



T.C.  
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YOĞUN DEPREM RİSK BÖLGESİNDEKİ BİR OKUL BİNASININ TÜRKİYE  
BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE DEĞERLENDİRİLEREK  
GÜÇLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selma GÜNEŞ

EYLÜL 2021  
GÜMÜŞHANE

**T.C.  
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selma GÜNEŞ**

**Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”  
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.07.2021**

**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 08.09.2021**

**EYLÜL 2021  
GÜMÜŞHANE**



## TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“YOĞUN DEPREM RİSK BÖLGESİNDEKİ BİR OKUL BİNASININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE DEĞERLENDİRİLEREK GÜÇLENDİRİLMESİ”** isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

30.07.2021

**SELMA GÜNEŞ**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# YOĞUN DEPREM RİSK BÖLGESİNDEKİ BİR OKUL BİNASININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE DEĞERLENDİRİLEREK GÜÇLENDİRİLMESİ

Selma GÜNEŞ

Gümüşhane Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR

2021, 163 sayfa

Deprem geçmişten beri insanlık tarihinin en büyük problemlerinden biri olmuştur. İnsanların yerleşik hayata geçmesi ile depremlerin etkileri artmış, can ve mal kayıplarını da beraberinde getirmiştir. Deprem mühendislerinin yaptığı çalışmalar sonrası depremin yıkıcı etkisini en aza indirmek için birçok deprem yönetmeliği oluşturulmuştur. Yapıların da bu yönetmelikler doğrultusunda tasarlanmasını ve inşa edilmesini zorunlu kılmıştır. Ancak gerek uygulama da yapılan ihmaller gerek yönetmeliklerin yetersizlikleri deprem felaketlerinin önüne geçememiştir.

Bu tez çalışması kapsamında 1996 yılında ve 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe (ABYYHY) göre inşa edilen İstanbul ili Eyüp ilçesinde yer alan bir okul binasının mevcut ve güçlendirilmiş halinin doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapı uzun doğrultu da 45 m, kısa doğrultu da 40 m uzunluğundadır. Yapı yüksekliği 10.08 m'dir. Binanın mevcut durumundan hareketle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'de (TBDY-2018) varılan bilgiler doğrultusunda

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) ve Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) hesap yöntemleri kullanılmıştır.

Bu amaca yönelik olarak tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm de daha önceki yıllarda mevcut binalara ilişkin gerçekleştirilen deprem analizleri ve güçlendirme çalışmaları özet halinde sunulmuştur. TBDY-2018 deprem yönetmeliğinin mevcut binalara yaklaşımı ve yapılan deprem analizlerine ilişkin bilgiler verilmiştir. Mevcut yapının deprem etkilerine karşı esas alınacak olan hesap ilkeleri belirlenmiştir. Mevcut binalardan bilgi toplanması, taşıyıcı elemanların hasar sınır bölgelerinin belirlenmesi, yapıya ait performans hedeflerine ilişkin bilgiler ve yapıya ait analiz yöntemlerine ilişkin bilgiler bu bölümde verilmiştir.

İkinci bölümde 1996 yılında inşası yapılmış okul binasına ilişkin yapılan çalışmalar sunulmuştur. Öncelikle binanın tahribatlı (betondan karot alma, betonarme çeliği numunesi alma) ve tahribatsız (schmidt çekici) yöntemlerle mekanik özellikleri belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Ayrıca beton örtüleri sıyrılarak donatı sayı ve konumları belirlenmiştir. Sonra karot ve donatı numuneleri üzerinde laboratuvarında ilgili deneyler yapılarak mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde mevcut eğitim kurumunun Structural Analysis Program (SAP 2000) programı ile tasarımı gerçekleştirilmiş ve TBDY-2018 deprem yönetmeliğine göre doğrusal ve doğrusal olmayan deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler doğrusal analiz kısmı için Eşdeğer Deprem Yüğü, doğrusal olmayan analizler için İtme analizleri ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. 3 katlı eğitim kurumunun TBDY-2018'den alınan bilgiler doğrultusunda doğrusal olmayan hesap adımı analizlerinin sınır şartlarının kontrolünde 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1) ŞGDT'ye göre kontrollü hasar (KH) performans düzeyine göre ve 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3) ŞGTD'ye göre sınırlı hasar (SH) performans düzeylerinin sağlanması istenmektedir. Gerçekleştirilen tez çalışmasında işlemlerin uzun olmasından kaynaklı olarak sadece en büyük deprem hareketi olduğu için DD1 deprem yer hareketi düzeyinin KH performans hedefine göre sağlanıp sağlanmadığı durumları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar ve mukayeseler değerlendirilmiş, öneriler sunulmuştur. Yapının güçlendirilmiş durumda daha rijit bir davranış sergilediği, yer değiştirmelerin yapının optimum sınırları içerisinde kaldığı, kolon ve kirişlerin üzerine gelen yüklerin daha az olduğu ve hasarların daha az olduğu görülmüştür. Aynı durum yapının

mevcut durumu için söylenemez. Yapılan güçlendirme çalışmasının yapının mevcut durumuna ait hasar sınır bölgelerinde ne kadar etkili olduğu, depremin etkileri sonrası oluşacak taban kesme kuvvetlerinin ve yer değiştirmelerin yapıda ne kadar minimum edildiğinin kontrolleri iki durum için de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen mukayese sonrası artan yapı stokunun beraberinde getirdiği deprem ve depremlerin bıraktığı kalıcı hasarları en aza indirmek, gerekli özen gösterilmeden ve eski yönetmelikler göz önünde bulundurularak yapılmış olan günümüz mevcut yapılarının can güvenliğini tehdit etmeden, en ekonomik şekilde güçlendirilmesi amaçlanmış ve tüm hasarlı olabilecek yapılar üzerinde güçlendirme çalışmalarının önemi vurgulanmıştır. Yeni yönetmeliğin de gereğinden fazla üzerinde durduğu bu bölüm de günümüz yapılarının ve o yapıların deprem karşısındaki davranışının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Mevcut Betonarme Yapı, TBDY-2018, Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz, Kolon Mantolama, Perde Duvar, Güçlendirme

## **ABSTRACT**

### **MASTER'S THESIS**

# **EVALUATION AND REINFORCEMENT ACCORDING TO THE TURKEY BUILDING EARTHQUAKE CODE 2018 OF A SCHOOL BUILDING IN THE INTENSIVE EARTHQUAKE REGION**

Selma GÜNEŞ

Gümüşhane University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR

2021, 163 Pages

Earthquake has played an important role as one of the biggest problems throughout the history of humanity from past to present. Since people lived in large communities increased the devastating effects of the earthquake. So many research and studies were conducted by earthquake engineers and scientists to reduce destructive effects of the potential earthquakes. In the light of that works, earthquake engineers and scientists made numerous earthquake regulations which are directly binding rule for designing and implementing in a construction process by the impact of the earthquake. But, when we look past, mistakes in construction process and inadequacies of the regulations could not totally prevent harmful effect of it.

In this thesis study, a school building is in the centre of the research, which was constructed in 1996 in accordance with regulations for the structures to be built in disaster areas 1975 (ABYYHY-1975) in Eyüp district of Istanbul. The Earthquake resistance of both existing and retrofitting state of the school building was analysed by using linear and nonlinear analysis methods. The building is 45 meter in long direction and 40 meter in short direction, which is 10.08 meter in its height. Based on the TBDY-2018, two calculation

methods are used in this thesis study, which are Strength-Based Design Approach (DGT) and Deformation-Based Design Approach (SGDT).

This thesis study is categorized in five sections. In the first chapter, seismic analyses and strengthening studies of existing buildings in previous years are presented in summary. It includes that what kind of technical details and calculation methods are taken place in TBDY-2018 for the current buildings. Moreover, gathering information from the buildings, determining level of damage, analysis methods and targeting capacity of earthquake resistance of existing buildings are also mentioned in this section.

In the second chapter, details of performed studies at the school building constructed in 1996 are shown. The studies consist of destructive test and non-destructive test, which are directly related to determine mechanical properties of construction materials of the existing building. The tests are concrete core sample, reinforcement sample, scrapings of concrete cover, rebar readings with electronic device and Schmidt hammer test. Thanks to the works carried out, laboratory results were obtained. Then the mechanical properties were determined with the experimental data.

In the third chapter, the model of existing educational institution building has been created by using SAP 2000 structural analysis software. According to TBDY-2018, linear and nonlinear analysis have been made. Equivalent earthquake load method has been used for linear analysis; on the other hand, static pushover and time history methods have been used for nonlinear analysis. With the received information from TBDY-2018, there were two performance level that we have tried to ensure safety condition to limit damage level for the three-story educational institution building. For the first performance level, it has been wanted to provide controlled damage performance level (KH) with a 2% probability of exceeding in 50 years earthquake ground motion level (DD-1) for TBDY-2018) in control of boundary conditions of non-linear analysis. For the second one, it has been desired to ensure limited damage performance level (SH) with a 50% probability of exceeding in 50 years earthquake ground motion level (DD-3) for TBDY-2018 under the same analysis conditions. However, due to the long-drawn-out of analysis process, it was only examined whether the earthquake ground motion level (DD-1) was achieved according to the controlled performance target.

In the last chapter, results, comparisons and suggestions were clearly presented. It was obviously observed that developing strengthened model showed more rigid behavior, the displacements remain within the optimum limits of the structure, loads on the columns and

beams were less, and the damages were less. The same cannot be said for the current state of the building. Performed retrofitting works had glorious impact on limited area of damage for the existing building. Furthermore, the controls of how much the base shear forces and displacements that could occur after the effects of the earthquake had been minimized in the structure were carried out for both cases. In the light of the obtained comparison from this thesis study, strengthening is extremely important in order to minimize the permanent damage caused by earthquakes with the increasing building stock. So, it is economically aimed to strengthen today's existing structures, which were built without due care and with taking into account the old regulations. It is emphasized that all damaged structures can be saved with retrofitting works to protect security of life. Consequently, it is clearly seen that strengthening that gives better results against earthquake, which is overemphasized in the new regulation.

**Key Words:** Existing Reinforced Concrete Building, TBDY-2018, Linear and Non-linear Analysis, Column Jackets, Shear Wall, Retrofitting.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği programı gereğince gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında, yakın bir zamanda yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre, İstanbul ili sınırları içerisinde bulunan mevcut betonarme eğitim kurumunun hem mevcuta göre hem de gerçekleştirilen güçlendirme çalışmasına göre doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerle performansı incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitim programı boyunca, bilgi, tecrübe ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, güler yüzlülüğü ve içtenliği ile her zaman bana vakit ayıran, yüksek lisans tezimi tamamlamam noktasında en büyük desteği sağlayan Sayın **Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR**'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca hiçbir anlamda maddi ve manevi benden desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve tez çalışmam esnasında beni her zaman motive eden canım aileme çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında karşılaştığım birçok sorunumda bana her zaman vakit ayıran ve hiçbir zaman yardımını esirgemeyen, Yük. İnş. Müh. Yakup ZOLMAZ' a teşekkür ederim.

Ayrıca yoğun tez çalışma temposunda manevi olarak her zaman beni destekleyen gerekirse gerektiği noktalarda yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Hem 4 yıllık okul hayatım boyunca hem de daha sonrasında her zaman desteklerini hissettiğim İlknur Asena UĞUR, Sevda ERGEN, Hatice DURSUN, Abdulsamet YOLCU, Olcay BAĞÇIVAN' a çok teşekkür ederim.

