklenmesiyle ve mevcut taşıyıcı sistemin her iki doğrultuda rijit olmasıyla açıklanabilmektedir.

Kalaycılar ilkokulunun mevcut durumu için CG deprem düzeyinde performans seviyesi sağlanamamıştır. Dolayısıyla spektral ivme değerleri elde edilememiştir. Ayrıca söz konusu okul binasının güçlendirilmiş durumu için performans seviyesi sağlandığında elde edilen spektral ivme değerleri göre y doğrultusunda büyük artış gösterirken, x doğrultusunda ise birbirlerine yakın olmaktadır. Sonuç olarak güçlendirme amacıyla y doğrultusunda ilave edilen betonarme duvarların spektral ivme değerlerini arttırdığını dolayısıyla söz konusu okul binasının daha rijit davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Kalaycılar ilkokulunda spektral yerdeğiştirme değeri en fazla güçlendirilmiş durumu için CG performans seviyesinde elde edilmektedir. Diğer taraftan güçlendirilmiş durum için spektral yerdeğiştirme değerleri y doğrultusunda azalma göstermektedir. Bu durum söz konusu okul binasına güçlendirme amacıyla sadece y doğrultusunda betonarme duvarların eklenmesiyle açıklanabilir.

Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun dikkate alınan deprem düzeyleri için plastik mafsallı oluşan yapısal elemanlarında önemli ölçüde değişiklik olmamaktadır. Bu husus söz konusu okul binasına güçlendirme amacıyla sadece y doğrultusunda betonarme duvarların eklenmesiyle ve okul binasının mevcut taşıyıcı sisteminin her iki doğrultuda da rijit olmasıyla açıklanabilmektedir.

Kalaycılar ilkokulunun güçlendirme maliyeti 302.628,03 ₺ olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca Kalaycılar ilkokulunun %56'lık yapı yaklaşık maliyeti 800.441,6 ₺ olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak Kalaycılar ilkokulu için güçlendirme tercihi doğru bir seçim olmaktadır.

Kalaycılar ilkokulu binasının güçlendirilmiş durumu hedef performans seviyesi bakımından değerlendirildiğinde sadece TBDY koşulları sağlanmaktadır. Burada DBYBHY ve TBDY'nin kıyaslanması için güçlendirme maliyeti TBDY tasarım koşullarını sağlayan güçlendirilmiş bina modeline göre hesaplanmıştır. Diğer bir

ifadeyle TBDY’ye göre sağlayan güçlendirilmiş bina modelinin DBYBHY’e göre sağlaması için taşıyıcı sisteme daha fazla güçlendirme elemanlarının (betonarme duvarların) eklenmesi gerekmektedir. Bu hususta DBYBHY’e göre yapılacak güçlendirme maliyetinin artıracağını açıkça ortaya koymaktadır.

Kalaycılar İlkokulunun mevcut ve güçlendirilmiş durumları için DBYBHY ve TBDY’ye göre gerçekleştirilen performans analizlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmektedir. Bu çizelgeden;

Çizelge 5.2. Kalaycılar ilkokulu mevcut ve güçlendirilmiş durumları için performans analizi sonuçları.

Analiz Türü	Deprem Düzeyi	Hesap Yöntemi	Hedef Performans	Sonuç Performans		Açıklama	
				Mevcut Durum	Güçlendirilmiş Durum	Mevcut Durum	Güçlendirilmiş Durum
İtme analizi	DBYBHY I=1,5	Çok modlu	CG	Gerekli performansa ulaşamamıştır	Göçme Durumu	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanamamıştır
İtme analizi	DBYBHY I=1	Çok modlu	HK	CG	Göçme Durumu	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanamamıştır
İtme analizi	TBDY DD1	Tek modlu	KH	KH	KH	Hedef performans sağlanmıştır	Hedef performans sağlanmıştır
İtme analizi	TBDY DD3	Tek modlu	SH	KH	SH	Hedef performans sağlanamamıştır	Hedef performans sağlanmıştır

1) Kalaycılar ilkokulunun mevcut durumu için DBYBHY’e göre CG deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden hedef performans seviyesinin sağlanamadığı ve HK deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden de CG performans sonucu elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuç DBYBHY’e göre Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

2) Kalaycılar ilkokulunun mevcut durumu için TBDY’e göre DD1 deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden KH performans sonucu elde

edildiği ve DD3 deprem düzeyine göre gerçekleştirilen yapısal   z mlmelerden de KH performans seviyesi elde edildiği dolayısıyla DD3 deprem düzeyi için hedef performansın sağlanmadığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle DD3 deprem düzeyinde hedef performans seviyesi sağlanamadığından TBDY'e göre Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmesi gerekmektedir.

3) Kalaycılar ilkokulunun güçlendirilmiş durumunun DBYBHY'e göre gerçekleştirilen yapısal   z mlmelerden dikkate alınan her iki deprem düzeyi için de *Göçme Durumu* elde edilerek hedef performans seviyelerinin sağlanmadığı görülmektedir.

4) Güçlendirilmiş Kalaycılar ilkokulunun TBDY'ye göre gerçekleştirilen yapısal   z mlmelerden DD1 ve DD3 deprem düzeyleri için hedef performans seviyelerinin sağlandığı görülmektedir.