SELMA GÜNEŞ

Gümüşhane, 2021

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	VII
TEŞEKKÜR.....	X
İÇİNDEKİLER.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
TABLolar DİZİNİ.....	XXI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırması.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	8
1.3. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 Ve Analiz Adımlarına Yaklaşım.....	9
1.3. Binalardan Bilgi Toplanması.....	10
1.3.1.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi.....	10
1.3.1.2. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi.....	11
1.3.1.3. Bilgi Düzeyi Katsayıları.....	13
1.3.2. Yapı Elemanlarındaki Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri.....	14
1.3.2.1. Binaya Ait Kesit Hasar Durumları.....	14
1.3.2.2. Binaya Ait Kesit Hasar Bölgeleri.....	14
1.3.2.3. Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması.....	14
1.3.3. Binalara Ait Performans Düzeyleri .....	15
1.3.4. Bina Performans Hedefleri.....	15
1.3.5. Mevcut ve Güçlendirilecek Binalara İlişkin Deprem Performanslarının Belirlenmesi.....	16
1.3.5.1. Sınırlı Hasar Performans Düzeyi.....	16
1.3.5.2. Kontrollü (KH) Hasar Performans Düzeyi.....	17
1.3.5.3. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi .....	17
1.3.5.4. Göçme Durumu.....	18
1.3.6. Mevcut Binaların Modellenmesine İlişkin Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.....	18

1.4.	Deprem Analinde Kullanılacak Hesap Yöntemleri.....	20
1.4.1.	Doğrusal Hesap Yöntemleri.....	21
1.4.1.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	21
1.4.1.2.	Mod Birleştirme Yöntemi.....	22
1.4.2.	Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri.....	22
1.4.2.1.	Tek Modlu İtme Yöntemi.....	23
1.4.2.2.	Çok Modlu İtme Yöntemi.....	28
1.4.3.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile Deprem Hesabı.....	29
1.4.3.1.	Zaman Tanım Alanında Gerçek İvme Kayıtlarının Tercih Edilmesi.....	29
1.4.3.2.	Gerçek İvme Kayıtlarının TBDY-2018 Kriterlerine Göre Belirlenmesi ve Ölçeklendirilmesi Tercih.....	30
1.5.	Plastik Mafsal Tanımı ve Taiyıcı Elemanlarda Plastik Mafsallaşma.....	32
1.6.	Birim Şekildeğiştirme Ve Plastik Dönme Taleplerinin Belirlenmesi.....	34
1.7.	Beton ve çelik malzeme İçin Gerilme-Şekildeğiştirme Durumları.....	37
1.8.	Betonarme Elemanlarda Eğilme Etkisi.....	40
1.9.	Birim Elemanlara Ait Birim Şekildeğiştirme ve Plastik Dönme Sınırları.....	41
1.10.	Betonarme Bir Binanın Deprem Performansı Ve Zaman Tanım Alanında Analizi İçin Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi.....	43
1.10.1.	Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	43
1.10.1.1.	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1).....	43
1.10.1.2.	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2).....	44
1.10.1.3.	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3).....	44
1.10.1.4.	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4).....	44
1.10.2.	Deprem Yer Hareketi Düzeyi Spektrumları.....	44
1.10.3.	Yerel Zemin Etki Katsayıları.....	45
1.10.4.	Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.....	46
1.10.5.	Düşey Elastik Tasarım Spektrumu.....	47

1.11.	Betonarme Binalarda Güçlendirme Çalışmaları.....	48
1.11.1.	Güçlendirme Türleri.....	49
1.11.1.1.	Kolonların Sarılması.....	49
1.11.1.2.	Kirişlerin Sarılması.....	50
1.11.1.3.	Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Perdeler İle Güçlendirilmesi.....	51
1.11.1.4.	Betonarme Sisteme Yeni Çerçeveler Eklenmesi.....	53
1.11.1.5.	Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması .....	53
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	54
2.1	Mevcut Yapıya İlişkin Gerçekleştirilen Saha Çalışmaları ve Mevcut Yapının Durumu.....	54
2.2.	Taşıyıcı Elemanlarda Güçlendirme Çalışmaları.....	65
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	69
3.1.	Mevcut Betonarme Eğitim Kurumunun Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Analiz Adımları.....	69
3.1.1.	Yapıya İlişkin Genel Bilgiler.....	69
3.1.2.	Tasarım Spektrumu ve Deprem Parametreleri.....	69
3.1.3.	Çatlamış Kesite Ait Etkin Kesit Rijitliklerinin Tanımlanması.....	71
3.2.	Mevcut Yapının Düzensizlik Kontrolleri.....	76
3.3.	Mevcut Yapıya İlişkin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Adımları.....	76
3.3.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	76
3.3.2.	Mevcut Yapıya İlişkin Tek Modlu İtme Analizi.....	78
3.3.2.1.	Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Hesap Adımlarına İlişkin Plastik Mafsalların Tanımlanması.....	78
3.3.2.2.	İtme Analizi İçin Gerekli Olan Yüklemeler ve SAP 2000 Programına Yüklemelerin Girilmesi.....	79
3.3.2.3.	Modal Kapasite Eğrisi (İtme Eğrisi) Elde Edilmesi.....	82
3.3.2.4.	Mevcut Yapının Modal Kapasite Diyagramlarının Belirlenmesi.....	83
3.3.3.	Mevcut Binanın Performans Değerlendirmesi.....	87
3.3.3.1.	Kirişlere Ait Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	87
3.3.3.2.	Kolonlara Ait Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	94

3.3.4.	Mevcut Yapıda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	101
3.3.4.1.	İvme Kayıtlarının TBDY-2018'e Göre Ölçeklendirilmesi.....	102
3.3.4.2.	Analizi Gerçekleştirilen Deprem Kayıtlarının Değerlendirilmesi...	110
3.4.	Güçlendirilmiş Yapıya İlişkin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Adımları.....	119
3.4.1.	Genel Bilgiler.....	119
3.4.2.	Güçlendirilmiş Yapıda Düzensizlik Kontrolleri.....	124
3.4.3.	Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Adımları.....	125
3.4.3.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü.....	125
3.4.3.2.	Tek Modlu İtme Analizi.....	126
3.4.3.2.1.	Kirişlere Ait Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	131
3.4.3.2.2.	Kolonlara Ait Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	137
3.4.3.2.3.	İlave Edilen Perdelere Ait Plastik Mafsal Değerlendirilmesi.....	141
3.4.4.	Güçlendirilmiş Yapıda Zaman Tanım Alanında Gerçekleştirilen Analiz Adımları.....	146
3.4.5.	Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapıda Kapasite Durumları.....	156
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	158
5.	KAYNAKLAR.....	160
ÖZGEÇMİŞ		

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.	TBDY-2018'e göre kesit hasar bölgeleri ..... 14
Şekil 2.	TBDY 2018'de yer alan deprem analizi hesap yöntemleri..... 21
Şekil 3.	İtme analizinin yapı üzerinde meydana getirdiği davranış modeli ..... 24
Şekil 4.	Örnek bir itme eğrisi grafiği ..... 24
Şekil 5.	Elastik ve elasto-plastik sistemlerde örnek bir statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi..... 26
Şekil 6.	Modal yer değiştirme-spektral yer değiştirme eğrisi ..... 28
Şekil 7.	Eğrilik-eğilme momenti diyagramı ..... 33
Şekil 8.	İdealleştirilmiş eğrilik-eğilme momenti bağıntısı..... 34
Şekil 9.	Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler ..... 35
Şekil 10.	Plastik mafsal boyu ..... 36
Şekil 11.	Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme eğrisi ..... 38
Şekil 12.	Donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme eğrisi ..... 39
Şekil 13.	Betonarme kesitte eğrilik-moment eğrisi ..... 41
Şekil 14.	Yatay elastik tasarım spektrumu ..... 46
Şekil 15.	Düşey elastik tasarım spektrumu ..... 48
Şekil 16.	Kirişin iki taraftan etriye ile sarılması ..... 51
Şekil 17.	A-2 bloğun bulunduğu blok yerleşim planı ..... 55
Şekil 18.	A-2 blok yan cephe görüntüsü ..... 55
Şekil 19.	+0,00 kotu bodrum kat kalıp planı (1/50) ..... 57
Şekil 20.	T ve L kesitli kolonlara ait yerleşim ..... 57
Şekil 21.	Karot numune çalışmaları ..... 58
Şekil 22.	Belirlenen bazı taşıyıcı elemanlara ait donatı okumaları..... 60

Şekil 23.	Belirlenen kolon, kiriş ve perde elemanlara ait yapılan sıyırma işlemleri ve donatı korozyonu belirlenmesi için yapılan sıyırma işlemleri .....	63
Şekil 24.	Taşıyıcı elemanlarda gerçekleştirilen schmitd çalışmaları .....	64
Şekil 25.	Kolonlar arasına epoksi ile perde uygulaması .....	66
Şekil 26.	L kesitli kolonda gerçekleştirilen mantolama işlemi .....	66
Şekil 27.	Kolonda mantolama ve perde ilavesi uygulaması .....	67
Şekil 28.	Epoksi uygulaması ile mantolama işlemi .....	67
Şekil 29.	Güçlendirme sonrası yapılan çalışmalar .....	68
Şekil 30.	Güçlendirme sonrası kolonlarda yapılan mantolama işlemleri.....	68
Şekil 31.	Türkiye deprem tehlike haritası koordinat bilgilerinin girilmesi.....	70
Şekil 32.	Yatay elastik tasarım spektrumu .....	71
Şekil 33.	Kirişlere ait etkin rijitlik çarpanının tanımlanması .....	72
Şekil 34.	Kolonlara ait etkin rijitlik çarpanının tanımlanması .....	72
Şekil 35.	Döşemelere ait etkin rijitlik çarpanının tanımlanması .....	73
Şekil 36.	Mevcut okul binasının 3D sonlu eleman modeli .....	74
Şekil 37.	Beton için tanımlanan malzemenin doğrusal olmayan özelliği .....	79
Şekil 38.	C19/20 (C18.6 MPa) betonuna ait doğrusal olmayan malzemenin tanımlanması .....	80
Şekil 39.	C19/20 (C18.6 MPa) betonuna ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	80
Şekil 40.	S420 çeliğine ait doğrusal olmayan malzemenin tanımlanması 1 .....	81
Şekil 41.	S420 çeliğine ait doğrusal olmayan malzemenin tanımlanması 2 .....	81
Şekil 42.	S420 çeliğine ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği .....	82
Şekil 43.	X Yönü kapasite eğrisi .....	83
Şekil 44.	Y Yönü kapasite eğrisi .....	83
Şekil 45.	X Yönü davranış spektrumu .....	86
Şekil 46.	Y Yönü davranış spektrumu .....	86

Şekil 47.	K100/37 kirişine ait kesit .....	88
Şekil 48.	X yönü doğrusal olmayan itme analizi için kiriş hasar sınırları .....	93
Şekil 49.	Y yönü doğrusal olmayan itme analizi için kiriş hasar sınırları .....	94
Şekil 50.	S(TT) kolonuna ait kesit .....	95
Şekil 51.	X yönü doğrusal olmayan itme analizi için kolon hasar sınırları .....	98
Şekil 52.	Y yönü doğrusal olmayan itme analizi için kolon hasar sınırları .....	98
Şekil 53.	X yönü itme analizi plastik mafsallaşma durumu .....	100
Şekil 54.	Y yönü itme analizi plastik mafsallaşma durumu .....	100
Şekil 55.	Born Iran deprem ivme kayıtları .....	104
Şekil 56.	Darfield New Zeland “CSHS” deprem ivme kayıtları .....	104
Şekil 57.	Darfield New Zeland “SPFS” deprem ivme kayıtları .....	105
Şekil 58.	Türkiye Düzce deprem ivme kayıtları .....	105
Şekil 59.	Hector Mine deprem ivme kayıtları .....	106
Şekil 60.	Imperial Valley deprem ivme kayıtları .....	106
Şekil 61.	Landers “Barstow” deprem ivme kayıtları .....	107
Şekil 62.	Landers “Joshua Tree” deprem ivme kayıtları .....	107
Şekil 63.	Landers “Morongo Valley Fire Station” deprem ivme kayıtları .....	108
Şekil 64.	Türkiye Kocaeli deprem ivme kayıtları .....	108
Şekil 65.	Tottori Japan deprem ivme kayıtları .....	109
Şekil 66.	11 Adet kaydın kullanılabilirliğinin kontrolü .....	109
Şekil 67.	Born Iran deprem kaydı sonuçları .....	110
Şekil 68.	Darfield New Zeland “CSHS” deprem kaydı sonuçları .....	111
Şekil 69.	Darfield New Zeland “SPFS” deprem kaydı sonuçları .....	111
Şekil 70.	Türkiye Düzce deprem kaydı sonuçları .....	112
Şekil 71.	Hector Mine deprem kaydı sonuçları .....	112

Şekil 72.	Türkiye Kocaeli deprem kaydı sonuçları.....	113
Şekil 73.	Landers “Barstow” deprem kaydı sonuçları .....	113
Şekil 74.	Landers “Joshua Tree” deprem kaydı sonuçları .....	114
Şekil 75.	Landers “Morongo Valley Fire Station” deprem kaydı sonuçları .....	114
Şekil 76.	Tottori Japan deprem kaydı sonuçları.....	115
Şekil 77.	Imperial Valley deprem kaydı sonuçları .....	115
Şekil 78.	11 adet kaydın X yönlü görelî kat ötelenme oranları.....	116
Şekil 79.	11 adet kaydın Y yönlü görelî kat ötelenme oranları.....	116
Şekil 80.	11 adet kaydın X yönlü kombinasyon sonuçları.....	118
Şekil 81.	11 adet kaydın Y yönlü kombinasyon sonuçları.....	118
Şekil 82.	Güçlendirme yapılan çalışmaların gösterildiği kalıp planı .....	120
Şekil 83.	Güçlendirme esnasında ilave edilen perde detayları.....	122
Şekil 84.	FRP uygulaması yapılan giriş gösterimi .....	122
Şekil 85.	Güçlendirilen okul binasının 3D sonlu elemanlar modeli .....	123
Şekil 86.	Güçlendirilmiş yapı X yönlü itme eğrisi.....	127
Şekil 87.	Güçlendirilmiş yapı Y yönlü itme eğrisi.....	127
Şekil 88.	X yönü davranış spektrumu .....	130
Şekil 89.	Y yönü davranış spektrumu .....	130
Şekil 90.	Güçlendirilmiş yapıya ait X yönü giriş hasar sınırları .....	131
Şekil 91.	Güçlendirilmiş yapıya ait Y yönü giriş hasar sınırları .....	132
Şekil 92.	Güçlendirilmiş yapıya ait X yönü kolon hasar sınırları .....	137
Şekil 93.	Güçlendirilmiş yapıya ait Y yönü kolon hasar sınırları .....	138
Şekil 94.	Çubuk perde elemana ait örnek bir model .....	141
Şekil 95.	PERDE 3 POX yönü perde hasar bölgeleri .....	142
Şekil 96.	PERDE 3 POY yönü perde hasar bölgeleri .....	142

Şekil 97.	PERDE 4 POX yönü perde hasar bölgeleri .....	142
Şekil 98.	PERDE 4 POY yönü perde hasar bölgeleri .....	142
Şekil 99.	Güçlendirilmiş yapı Born Iran deprem sonuçları.....	146
Şekil 100.	Güçlendirilmiş yapı Darfield New Zeland “CSHS” deprem sonuçları .....	147
Şekil 101.	Güçlendirilmiş yapı Darfield New Zeland “SPFS” deprem sonuçları.....	147
Şekil 102.	Güçlendirilmiş yapı Türkiye Düzce deprem sonuçları .....	148
Şekil 103.	Güçlendirilmiş yapı Born Landers 838 deprem sonuçları .....	148
Şekil 104.	Güçlendirilmiş yapı Landers 864 deprem sonuçları .....	149
Şekil 105.	Güçlendirilmiş yapı Landers “Morongo 881 deprem sonuçları .....	149
Şekil 106.	Güçlendirilmiş yapı Hector Mine deprem sonuçları.....	150
Şekil 107.	Güçlendirilmiş yapı Imperial Valley deprem sonuçları .....	150
Şekil 108.	Güçlendirilmiş yapı Türkiye Kocaeli deprem sonuçları .....	151
Şekil 109.	Güçlendirilmiş yapı Tottori Japan deprem sonuçları.....	151
Şekil 110.	Güçlendirilmiş yapı X yönlü görelî kat ötelenme oranları .....	153
Şekil 111.	Güçlendirilmiş yapı Y yönlü görelî kat ötelenme oranları .....	153
Şekil 112.	Güçlendirilmiş yapı ZTA-X yönü.....	154
Şekil 113.	Güçlendirilmiş yapı ZTA-Y yönü.....	155
Şekil 114.	T kesitli kolona ait normal kuvvet-moment kapasite eğrisi.....	156
Şekil 115.	T kesitli kolona ait moment-eğrilik ilişkisi .....	156
Şekil 116.	L kesitli kolona ait normal kuvvet-moment kapasite eğrisi.....	157
Şekil 117.	L kesitli kolona ait moment-eğrilik ilişkisi .....	157
Şekil 118.	Adları belirtilmiş olan kirişlere ait detaylı plastik mafsal özellikleri.....	166
Şekil 119.	Eksenel kuvvet (kN)-M <sub>xx</sub> (kNm) .....	166
Şekil 120.	Eksenel kuvvet (kN)-M <sub>yy</sub> (kNm) .....	166
Şekil 121.	Örnek olarak K100/37 kirişi detayı .....	172

Şekil 122. K100/37 Kirişin ait pozitif moment akma ve max. moment değerleri.....	173
Şekil 123. K100/37 Kirişin ait negatif moment akma ve max. moment değerleri .....	173
Şekil 124. K100/37 ait kiriş plastik mafsal değerlerinin belirlenmesi .....	174
Şekil 125. Adım 1 plastik mafsal SAP 2000 tanımlaması.....	175
Şekil 126. Adım 2 K100/37 kirişi plastik mafsal tanımlaması.....	175
Şekil 127. Adım 3 Şekil 109'da belirlenen değerlerin ilgili yerlerine girilmesi .....	176
Şekil 128. Adım 4 K100/37 kirişi plastik mafsal atanması .....	177
Şekil 129. 3 Boyutlu etkileşim yüzeyi.....	178
Şekil 130. Adım 1 plastik mafsal SAP 2000 tanımlaması.....	179
Şekil 131. Adım 2 S(110/60) kolonu plastik mafsal tanımlaması.....	179
Şekil 132. Adım 4 S(110/60) kolonu plastik mafsal tanımlaması.....	180
Şekil 133. Adım 5 S(110/60) kolonu plastik mafsal tanımlaması.....	180
Şekil 134. Adım 6 S60 kolonu plastik mafsal tanımlaması.....	181
Şekil 135. Adım 9 S110/60 kolonu plastik mafsal tanımlaması .....	181

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1.	TBDY-2018 bilgi düzeyi katsayıları..... 13
Tablo 2.	Bina performans düzeyleri ve buna ilişkin açıklamalar..... 15
Tablo 3.	Mevcut yerinde dökme betonarme binalar için belirlenen performans hedefleri ..... 16
Tablo 4.	Taşıyıcı sistem elemanların etkin kesit rijitlikleri çarpanları..... 20
Tablo 5.	Eşdeğer deprem yükünün uygulanabileceği binalar ve uygulama şartları... 22
Tablo 6.	Donatı çeliklerine ait bilgiler ..... 40
Tablo 7.	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları ..... 45
Tablo 8.	Uzun periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları..... 46
Tablo 9.	Laboratuvar ortamında basınç dayanımları ölçülen karot numuneleri ..... 59
Tablo 10.	Bodrum kat kolonlara ait donatı okuma değerleri ..... 61
Tablo 11.	Bodrum kat kirişlere ait donatı okuma değerleri ..... 62
Tablo 12.	Okunan sıyırma değerleri ve donatılar..... 65
Tablo 13.	Bodrum kat, zemin kat ve 1.normal kat schmidt okuma değerleri..... 63
Tablo 14.	Mevcut yapıya ait kolon detayları..... 75
Tablo 15.	X yönü düzensizlik kontrolleri..... 76
Tablo 16.	Y yönü düzensizlik kontrolleri..... 76
Tablo 17.	Mevcut binanın periyot değerleri ve kütle katılım oranları ..... 77
Tablo 18.	Eşdeğer deprem yükü dağılımları ..... 78
Tablo 19.	X Yönü deprem doğrultusu modal kapasite diyagramının koordinatları..... 84
Tablo 20.	Y Yönü deprem doğrultusu modal kapasite diyagramının koordinatları..... 85
Tablo 21.	Beton ve donatı çeliğine ait izin verilen birim şekildeğiştirme sınırları..... 87
Tablo 22.	POX için 3.kat kirişlere ait hasar sınır bölgeleri..... 89
Tablo 23.	Beton ve donatı çeliğine ait izin verilen birim şekildeğiştirme sınırları..... 95

Tablo 24.	POX için 3.kat kolonlara ait hasar sınır bölgeleri.....	96
Tablo 25.	Belirlenen deprem ivme kayıtları.....	103
Tablo 26.	Güçlendirme çalışması gerçekleştirilen kolon detayları .....	124
Tablo 27.	Mevcut binanın periyot değerleri ve kütle katılım oranları .....	124
Tablo 28.	X yönü düzensizlik kontrolleri.....	124
Tablo 29.	Y yönü düzensizlik kontrolleri.....	125
Tablo 30.	Güçlendirilmiş yapı eşdeğer deprem yükü hesabı .....	126
Tablo 31.	X yönü deprem doğrultusu modal kapasite diyagramının koordinatları ...	128
Tablo 32.	Y yönü deprem doğrultusu modal kapasite diyagramının koordinatları ...	129
Tablo 33.	Güçlendirilmiş yapıya ait kiriş hasar sınırları .....	133
Tablo 34.	Güçlendirilmiş kolona ait değerler.....	139
Tablo 35.	PERDE 3 ve PERDE 4 taban kesme kuvvetlerine ait yüzdeler.....	143
Tablo 36.	Güçlendirilmiş yapıda ilave perdeler için X deprem yönlü hasar sınırları	144
Tablo 37.	Kirişlere ait plastik mafsalsal değerleri .....	167
Tablo 38.	S (200/60) kolonu 3 boyutlu olarak gösterilmiş olan etkileşim yüzeyinin oluşturulması için kullanılan 2 boyutlu etkileşim yüzeyi .....	168
Tablo 39.	S (20/10) kolonu 3 boyutlu olarak gösterilmiş olan etkileşim yüzeyinin oluşturulması için kullanılan 2 boyutlu etkileşim yüzeyi .....	169
Tablo 40.	Kolonlara ait plastik mafsalsal değerleri .....	171

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- $a_1^{(i)}$  : (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
- BHB** : Belirgin hasar bölgesi
- BKS** : Bina kullanım sınıfı
- BYS** : Bina yükseklik sınıfı
- C<sub>R</sub>** : Spektral yer değiştirme oranını
- $\Delta$  : Kat ötelemeleri
- $\Delta t_{(s)}$  : Deprem ivme kaydı zaman aralığı
- D** : Dayanım fazlalığı katsayısı
- DD** : Deprem düzeyi
- DGT** : Dayanıma göre tasarım
- DTS** : Deprem tasarım sınıfı
- DD-1** : 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
- DD-2** : 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
- DD-3** : 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
- DD-4** : 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
- DBYBHY** : Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
- $d_1^{(i)}$  : (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
- E** : Deprem etkisi
- $E_d^{(X)}$  : (X) doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
- $E_d^{(Y)}$  : (Y) doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
- $E_d^{(Z)}$  : (Z) doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
- (EI)<sub>e</sub>** : Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
- $\epsilon_c$  : Beton basınç birim şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{cu}$  : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{sh}$  : Donatı çeliğinin pekleştiği andaki birim şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{su}$  : Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
- $\epsilon_{sy}$  : Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
- $f_c$  : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi

<b><math>f_{cc}</math></b>	: Sargılı beton dayanımı
<b><math>f_{cm}</math></b>	: Mevcut beton dayanımı
<b><math>f_{co}</math></b>	: Sargısız beton dayanımı
<b><math>f_s</math></b>	: Donatı çeliğindeki gerilme
<b><math>f_{sy}</math></b>	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
<b><math>f_{su}</math></b>	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
<b><math>F_1</math></b>	: 1 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
<b><math>F_s</math></b>	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
<b><math>G</math></b>	:Ölü yük
<b><math>GB</math></b>	: Göçme bölgesi
<b><math>GÖ</math></b>	: Göçme öncesi
<b><math>g</math></b>	:Yerçekimi ivmesi [ $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ]
<b><math>h_i</math></b>	: Kat yüksekliği
<b><math>I</math></b>	: Bina önem katsayısı
<b><math>\dot{I}HB</math></b>	: İleri hasar bölgesi
<b><math>KH</math></b>	: Kontrollü hasar
<b><math>KK</math></b>	: Kesintisiz kullanım
<b><math>\kappa</math></b>	: Göreli kat ötelemelerinin tanımında kullanılan katsayı
<b><math>\lambda</math></b>	: Göreli kat öteleme sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
<b><math>L_p</math></b>	: Plastik mafsal boyu
<b><math>m_t</math></b>	: Binanın toplam kütlesi
<b><math>M_y</math></b>	: Efektif akma momenti
<b><math>M_p</math></b>	: Plastik toplam momenti
<b><math>N_D</math></b>	: Normal kuvvet
<b><math>n</math></b>	: Hareketli yük katılım katsayısı
<b><math>PGA</math></b>	: Peak Ground Accelaration
<b><math>R</math></b>	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
<b><math>R_a(T)</math></b>	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı
<b><math>R_y</math></b>	: Akma dayanım azaltma katsayısı
<b><math>\Gamma_n^{(X)}</math></b>	: (X) deprem doğrultusu için, n'inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanı
<b><math>S_{ae}(T)</math></b>	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
<b><math>S_{de}(T)</math></b>	: Yatay elastik tasarım spektral yer değiştirilmesi
<b><math>S_{aeD}(T)</math></b>	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi

**S<sub>aR</sub>(T<sub>p</sub>):** Azaltılmış tasarım spektral ivmesi

**SAP 2000:** Structural Analysis and Design Program 2000

**S<sub>Ds</sub>** : Kısa periyot bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı

**S<sub>D1</sub>** : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı

**S<sub>1</sub>** : 1.0 saniye periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı

**S<sub>s</sub>** : Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı

**SH** : Sınırlı hasar

**SHB** : Sınırlı hasar bölgesi

**ŞDGT** : Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım

**T<sub>A</sub>** : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu

**T<sub>AD</sub>** : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu

**T<sub>B</sub>** : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu

**T<sub>BD</sub>** : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu

**TBDY** : Türkiye bina deprem yönetmeliği

**T<sub>L</sub>** : Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesinde geçiş periyodu

**T<sub>p</sub>** : Binanın hakim doğal titreşim periyodu

**TS-500:** Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları

**T<sub>1,X</sub>** : Binanın X doğrultusunda birinci periyodu

**T<sub>1,Y</sub>** : Binanın Y doğrultusunda birinci periyodu

**u<sup>(i)</sup><sub>xN1</sub>** : Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme

**V<sub>TE</sub>** : Toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

**W** : Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı

**Ø<sub>p</sub>** : Plastik eğrilik

**Ø<sub>t</sub>** : Toplam eğrilik

**Ø<sub>u</sub>** : En büyük eğrilik

**Ø<sub>y</sub>** : Efektif akma eğriliği

**Ø<sub>xN1</sub>** : Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

**θ<sub>p</sub>** : Plastik akma dönmesi

**θ<sub>t</sub>** : Toplam akma dönmesi

**θ<sub>u</sub>** : En büyük akma dönmesi

**Q** : Hareketli yük

## 1. GİRİŞ

Türkiye meydana gelen yoğun deprem hareketleri açısından dünyada en tehlikeli bölgede yer alan fay hatlarına sahip bir ülkedir. Coğrafik açıdan bakılacak olursa üç aktif fay hattının (Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı, Batı Anadolu Fay Hattı) bulunduğu bir bölgede yer alan ülkemiz yoğun fay hareketlerinden dolayı deprem kuşağında yer almaktadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığından (AFAD) elde edilen verilere göre ülkemiz topraklarının yüz ölçümünün yaklaşık %42'si yoğun deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Ayrıca ülke büyük önemli fay hatları içinde Afrika, Arabistan ve Avrasya plakaları olarak adlandırılmış olan ve bu plakalar arasında kalan bir alt plakadır. Arabistan plakası Türkiye'yi kuzey yönüne doğru iterken, Afrika plakası saat yönünün tersinde hareket etmeye zorlar. Fakat bunlara karşı zıt bir hareket gerçekleştiren Avrasya plakası kuzey yönde bu fayın hareket etmesini tam anlamıyla engeller. Bu durum Türkiye'yi etkilediği gibi Türkiye sınırları içerisinde yer alan aktif fay hatlarının büyük bir çoğunluğunu barındıran ve nüfus yoğunluğunun diğer illere oranla fazla olduğu İstanbul ilini de etkilemektedir.

TBDY-2018 ile yönetmeliklerin yetersiz kaldığı, gelişen teknolojiyle de bu yetersizliklerin giderilmeye çalışıldığı ve depremlerin getirmiş olduğu yıkıcı etkiler sonrası gerek yeni yapılar üzerinde gerek mevcut yapılar üzerinde yapılacak olan analiz çalışmalarına büyük katkılar sunulmuştur.

TBDY-2018 deprem yönetmeliğinin 15. Bölüm de yer alan "Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tasarımı için Özel Kurallar" başlığı altında, mevcut yapı stokunun değerlendirilmesinde hangi yaklaşımlarda bulunulması gerektiği ve yapının elde edilen durumu hakkında nasıl bir yol izlenebileceğini detaylarıyla açıklamaktadır.

### 1.1. Literatür Araştırması

Hassan ve Sözen (1997), Erzincan depreminde meydana gelen hasarları değerlendirerek betonarme, alçak katlı, monolitik binaları depremin vermiş olduğu hasara karşı savunmasızlıkları da göz önünde bulundurularak temel amacı depremde daha fazla hasar görme riski olan bir döküm betonarme binaların tespit edilmesi olan, bir yöntem önermişlerdir. Yöntemdeki temel amaç binada bulunan efektif perde oranı (perdelerin kesit

alanının tüm kat alanına oranı) ve efektif kolon oranı (kolonlara ait kesit alanları toplamının tüm kat alanına oranı) ile gözlenen hasar arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Süreç, 1992 Erzincan depreminde çeşitli düzeylerde hasar görmüş bir grup bina kullanılarak test edilmiştir.

Bommer ve Ruggeri (2002), çalışmalarında modern deprem yönetmeliklerinde tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu olmak koşulu ile sentetik, yapay ya da gerçek ivme kayıtlarının kullanılabilmesi konusunda bir fikir sunmuşlardır. Yönetmeliklerde tanımlanan bölgesel tasarım spektrumları ile seçilen ivme kayıtlarının tepki spektrumlarının, belirli bir periyot aralığında uyumlu olması istenmektedir. Herhangi bir ivme kaydının tepki spektrumunun, tasarım spektrumu ile uyumlu olması mümkün değildir. Bundan dolayı birden fazla ivme kaydı seçilmekte ve tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmektedir. Yapı modellerinin zaman tanım alanında analizleri için genel olarak en az üç ivme kaydının kullanılması önerilmektedir. Eğer en az yedi ivme kaydı kullanılırsa, analizler sonucu elde edilecek yapısal tepkilerin ortalaması sismik tasarım veya performans değerlendirmesi amacı ile kullanılabilir. Daha az ivme kaydı kullanıldığında ise yapısal tepkilerin maksimumunun tasarım ve performans değerlendirmesi için dikkate alınması öngörülmektedir.

Jianguo vd. (2006), beton dolgulu dikdörtgen çelik boru yapıların sismik davranışını araştırmak için, 10 katlı dikdörtgen kesitli beton kolonlar ve çelik kirişlerin meydana getirdiği moment aktaran çerçeve sistemin itme analizi ile birlikte deprem davranışını incelemiştir. Yapılan analiz sonucunda kompozit kolonlu yapının betonarme yapıya göre süneklik düzeyi ve sismik performansı bakımından daha güvenli sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak beton dolgulu kompozit yapılar deprem bölgelerinde tavsiye edilmiştir.

İnel vd. (2007), yapmış oldukları çalışmada okul ve hastane binalarına ait doğrusal olmayan modelleme teknikleri kullanılarak deprem analizleri yapmışlardır. Mevcut veya yeniden inşa edilen binaların deplasman esaslı değerlendirmesi için doğrusal analiz yöntemleri yerine daha gerçekçi yaklaşımların elde edildiği doğrusal olmayan modellere uygun doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirileceği yapılar kullanılmaktadır.

Youssef vd. (2007), çelik çaprazlı güçlendirme çalışması gerçekleştirmiş ve bunun güçlendirme çalışmaları içinde en etkili yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında,

betonarme malzeme kullanmışlar ve bu malzemenin yapı üzerinde etkisini deneysel olarak sunmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde çaprazlı çerçevenin moment çerçevesine göre daha yüksek yanal yüklere dayandığını ve yeterli süneklik sağladığını elde etmişlerdir.

Arısoy ve Arel (2010), yaptıkları çalışmalarında çerçeve/perde-çerçevelerden oluşan sekiz katlı iki adet farklı betonarme binanın depreme karşı performans analizlerini doğrusal ve doğrusal olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemleri ile analiz edip iki farklı durumun mukayesesini gerçekleştirmişlerdir. Analizler Sap 2000 programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeler sonrası iki durum içinde çok büyük farklılıkların meydana geldiğini, benzer kapasitede olmadıklarını belirlemişlerdir.

Atay (2010), gerçekleştirdiği çalışmada depremde hasar görmüş yapıların güçlendirilmesi ve güçlendirme esnasında kullanılan malzemelerin durumları hakkında bilgi verdiği bir çalışma gerçekleştirmiştir. Atay çalışmasında öncelikle deprem de hasar gören yapıların neden böyle hasarlar aldığına dair araştırma yapmış ve yapının taşıyıcı sistemine göre deprem de meydana gelen hasarın durumuna göre güçlendirme yapmanın hem yapı dayanıklılığı hem de maliyet açısından öneminden bahsetmiştir. Eski elemanlar ile yeni elemanların bir bütün olarak çalışması gerektiğine de değinen Atay güçlendirmelerin sistem bazında ve eleman bazında olduğuna değinmiştir.

Ürünveren (2010), gerçekleştirdiği çalışmasında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY-2007) doğrultusunda Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemini kullanarak mevcut bir binanın deprem performansının belirlenmesini ve daha sonra bununla alakalı yapılabilecek güçlendirme çalışmalarını incelemiştir. Bu çalışma için, İzmir ilinde 1986 yılında inşa edilmiş Z3 zemin sınıfına ait betonarme çerçeve sistemli beş katlı bir binayı analiz etmiştir. Yaptığı analizler sonucu elde edilen sonuçlardan iki binanın belirlenen performans noktalarında beton ve donatı çeliğindeki birim deformasyonlarını hesap ederek bunların kıyaslamalarını yapmıştır.

Fahjan vd. (2011), 12 katlı bir betonarme yapıya ait doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda, yapıda oluşan yerdeğiştirmeler ve görel kat ötelemelerini elde ederek tepki parametrelerini hesap etmişlerdir. Bunun için, DBYBHY-2007 deprem yönetmeliğini dikkate alarak 10 adet ölçeklendirilmiş gerçek deprem kaydı kullanılmıştır. 7 depreme ait sonuçların ortalaması hesap edilerek, herhangi bir ucunun en büyük değeri ile en küçük değerine ait üç sonuç

içinden en büyük değer alınarak karşılaştırılmıştır. Sonuçta, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri için en az 7 adet deprem kaydı kullanılmasının ve elde edilen sonuçlarının ortalamasının göz önüne alınmasının daha doğru olacağı belirtilmiştir.

Karabulut (2011), kat adedi ve taşıyıcı özellikleri farklı olan TS500 ve DBYBHY-2007 yönetmeliğine uygun olarak tasarlanmış 3 adet binanın, doğrusal ve bununla beraber kullanılan doğrusal olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilmiş ve 3 farklı yapının analizler sonrası mukayesesi tamamlanmıştır. Sonuç olarak bakıldığında, 3 farklı betonarme yapının yönetmeliğin doğrusal ve doğrusal olmayan adımları için durum değerlendirilmesi tablolarıyla birlikte sunulmuştur.

Türkay (2013), çalışmasında dört katlı perde-çerçeve olan betonarme bir okul binasının DBYBHY-2007 ve TS 500'e göre tasarımını yapmıştır. Okul binası taşıyıcı sisteminin deprem performansı, tasarım depremi ve şiddetli deprem için, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemini kullanmıştır. ASCE 41-06 ve DBYBHY 2007'ye göre deprem performansının belirlenebilmesi için SAP 2000 yapısal analiz programı ve RESPONSE2000 kesit analizi programını kullanarak değerlendirmeler yapmıştır.