Bu çalışmanın bulguları irdelendiğinde yapısal   z mlmesi yapılan Misakı Milli ve Kalaycılar ilkokulları mevcut durumlarının DBYBHY ve TBDY tasarım koşullarına göre yeterli performans hedefini sağlayamadığı görülmektedir. Buna göre söz konusu okul binalarına güçlendirme kararı verilirken; binanın yaşının, kaba inşaat maliyetinin toplam güçlendirme maliyetine oranının, yapı yaklaşık maliyeti oranının ve güçlendirme maliyetlerinin dikkate alınması daha rasyonel olacaktır.

KAYNAKLAR

ABYYHY, “Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik”, **Bayındırlık ve İskân Bakanlığı**, Ankara, (1998).

Atay, H., “Depremde hasar görmüş yapıların güçlendirme yöntemleri ve güçlendirmede kullanılan malzemeler”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2010).

Atmaca, M., “Betonarme yapılarda performans analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, (2013).

Aynur, S., “Mevcut betonarme bir binanın deprem güvenliğinin değerlendirilmesi ve çelik çaprazlarla güçlendirme önerisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, (2017).

Batmacı, H., “Depremde hasar gören bir binanın mantolama, perde ilavesi ve kat azaltılması yöntemi ile güçlendirilmelerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (2011).

Bawary, M.S., “Betonarme binaların farklı güçlendirme yöntemleri ile yapısal analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, (2018).

Ceritli, Y.S., “Depremde hasar görmüş yapıların mantolama ve perdelerle güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, (2006).

DBYBHY, “Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik”, **Bayındırlık ve İskân Bakanlığı**, Ankara, (2007).

Demirkan, D., “Betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Aksaray, (2014).

Erdem, M.F., “Perde duvar ve betonarme mantolama yöntemleriyle güçlendirilen binalarda güçlendirme maliyetinin incelenmesi Akşehir İHL örneği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2008).

Karadeniz, T., “Az katlı yapıların TDY 2007’ye göre performans analizi uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Hatay, (2017).

Kılıç, A., “Betonarme çerçeveli yapılarda dolgu duvarların güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, (2012).

Kocabey, E.Ç., “Mevcut betonarme binalarda kullanılan güçlendirme yöntemlerinin hasar olasılığı bağlamında değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2017).

Mutlu, A.H., “Mevcut yapıların güçlendirilmesi ya da yıkılmasına karar verilmesi aşamasında göz önüne alınması gereken kriterler”, 3. **Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı**, İzmir, 1-5 (2015).

Nakipoğlu, A., “Katlar arası rijitlik düzensizliği bulunan betonarme yapıların güçlendirilmesi üzerine deneysel bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, (2018).

OSKA, “Oska bilgisayar sistemleri yazılım, donanım sanayi ve ticaret Ltd. Şti.”, **www.oska.com.tr** (2022).

Özaltaş, A.C., “Kuvvetli deprem bölgelerinde hastane binalarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinin irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, (2008).

Özdemir, A., “Hasarlı betonarme kolonların mantolama yöntemiyle güçlendirilmesi ve akustik emisyon yöntemiyle deneysel analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, (2015).

Parlakoğlu, H., “3-6 Katlı betonarme çerçeveli binaların karbon takviyeli elyaflar ile güçlendirilmesi ve diğer güçlendirme yöntemleri ile maliyetlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2010).

Sargın, H., “Mevcut betonarme bir binanın sistem iyileştirmesi ve taşıyıcı eleman güçlendirme yöntemlerine göre karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, (2020).

Sinani, B., “Mevcut betonarme yapıların deprem performansının analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Niğde, (2014).

Sta4-CAD, “Structural analysis for computer aided design”, ver.14.1. **www.sta.com.tr** (2021).

TBDY, 2019, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, **Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı**, 30364 Sayılı Resmi Gazete (2019).

TS 498, “Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (1997).

TS-500, “Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2000).

TS EN 12504-1, “Beton- Yapıda Beton Deneyleri- Bölüm 1: Karot Numuneler-Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2011).

Uçar, B., “Betonarme bir hastane binasının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 kapsamında deprem performansının değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2019).

Uğurlu, A., “Kısa konsol ve yumuşak katlı yapılarda güçlendirme”, Yüksek Lisans Tezi, **Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, (2017).

Ürünveren, M.F., “Çok katlı betonarme yapılarda deprem performansının belirlenmesi yöntemleri ve güçlendirme önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, (2010).

Yüzbaşı, J. ve Yerli, H.R. “Betonarme yapıların deprem etkisi altında performans analizlerinin yapılması ve güçlendirilmesi”, **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 33 (2), 273-286 (2018).

YYBM, “Yapı Yaklaşık Birim Maliyeti”, www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/03/20210324-3.htm (2021).

Zolmaz, Y., “Mevcut betonarme bir binanın perdelerle güçlendirilmesi ve yapısal performansının TBDY-2018’e göre değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Esat COŞKUN ilk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Lisans eğitime başlayıp 2019 yılında fakülte ikincisi ve bölüm birincisi olarak mezun oldu. Eylül 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programında eğitime başlamıştır. Nişanlı olan ve orta derecede İngilizce bilen Mustafa Esat COŞKUN bir inşaat firmasında İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.