Çavdar ve Bayraktar (2014), yaptıkları çalışmalarında 2011 yılında gerçekleşen Van depremi esnasında göçen bir binanın lokasyon şartları ve yönetmelik göz önünde bulundurularak deprem performansını gerçekleştirmişlerdir. 6 katlı betonarme perdeli yapının deprem sonrasında gerekli yerinde incelemelerin ve araştırmaların yapılarak enkazdan alınan örneklerle birlikte değerlendirmesini gerçekleştirmiş, elde ettikleri malzeme dayanımı ve donatı detaylarını tespit ettikten sonra deprem analizlerini yapmışlardır. Mevcut binanın doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak yapının can güvenliği performans düzeyini sağlamadığını görmüşlerdir.

Elbakry ve Tarabia (2016), yaptıkları çalışmalarında son birkaç yılda artan güçlendirme çalışmalarının ekstra yükleri karşılamadaki öneminden bahsetmiş ve betonarme kolonları onarmak ve güçlendirmek için beton ceket kullanımının öneminden bahsetmişlerdir. Makalelerinde, beton ceketlerin mevcut betonarme kolonlar ile betonarme ceketler arasında mukavemeti artırıcı yönde etriyelerin ve dübellerin etkisini deneysel ve teorik çalışmalarla sunmuşlardır. Gerçekleştirilen çalışmalarda dört taraftan mantolanmış betonarme mantolarda kullanılmış olan etriyelerin kullanılmış olan etriyelerin sınırlandırma etkisinin dübellerin etkisinden daha fazla olduğunu görmüşlerdir.

Shin, vd. (2016), iki katlı sünek olmayan bir yapıya ait sismik davranışlarını inceledikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Tamamıyla betonarme çerçeve olan yapının ilk kat kolonlarında fiber takviyeli polimer mantolama uygulamaları yapının mod tepkisini, katlar arası deplasman davranışını ve güçlendirme sisteminin etkinliğini incelemişlerdir. Gerçekleştirilen güçlendirme çalışmasının yapı da daha iyi sonuçlar meydana getirdiğini görmüşlerdir.

Tunç vd. (2016), hazırlanmakta olan yeni deprem yönetmeliğiyle birlikte yenilenen çalışmaların mevcut deprem yönetmeliğiyle olan farklılıklarını mukayese etmişlerdir. Eklenen yeni hesap metodlarını ve yönetmeliğin yaptığı çalışmalar sonucu yaptığı değişiklikleri genel hatlarıyla ortaya koymak ve ulaşılabilecek olumlu ve olumsuz etkilerini ETABS programını kullanarak modelledikleri 10 katlı bir ofis binasının tasarımı ve değerlendirmesini iki yönetmeliği göz önünde bulundurarak analizlerini gerçekleştirmiş ve iki durumu mukayese etmişlerdir. Gerçekleştirilen analizler sonrası sonuçlar değerlendirilerek, etkin kesit rijitlik katsayılarının kullanılmasının bina salınım periyodunu ve ötelenmeleri önemli ölçüde değiştirdiğini ve artış olduğunu görmüşlerdir. Bu artışa bağlı olarak yeni yönetmelik göz önünde bulundurularak yapılan çözümde taban kesme kuvvetleri azalmıştır. Ancak bu azalmaya rağmen, dayanım fazlalığı katsayısının etkisiyle özellikle kesme kuvvetinin belirleyici olduğu perde duvar gibi yapı elamanlarının tasarım iç kuvvetlerinde % 20-% 25 oranında artış gösterebileceğini belirtmişlerdir.

Afzali (2018), gerçekleştirdiği çalışmada, Edirne’de bulunan 5 katlı mevcut bir okul binasının betonarme perde elemanlarla iki güçlendirme yöntemi ile güçlendirilmesi değerlendirmiş, 14 adet deprem kaydının bu üç durum için artımsal dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile elde edilen görelî kat ötelemesi, taban kesme kuvveti değerleri ile kırılgenlik eğrileri, taban kesme kuvveti-görelî kat ötelemesi eğrileri ve kat yüksekliği-görelî kat ötelemesi eğrileri oluşturulmuştur. Mevcut durumda küçük şiddetlerde büyük yer değiştirmelerin meydana geldiği, güçlendirme sonrasında yer değiştirmelerde küçülmelerin olduğu görülmüştür.

Soycan (2018), planda burulma düzensizliği bulunan betonarme çerçeve binaların deprem performansları, TBDY-2018’de önerilen doğrusal olmayan yöntemlerle incelemiştir. Bu yöntemler, Doğrusal Olmayan Statik İtme ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yöntemlerdir. Çalışmada aynı plana sahip fakat kolon boyutlarının farklı

olması sebebiyle burulma düzensizliği katsayısı 1.10 ve 1.21 olan 5 katlı ve aynı özelliklere sahip 7 katlı 4 adet binayı dikkate almıştır.

Öztürk (2018), 1996 ve 2018 tarihli deprem tehlike haritalarını İç Anadolu Bölgesi göz önünde bulundurarak karşılaştırma yapmıştır. 1996 haritasına göre 1., 2., 3. ve 4. deprem bölgelerinin yer aldığı 4 farklı yerde, TBDY-2018 deprem yönetmeliğine farklı 2 zemin sınıfı için tasarım ve yatay ivme spektrumları kıyaslanmıştır. Her iki yönetmeliğe göre eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak taban kesme kuvvetlerine göre kıyaslama yapmıştır. ZB-Z2 zemin sınıflarına göre TBDY 2018 taban kesme kuvvetlerinin eski yönetmeliğe göre ortalama %60 arttığını tespit etmiştir.

Tutkal (2018), TS500 ve DBYBHY-2007 kurallarına uygun olarak tasarlanmış, kat planları aynı kat sayıları farklı 3 binanın Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı yöntemleri ile deprem performans analizlerini yapmıştır. Yapı sistemlerinin analiz sonuçları kat adetlerinin etkisi açısından her bir yöntemle göre ayrı ayrı irdelemiştir. Ayrıca aynı kat adedine sahip binalar için iki yöntemden elde edilen çözümler birbirleri ile karşılaştırmıştır. Çözümlerde SAP 2000 programı kullanmıştır.

Çavdar vd. (2018), çalışmalarında Gümüşhane ilinde yer alan burulma düzensizliğine sahip mevcut bir yapının performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Performans analizinde, doğrusal olmayan yöntemlerden statik itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, mevcut yapının olası bir depreme karşı can güvenliği performans hedefini sağlamadığını elde etmişlerdir. Mevcut yapıda burulma düzensizliğini ortadan kaldırmak için yapının köşe kısımlarına betonarme perde ilave edilerek güçlendirilmesi gerektiğini önermişlerdir.

Uzun (2018), 5 katlı bir yapının deprem hesaplarını hem DBYBHY-2007 hem de TBD-2018 kullanılarak gerçekleştirmiştir. Deprem hesabında her iki yönetmelik ile kullanım sınırları ve yapı yöntemi açıklanan eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanmıştır. DBYBHY-2007 kullanılarak yapılan hesaplarda yapının birinci derece deprem bölgesinde yer aldığı ve Z2 yerel zemin üzerinde inşa edileceği düşünülürken, TBDY-2018 ile Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) seçmiştir ve yerel zemin sınıfı için de SPT/N deneyleri gerçekleştirmiş ve zemin sınıfını ZD olarak belirlemiştir.

Tezel (2019), çalışmasında 5 katlı betonarme bir binanın zaman tanım alanına ait doğrusal olmayan analizleri TBDY ile uyumlu olarak oluşturulan 11 adet deprem ivme kaydı

kullanılmıştır. TBDY’de tanımlanan ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları için tanımlanan tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde oluşturulmuştur. Her bir zemin sınıfı için 30 ivme, toplamda 90 ivme seti, zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirmek için kullanılmıştır. İvme kayıtları için kullanılacak ölçeklendirme katsayısı 0.5-2.0 arasındaki değerleri belirlemiştir.

Uçar (2019), İstanbul Kadıköy ilçesinde yapılması kurgulanan çerçeve ve perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 9 katlı betonarme bir hastane binasının TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 yönetmelikleri kullanılarak bina performansının lineer olmayan yöntemler kullanılarak belirlenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Tez çalışmasında kuvvet bazlı tasarımı TBDY-2018 yönetmeliğine göre yapılan binanın, DBYBHY-2007’de tanımlanan lineer olmayan iki yöntem olan itme analizi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak deprem performansı  $I=1,5$  ve  $I=1,0$  deprem düzeyleri için toplamda 4 adet olacak şekilde performans analizi yapmıştır. Bu analizden elde edilen sonuçlar ile TBDY-2018 kapsamında tariflenen lineer olmayan hesap yöntemlerinden tek modlu itme analizi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için toplamda 4 adet performans analizinden elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır.

Kuşu (2019), taşıyıcı sistemi karma ve betonarme olmak üzere iki eşlenik yüksek katlı yapının TBDY-2018 deprem yönetmeliğine göre zaman tanım alanında gerçek zamanlı deprem kayıtları ile analizlerini gerçekleştirmiştir.

Şahin (2019), mevcut bir betonarme binanın Türkiye Deprem Yönetmeliği 2019 ‘a göre analizini yaparak performans değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapı istenen performans hedefini sağlayamamış ve yapıda güçlendirme yapılmasına karar verilmiştir. Bunun sonucunda yapı da çelik güçlendirme yöntemlerine başvurulmuştur.

Zolmaz (2019), tez çalışmasında yapı ve deprem mühendisliğindeki son gelişmeleri kapsayacak şekilde hazırlanan ve yürürlüğe yeni giren TBDY-2018 yönetmeliği esasları referans alınarak 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe göre tasarlanmış betonarme bir binanın önce doğrusal elastik performans değerlendirmesi sonra perde eklenmesiyle oluşan güçlendirilmiş durumunun performans analizi yapılmıştır.

Murugan ve Sengupta (2020), bir kolonun kesme kırılmasını incelemişler bu incelemeyi yaptıkları güçlendirme çalışmalarıyla desteklemişlerdir. Kolonlarda gerçekleşen kesme kırılmasının gevrek bir kırılma olduğunu belirten Murugan ve Sengupta bir kolonu mantolama ile güçlendirmişler ve sismik durumunu incelemişlerdir. Büyük ebatlı kolon numunelerinin, eksenel yükler altında kesme kırılmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri çalışmalarda, numuneler için farklı sonuçlar elde etmişler, mantolama gerçekleştirilen kolonun rijit davrandığını görmüşlerdir.

Sakr vd. (2020), betonarme mantolama işleminin güçlendirmede yaygın olarak kullanılan bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. İnce taneli karışımdan elde edilen özel yüksek performanslı fiber donatılı beton son zamanlarda yapıların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakta olduğunu görmüşlerdir. Ultra yüksek performanslı fiber donatılı beton çalışmalarına konu olmuştur. Mükemmel dayanıklılık göstermesi, sünekliliği, yangın ve aşınma direnci gibi birçok özelliklerinden bahsetmişlerdir. Bu çalışmada, eksenel veya eksantrik yüklere maruz kalan ultra yüksek performanslı fiber donatılı beton sisteminde ceketli güçlendirilmiş kolonların davranışlarını taklit etmek için bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Sonlu eleman modeli, çekirdek ve ceket betonu arasındaki ara yüzü dikkate almaktadır. Bu model nihai yük kapasitelerini ve kırılmaya dair modları en iyi şekilde tahmin edebilir olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca deneysel yapılan çalışmalardaki test sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Fradioon (2020), 24 katlı betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binanın yürürlükte bulunan TBDY-2018'e göre analiz aşamalarını kullanarak tasarım gerçekleştirmiş ve TBDY 2018' de yer alan analiz aşamalarını kullanarak binanın deprem performansını belirlemiştir. Binaya ait deprem performansının Kontrollü Hasar (KH) performans hedefi göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Binayı DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için analiz etmiş ve doğrusal olmayan elastik analiz gerçekleştirmiştir.

## **1.2. Tezin Amacı**

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. TBDY-2018'de hem yeni binaların tasarlanması hem de mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi performans kavramını esas alarak verilmiştir. Mevcut binaların taşıyıcı sistemi, düşey ve

deprem yükleri altında yeterliliği kontrol edilir. Yetersiz bulunan binalarda güçlendirme müdahalesi öngörülerek taşıyıcı sistemde değerlendirme tekrarlanır ve uygun güçlendirme bulunabilir.

Bu tez çalışması kapsamında, İstanbul ili Eyüp ilçesinde yer alan, ABYYHY-1975 göre 1996 yılında eğitim kurumu olarak inşa edilmiş 3 katlı betonarme perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemli bir okul binasının mevcut durumu öncelikle incelenmiştir. TBDY-2018 yönetmeliği dikkate alınarak taşıyıcı sistemlerinde gerekli incelemeler yapılarak, mevcut halinin ve güçlendirme çalışması başlatılmış halinin doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. TBDY-2018 deprem yönetmeliği ve TS500 göre güçlendirme çalışması ve projelendirilmesi gerçekleştirilen yapının analizleri SAP 2000 programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmayla eğitim kurumunun mevcut halde istenilen sınır şartları sağlamadığı elde edilmiştir. Daha sonra yapıda gerçekleştirilen güçlendirme çalışması sonrası yapının güçlendirilmiş halde sınır şartları sağladığı görülmüş ve yapının mevcut halde sınır şartları sağlamadığı durumu ile taşıyıcı elemanlarında yapılan güçlendirme çalışmalarına ait olan iki durum kıyas edilerek incelenmiştir. Her iki durum için de yapılması gerekli olan ve yönetmeliğin de tüm yönleriyle üzerinde durduğu “Doğrusal ve Doğrusal Olmayan” hesap adımları analizlerde kullanılmıştır.

### **1.3. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve Analiz Adımlarına Yaklaşım**

Bilgi ve teknolojinin gelişmesine eşdeğer olarak artan ihtiyaçlar doğrultusunda mevcut yapı stokunun gelebilecek depremlere karşı dayanımlarının yetersizliği, yapısal riski azaltma yönündeki yapılan araştırmalar ve çalışmalar Afet Yönetmeliklerini köklü bir değişimlere uğratmıştır.

Mevcut yapı stokunun gelebilecek deprem etkilerine karşı nasıl bir performans sergileyeceği tam olarak bilinmemekle birlikte bu konuda birçok araştırma yapıla gelmiştir. TBDY-2018 Bölüm 15’te yer verdiği “Mevcut Binaların” nasıl değerlendirilmesi gerektiği üzerinde bilgiler sunmuştur.

### 1.3.1. Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binalara yönelik yapılan analiz çalışmalarında, mevcut binaya ait taşıyıcı eleman özelliklerinin bilinmesi ve beton sınıfının ne düzeyde olduğu belirlenmesi gerekmektedir. Bu bilgilerin elde edilmesi için mevcut binaya ait proje ve raporların elde edilmesi, gerekli gözlem ve ölçümlerin yapılması, gerekli laboratuvar çalışmalarının yapılması sonrası elde edilir. Önceden mevcut bina üzerinde varsa yapılmış olan diğer çalışmaların ve mevcut binanın üzerine inşa edildiği zemin yapısının da belirlenmesi dikkat edilmesi gereken çalışmalar arasında yer almaktadır. Gerekli çalışmaların yetkili inşaat mühendislerince gerçekleştirilmesinin ardından elde edilen bilgiler kapsamında TBDY-2018 deprem yönetmeliğinin bilgi düzeyleri kapsamında incelemeler yapılmaktadır.

DBYBHY-2007'ye göre sınırlı, orta ve kapsamlı yapı bilgi düzeyleri mevcuttur. TBDY-2018'e göre orta bilgi düzeylerini göz önünde bulundurmadan sınırlı bilgi düzeyleri ve kapsamlı bilgi düzeylerine göre inceleme yapmaktadır. Kullanılacak bilgi düzeyleri kapsamlarına ilişkin yönetmelikten alınan bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### 1.3.1.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyleri

Binada gerçekleştirilecek olan çalışma kapsamında yönetmelikte bina geometrisi, eleman detayları ve malzeme özelliklerinin sınırlı bilgi düzeylerinde belirlenmesi için gereken adımlar aşağı da verilmektedir (TBDY, 2018).

**Bina Geometrisi**; Yapıya ait mimari projeler elde mevcut ise taşıyıcı sisteme ait planların rölevesi elde edilecektir. Mevcut yapıdaki betonarme elemanlara ait, bölme duvarlarında her bir kattaki yerinin, malzemesinin, açıklıklarının ve elemanlara ait ebatların elde edilmiş olması gerekmektedir. Bu bilgiler binaların hesap modelinin oluşturulmasında yeterli olacak parametrelerdendir. Temel sistemine ait bilgiler bina çevresinden farklı noktalardan açılacak olan inceleme çukurları ile belirlenecektir. Binaların komşu binalarla olan ilişkisi (bitişik, ayrık, derz var/yok) belirlenmesi gereken adımlar arasındadır. Bina da olan olumsuzluklar, kısa kolon vb. durumlar proje uygulanma aşamasında belirtilmesi gerekmektedir.

**Eleman Detayları**; Yapının her bir katına ait en az bir adet olmak üzere kolon ve perde taşıyıcı elemanlara ait beton örtüsünün %5'lik kısmının sıyırılma işlemi yapılarak donatı tespiti yapılması gerekmektedir. Sıyırma işlemi daha sonradan yüksek dayanımlı tamir

harcıyla kapatılmak suretiyle, kolon ve kirişlere ait uzunluğuna dair açıklık ortasının 1/3'lük bölümünden yapılmalıdır. Beton örtüsünde sıyrılma yapılmayan kolon ve perde elemanların %20'sinin en ve boy donatı sayısı ve bu donatı yerleşimine ilişkin bilgiler donatı tespit cihazı ile tespit edilecektir. Tespiti yapılan donatıların betonarme perde ve kolonlarında, mevcut olan donatının en küçük donatı oranının 1'den büyük olmamasını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı belirlenecektir. Bu katsayı donatısı tespit edilmeyen elemanlar için de kullanılarak tüm elemanlara ait donatılar için oransal olarak belirlenecektir.

**Malzeme Özellikleri;** TS EN 12504-1'de belirtilen koşullar göz önünde bulundurularak uzunluk ve çapı eşit ve 100 mm olan üç adetten az olmamak üzere yapılan karot çalışması sonrası varılan dayanım değerleri için hiçbir katsayı uygulanmadan mevcut beton dayanımı olarak kullanılabilir. Toplam numune sayısı üç ise istatistiksel olarak değerlendirme yapılmaksızın en kötü basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak alınmalıdır. Örnek sayısı üçün üzerinde ise ortalama değer eksisi standart sapma değeri belirlenir ve 0.85 katı alınarak ortalama değeri arasından büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak kabul edilmelidir. Donatı sınıfı olarak ise yukarıdaki maddelerde bahsedildiği üzere sıyrılan beton yüzeyinde tespit edilerek, elde edilen çelik karakteristik akma gerilmesi ile mevcut çelik dayanımı alınacaktır. Donatı belirlenmesi esnasında, donatı üzerinde var olan korozyon gibi olumsuzluk durumları da planda işaretlenecek ve yapılan hesapların gerekli yerlerinde değerlendirilecektir.

### **1.3.1.2. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyleri**

Binada gerçekleştirilecek olan çalışma kapsamında yönetmelikte bina geometrisi, eleman detayları ve malzeme özelliklerinin sınırlı bilgi düzeylerinden daha detaylı çalışma yapılarak belirlenmesi sonucu kapsamlı bilgi düzeylerindeki adımlar aşağıda belirtilmiştir (TBDY, 2018).

**Bina Geometrisi;** Mevcut yapıya ait betonarme projeler çalışma yapılan ve elde edilen bilgiler ile kıyas edilir ölçümlerde önemli farklılıklar mevcut ise proje göz ardı edilir. Eğer projeler mevcut değilse, elemanın taşıyıcı sisteme ait planına ait çizimler elde edilecektir. Mevcut binaya ait betonarme elemanların, bölme duvarların her katındaki yerinin, malzemesinin, açıklıklarının ve taşıyıcı eleman ebatlarının elde edilmiş olması gerekmektedir. Temel sistemine ait bilgiler bina çevresinden farklı noktalardan açılacak olan

inceleme çukurları ile belirlenecektir. Binaların komşu binalarla olan ilişkisi (bitişik, ayrık, derz var/yok) belirlenmesi gereken adımlar arasındadır. Bina da olan olumsuzluklar, kısa kolon vb. durumlar proje uygulanma aşamasında belirtilmesi gerekmektedir. Bina geometrisine ait bilgiler, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli olan ayrıntıları içermelidir.

**Eleman Detayları;** Binanın detaylandırılmış projeleri var ise çalışmaların projeye uygunluğunun sınırlı bilgi düzeyindeki eleman detaylarına ait işlem adımları aynı orandaki betonarme taşıyıcı elemanda uygulanacaktır. Beton örtüsü sıyrılmayan betonarme kolon ve perde taşıyıcı elemanların %20'lik kısmının ve çerçeve kirişlerin %10'luk kısmının enine ve boyuna donatı sayısı ve donatıların yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Tespit edilmiş olan donatıların betonarme perde ve kolonlarda, mevcut olan donatının minimum donatıya ait oranının 1'den küçük olmasını ifade eden donatı gerçekleştirme katsayısı belirlenecektir. Bu katsayı donatısı belli olmayan elemanlar için de kullanılarak tüm elemanlara ait donatılar oransal olarak belirlenecektir. Betonarme projesi mevcut olmayan ve inşaat (uygulama) projesi çizimleri mevcut olmayan yapılarda, her katta ikişer adetten az olmamak üzere taşıyıcı kolonlar ve perdelerde %10'luk beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti yapılacaktır. Çalışma sonrası yüzeyler yüksek dayanımlı olan tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca beton örtüsünde sıyırma işlemi yapılmamış taşıyıcı kolon ve perdelerin %30'luk ve kirişlerin ise %15'lik en ve boy donatı adedi ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir.

**Malzeme Özellikleri;** TS EN 12504-1'de belirtilen koşullar dikkate alınarak uzunluk ve çapı eşit ve 100 mm olan zemin katta üçten az olmamak şartıyla, diğer katlarda iki adetten az olmamak üzere ve binada en az dokuz adet koşulu ile, her 400 m<sup>2</sup>'den bir adet beton örneği alınarak çalışma gerçekleştirilecektir. Varılan sonuçlar dayanım değerleri hiçbir katsayı uygulanmaksızın var olan beton dayanımı olarak kullanılabilir. Elemanların kapasitesi hesaplanmaksızın ortalaması belirlenen eksi standart sapma değeri ile 0.85 katı alınan ortalama değeri arasından büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak kabul edilmelidir. Donatı sınıfı sınırlı bilgi düzeylerinde anlatıldığı şekliyle göz önünde bulundurulacak, her sınıftaki çelik için (S220, S420, vb.) birer adet örnek alınıp deney çalışması yapılacak, çeliğe ait şekil değişme özellikleri, kopma dayanımı ve akma gerilmesi belirlenerek projeye uygunluğuna bakılacaktır. Projeye uygun ise, karakteristik akma

gerilmesi mevcut çelik akma gerilmesi olarak kullanılacaktır. Uygunluk söz konusu mevcut değilse tekrar üç adetten az olmamak kaydıyla örnek alınarak deney yapılarak en elverişsiz akma gerilmesi değeri mevcut çelik akma gerilmesi olarak kullanılacaktır. Donatı tespit edilme esnasında, donatı üzerinde var olan korozyon gibi olumsuzluk durumları da planda belirlenerek ve yapılan hesapların gerekli yerlerinde değerlendirilecektir.

### 1.3.1.3. Bilgi Düzeyi Katsayıları

Mevcut binaya ait bilgiler ne kadar sınırlı ise güvenlik katsayısı o yönde yüksek olmalıdır. Eğer kapsamlı bilgi düzeyine sahipseniz, belirlenen eleman kapasitelerini direkt olarak kullanmak mümkündür. Bina hakkında bilgi düzeyi sınırlı olduğunda elemana ait kapasiteleri daha emniyetli tarafta kalmak için daha düşük alınmalıdır. Bu katsayı yönetmeliğin de vermiş olduğu 0.75 sayıdır. Kapsamlı bilgi düzeyinde bu değer 1 olarak verilmektedir. Aşağıdaki Tablo 1’de elde olan projeler doğrultusunda belirlenen yönetmeliğin vermiş olduğu bu değerler belirtilmiştir.

Tablo 1. TBDY 2018 bilgi düzeyleri katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

### 1.3.2. Yapı Elemanlarındaki Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

#### 1.3.2.1. Binaya Ait Kesit Hasar Durumları

TBDY- 2018 deprem yönetmeliği sünek elemanlar için 3 adet hasar sınırı belirlemiştir. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) hasar sınırları olarak belirtilmektedir.

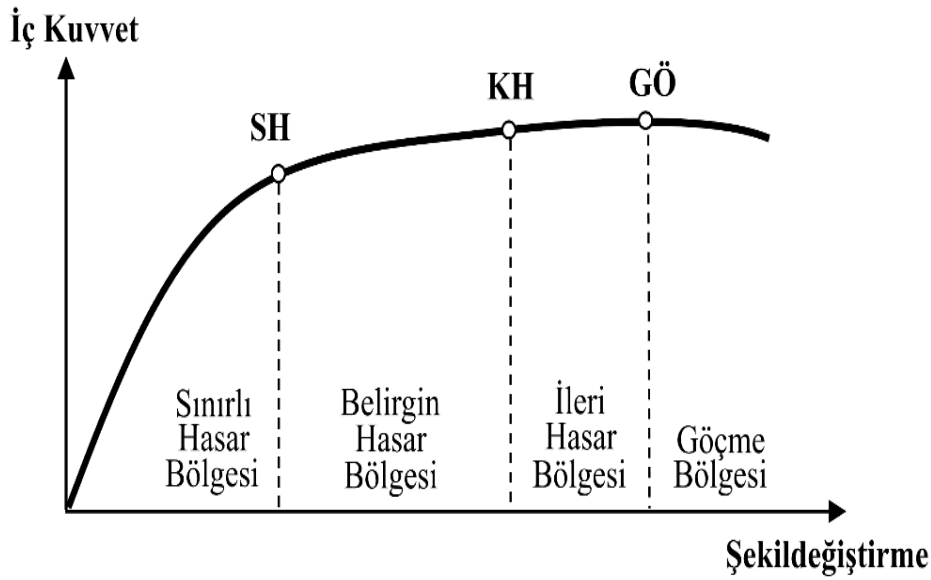
Sınırlı Hasar (SH) Düzeyi, eleman kesitlerinde sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, doğrusal olmayan davranışın minimum sınırdaki kaldığı davranış,

Kontrollü Hasar (KH) Düzeyi, çok ağır olmayan onarılması mümkün olan elastik ötesi davranışı,

Göçme Öncesi (GÖ) Hasar Sınırı, kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı belirtmektedir. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

### 1.3.2.2. Binaya Ait Kesit Hasar Bölgeleri

Kesitlerde oluşan hasarın SH' a ulaşmadığı elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesinde, SH ile KH mevcut olan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesinde, KH ile GÖ mevcut olan elemanlar İleri Hasar Bölgesinde, GÖ kesitlerde oluşan hasarın hasar sınırını aşan elemanlar ise Göçme Bölgesinde yer alırlar. Şekil 1'de Sınırlı Hasar, Kontrollü Hasar ve Göçme Öncesi olmak üzere kesit hasar bölgelerine ait yönetmeliğin vermiş olduğu şekilde yukarıdaki durum gösterilmektedir (TBDY, 2018).



Şekil 1. TBDY 2018'e göre kesit hasar bölgeleri

### 1.3.2.3. Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması

Yapı üzerinde gerçekleştirilmesi düşünülen doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonrası kesitlerin uğradığı şekil değiştirmeler sonucu yapı elemanları yönetmeliğin de belirtmiş olduğu hasar bölgelerinde yer alır. Hangi kesit daha fazla hasara uğramışsa elemanın hasarı o kesite göre belirlenecektir.

### 1.3.3. Binalara Ait Performans Düzeyleri

Deprem yönetmeliği yapılan deprem analizleri sonrası taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar türlerine, düzeylerine ve binadaki dağılımlarına göre yapılar üzerinde performans hedefleri belirlemiştir. Yönetmeliğin üzerinde durduğu bu performans hedefleri Tablo 2’de belirtilmiştir. Kesintisiz kullanım (KK), Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH), Göçmenin Önlenmesi olarak belirtilen bu performans düzeyleri binaların deprem anında sergilediği davranışların durumunu göstermekte ve yapıların kullanım sınırlarını derecelendirmektedir.

Tablo 2. Bina performans düzeyleri ve buna ilişkin açıklamalar

<b>Bina Performans Düzeyi</b>	<b>Bina Performans Düzeyi Açıklaması</b>
Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi	Bina taşıyıcı elemanlarında yapısal olarak hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir düzeyde kaldığı performans düzeyidir.
Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi	Bina taşıyıcı elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer bir deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı düzeyde kaldığı performans düzeyidir.
Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi	Can güvenliğini sağlamak amacıyla bina taşıyıcı elemanlarında çok ağır olmayan ve onarılması mümkün olan performans düzeyidir.
Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi	Bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşılık gelen performans hedefidir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

### 1.3.4. Bina Performans Hedefleri

TBDY-2018 deprem yönetmeliğinin çeşitli araştırmalar sonucunda tanımlanmış olduğu dört deprem yer hareketi düzeyi için binalara uygulanmak üzere, Deprem Tasarım Sınıfı DTS= 1, 2, 3, 3a, 4, 4a için tanımlanan Normal Performans Hedefleri ile Deprem Tasarım Sınıfı DTS =1a, 2a için tanımlanan İleri Performans Hedefleri belirtilmiştir. Yapı sahibinin isteğine bağlı olarak İleri Performans Hedefleri seçilebilir. Aşağıda verilen Tablo 3’de mevcut eğitim kurumu için yönetmeliğin belirlemiş olduğu değerlerin belirlendiği mevcut yapılara ait bina performans hedefleri gösterilmektedir.

Tablo 3. Mevcut yerinde dökme betonarme binalar için belirlenen performans hedefleri

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

### 1.3.5. Mevcut ve Güçlendirilecek Binalara İlişkin Deprem Performansının Belirlenmesi

Performansa dayalı tasarım ve uygulamada en temel olacak üç parametre söz konusudur. Bunlar performans, kapasite ve talepten meydana gelir. Kapasite; yapılara ait özelliklerden taşıyıcı sistemi, malzemesi, kesit geometrisi vb. özelliklerin bir bileşkesi olarak söylenebilir. Binanın yatayda deplasman kapasitesi (süneklik) ve yatay yük taşıma kapasitesi (rijitlik) genel olarak kapasite olarak adlandırılır. (Celep ve Kumbasar, 2004). Talep; deprem hareketlerinin yapıdan karşılanması istendiğinde deplasman ve kesit tesirleri olarak tanımlanabilir. Performans ise yapının sınırının deprem taleplerini hangi oranda karşılayabileceği ile ilgili bir durumdur (Çavdar vd., 2015).

Mevcut yapıların büyük bir çoğunluğu gerekli olan deprem dayanımına sahip değildir. Bu yüzden büyük depremler meydana geldikleri yaşamı tamamıyla etkileyecek zararlara maruz kalınmaması ve neden olacakları zararların aza indirgenmesi için öncelikle mevcut binaların deprem karşısındaki performans durumlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Binaların deprem performansı, bir deprem etkisi altında yapıda oluşabilecek hasarların düzeyi ve bu hasarların dağılımına bağlı olarak belirlenen yapının güvenliğine karşılık gelen durumdur.

#### 1.3.5.1. Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

Sınırlı hasar ilgili kesitte, sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiğini gösterir. Diğer bir ifadeyle belirtecek olursak doğrusal olmayan davranış şeklinin sınırlı düzeyde kaldığı performans düzeyidir. Sınırlı hasar performans düzeyinde yönetmelik bazı sınırlarda

kalındığı takdirde yapıların minimum düzeyde zarar görebileceğini belirtmektedir. Betonarme binaların herhangi bir katında kirişlerin %20'lik oranı geçmeyecek şekilde Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, diğer taşıyıcı elemanların hepsi Sınırlı Hasar Bölgesi'nde kalmak durumundadır.

### **1.3.5.2. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi**

KH Performans Düzeyi, bina taşıyıcı elemanlarında minimum düzeyde hasarın meydana geldiği, onarılabılır düzeyde olan, yapının rijitlik ve dayanımının da bozulmaların yaşanmadığı performans düzeyidir. Yönetmelik Kontrollü Hasar Performans Düzeyi için aşağıdaki sınır şartları göz önünde bulundurulmuştur:

- a) Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için elde edilen hesap adımlarında, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişlerin dahil olmadığı, kirişlerin %35'lik yüzdeyi geçmeyecek şekilde ve düşey elemanların (kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) aşağıdaki (b) maddesinde ifade edilen kadarki İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- b) İleri Hasar Bölgesi'ne geçen düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ne geçen düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
- c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırını aşmış olan düşey taşıyıcı elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u geçmemesi gerekmektedir.

### **1.3.5.3. Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi**

Bina taşıyıcı elemanların önemli ölçüde hasar gördüğü, rijitliklerini ve dayanımlarını kaybettiği performans düzeyidir. Gevrek olarak zarar gören yapı elemanlarının Göçme Bölgesinin de olduğu göz önüne alınarak yapı durumu değerlendirilmelidir. Yönetmelik

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi için aşağıdaki sınır şartları göz önünde bulundurulmuştur:

- a) Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

#### **1.3.5.4. Göçme Durumu**

Binanın kullanımının can güvenliği açısından sakıncalı olduğu, yapı taşıyıcı sistem elemanlarının tamamıyla göçme durumunda olduğu performans düzeyidir.

#### **1.3.6. Mevcut Binaların Modellenmesine İlişkin Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar**

Mevcut ve güçlendirme yapılacak binaların doğrusal ve doğrusal olmayan analiz adımlarında dikkate alınması gereken bazı farklı durumlar vardır. Bunlar;

- Deprem analizlerinde yapıların kullanım amaçlarına göre değişen Bina Önem Katsayısı dikkate alınmayacaktır ( $I=1$ ).
- Belirlenen sismik kuvvetler yapıya hem X hem Y doğrultusunda olacak şekilde her iki doğrultuda ve ayrı ayrı uygulanacaktır.
- Yatay düzlemde etkisi olan döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her kat için iki yatay deplasman ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne bulundurulacaktır. Kat serbestlik dereceleri her bir katın kütle merkezine etki edilecek, ayrıca ek dışmerkezlilik uygulanmayacaktır.
- Betonarme sistemlerin elemanlara ait boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.

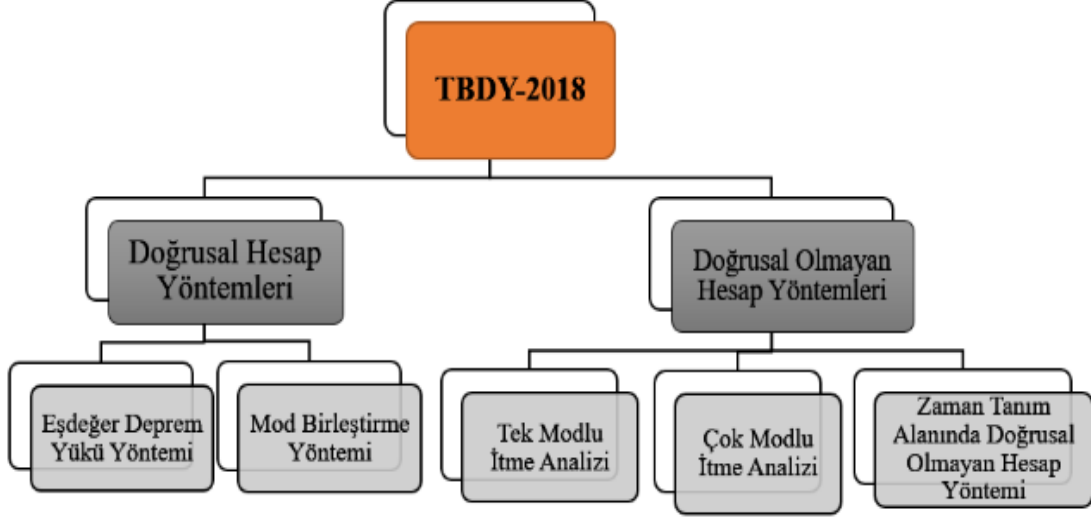
- Bir veya iki eksenli aksenal kuvvet ve eğilme kuvveti etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin yönetmelik aşağıdaki koşulları dikkate almıştır:
  - a) Deprem hesabında beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.
  - b) Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.0035, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.
- Tablalı betonarme kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tablalı kısma ait beton ve tablaya ait donatı hesaba katılabilir.
- Betonarme taşıyıcı elemanların kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda kesitteki kapasite momentine ait hesaplarla ilgili donatının akma gerilmesi, kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılacaktır.
- Eğilme etkisi altındaki betonarme elemanlarda çatlama kesite ait etkin kesit rijitlikleri hesaplarda dikkate alınması gerekmektedir. Yönetmeliğin sunduğu taşıyıcı elemanlar için belirlenen etkin kesit rijitlikleri Tablo 4 de verilmektedir.

Tablo 4. Taşıyıcı sistem elemanların etkin kesit rijitlikleri çarpanları

<b>Betonarme Taşıyıcı Sistem E.</b>	<b>Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı</b>	
	<b>Eksenel</b>	<b>Kayma</b>
<b>Perde-Döşeme (Düzlem İçi)</b>		
Perde	0.50	0.50
Bodrum Perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<b>Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)</b>	<b>Eksenel</b>	<b>Kesme</b>
Perde	0.25	1.00
Bodrum Perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<b>Çubuk Eleman</b>	<b>Eğilme</b>	<b>Kesme</b>
Bağ Kirişi	0.15	1.00
Çerçeve Kirişi	0.35	1.00
Çerçeve Kolonu	0.70	1.00
Perde (Eşdeğer Çubuk)	0.50	0.50

#### 1.4. Deprem Analizinde Kullanılacak Hesap Yöntemleri

TBDY-2018 Deprem Yönetmeliği binaların depremlere karşı olan davranışlarını belirlemek için doğrusal ve doğrusal olmayan hesap adımlarının uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir. Şekil 2’de yönetmeliğin deprem performanslarını, yapı davranış ve kapasitelerini belirleyebilmek için dikkat edilmesi gereken hesap adımları gösterilmektedir.



Şekil 2. TBDY 2018’de yer alan deprem analizi hesap yöntemleri

#### 1.4.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri

Doğrusal hesap yöntemleri betonarme yapının taşıyıcı sistemdeki elemanlarını tek tek ele alan hesap yöntemidir. Tek tek tüm taşıyıcı elemanlardaki donatıları ele alır. Malzeme lineer elastik bölgede, kesme kırılmasına uğramadan moment taşıyabilmeli ve donatı akabilmelidir. Donatı akmadan kırılma gerçekleşiyorsa süneklikten bahsedilemez, gevrek kırılma meydana gelmiş olur. Bu yöntemle yapı elemanlarının taşıma kapasitesi, yapıda etkin olan yüklerden kaynaklı oluşan iç kuvvetlerin karşılaştırılmasıyla yapının kapasitesine ilişkin değerlendirme yapmayı amaçlamaktadır. Deprem etkisinin de azaltılarak yapıya uygulanması yapının elastik ötesi davranışının incelenmemesiyle bu yöntemle birlikte yaklaşık sonuçlar elde ederiz. Yönetmelikte bu yöntemler Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi olarak ele alınmaktadır.

##### 1.4.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Yüksekliği fazla olmayan yapılarda ele alınan deprem doğrultusunda, binanın dinamik davranışının yapının hakim titreşim periyodunun temsil ettiği doğrusal hesap yöntemidir. Bu yöntem sadece 1. modun dikkate alındığı bir deprem hesabı olarak da kabul edilebilir. Eşdeğer deprem yükünün uygulanabileceği binalar Tablo 5’te gösterilmektedir.

Tablo 5. Eşdeğer deprem yükünün uygulanmasına izin verilen yapılar ve durumları

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS=1,1a,2,2a	DTS=3,3a,4,4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $p_{bi} \leq 2$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS $\geq 4$	BYS $\geq 5$
Diğer tüm binalar	BYS $\geq 5$	BYS $\geq 6$

Binanın tamamına etki eden toplam eşdeğer deprem yükü Denklem (1)'de verilmektedir.

$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T_p) \geq 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g \quad (1)$$

$m_t$  ; yapıya ait toplam kütle

$S_{aR}(T_p)$  ; binanın doğal titreşim periyodu göz önüne alınarak hesap edilen azaltılmış tasarım spektral ivmesi

$S_{DS}$  ; tasarıma ait spektral ivme katsayısını ifade etmektedirler.

#### 1.4.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Binalar titreşim halinde bulunan yapılardır. Bu titreşim hareketleri binanın rijitliğinden ve külesinden etkilenir. Mod birleştirme yönteminde verilen bir deprem doğrultusunda yatay elastik tasarım spektrumu göz önüne alınarak deprem hesabı gerçekleştirilir.

#### 1.4.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Bu yöntemin uygulamasına ilişkin hesap adımları zor olsa da yapılar üzerinde en gerçekçi ve elde edilen sonuçlara en yakın verilerin elde edildiği hesap yöntemleridir. Malzemenin doğrusal-elastik sınırın ötesinde davranış göstermesinden kaynaklı oluşan hesap adımlarını içerir. Yapının özellikleri neticesinde belirlenen plastik mafsallarda oluşacak hasar bölgelerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Tek modlu itme yöntemi, Çok

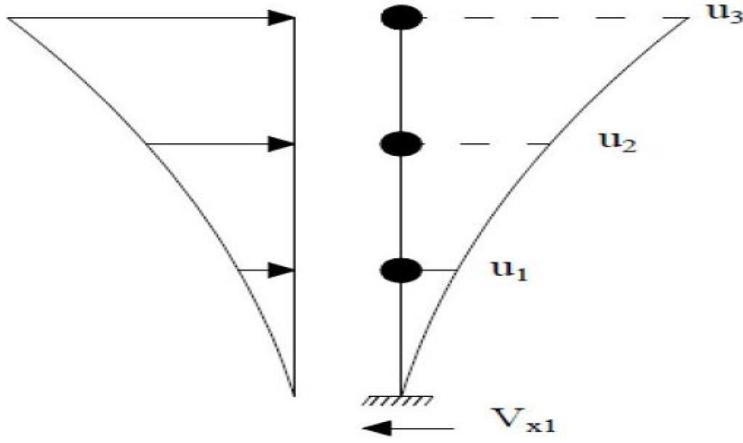
modlu itme yöntemi ve Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri doğrusal olmayan hesap yöntemleridir.

#### **1.4.2.1. Tek Modlu İtme Yöntemi**

Kullanılan bu yönteminde yapıya adım adım uygulanan deprem hareketi altında yer değiştirmelerinin hesap edilmesi sonucu oluşan sınır değerlerine bakılarak malzemenin buna bağlı olarak taşıyıcı elemanın ve taşıyıcı elemanın durumundan da yapının durumunun elde edilmeye çalışıldığı hesap yöntemidir. Yönetmelik bu yöntemin uygulanması için bazı şartlar belirlemiştir. Hesap adımları sırasında %5'lik ek dış merkezliğin göz önüne alınmadan hesap edilen A-1 burulma düzensizliği katsayısının  $\rho_{bi} \leq 1.4$  daha az olması gerekmektedir. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış dikkate alınarak hesaplanan doğal hakim titreşim modunun taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam yapının kütlelerine oranının 0.70'den az olmaması gerekmektedir.

İtme analizi yönteminde yapıya arttırılarak uygulanan yükler sonucunda davranış özelliklerinin doğrusal olmayan davranış performanslarının incelendiği, yapı da yüklerin etkisiyle rijitlik ile dayanım durumlarının mevcut bina durumunda bakıldığı sayısal bir analiz yöntemidir. Yapının yüklemeler altındaki yapıda ve elemanlarda meydana gelen kuvvet-deplasman ilişkisi incelenmiş olur. Beton ve donatılardaki hasar sınırları değerlendirilir.

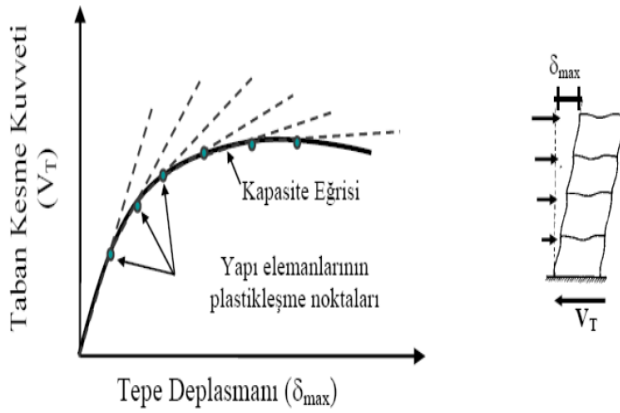
Yapıların kapasitesi analiz sonucunda oluşan itme eğrisi ile gösterilmektedir. Bu eğri yapının hakim periyodunun 1.mod şekline göre elde edilen şekil ve taban kesme kuvvetinin elde edilmesi sonucu oluşturulur. Şekil 3'te basit bir itme analizinin yapı üzerinde meydana getirdiği durum gösterilmektedir.



Şekil 3. İtme analizinin yapı üzerinde meydana getirdiği davranış modeli

Yukarıdaki şekilde de gösterildiği gibi itme analizi adımları taşıyıcı elemanlara gerekli plastik mafsalları tanımlandıktan sonra başlatılır. Eleman gruplarında göçme meydana gelinceye veya plastik mafsallaşmalar oluşuncaya kadar yük artırılarak hesap istenen yer değiştirmeye ulaşıncaya kadar devam eder. Taban kesme kuvveti ve yer değiştirme eğrisi belirtilen formun dışına çıkarak düzensiz hale geldiğinde yapı taşıyıcı elemanları yük taşıma kapasitelerini kaybeder ve göçme meydana gelir demektir. Statik itme eğrisi aşıldığı anlamına gelir bu sebeple analiz sonlandırılır.

Şekil 4’de itme sonucu meydana gelen kapasite eğrisi ve taşıyıcı elemanlarda oluşacak olan plastikleşme noktaları gösterilmektedir.



Şekil 4. Örnek bir itme eğrisi grafiği

Denklemden verilmiş olan sözde-ivme değeri  $a_1^{(k)}$ , geleneksel itme hesabında deprem doğrultusunun da taban kesme kuvveti  $V_{t1}^{(k)}$  için Denklem (2)'ye göre hesap edilir.

$$a_1^{(k)} = \frac{V_{t1}^{(k)}}{m_{t1}^{(k)}} \quad (2)$$

$m_{t1}^{(k)}$ , taban kesme kuvveti modal etkin kütesidir.

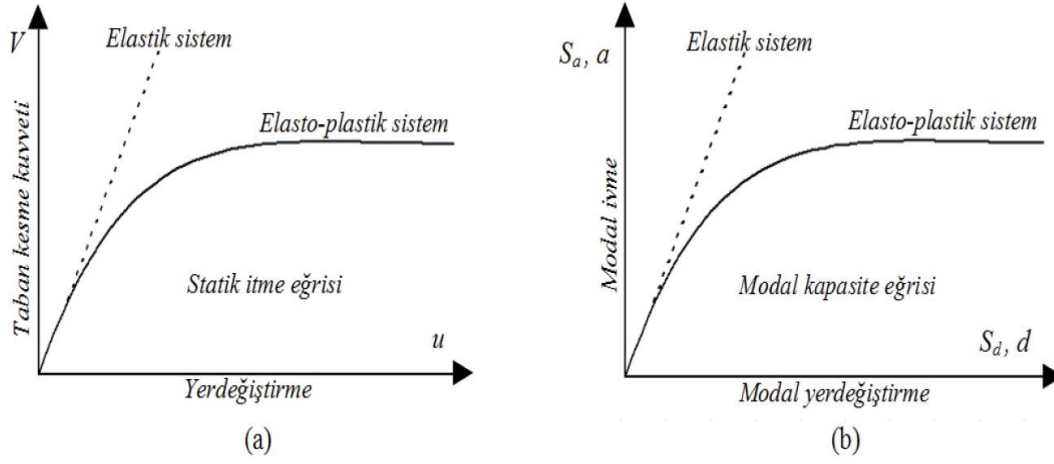
Mode 1'de hesaplanan tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi  $d_1^{(k)}$ , tek modlu itme hesabından herhangi bir  $i$ 'inci katında hesaplanan yatay yer değiştirmedir. Denklem (3)'de modal yerdeğiştirme bağıntısı yer almaktadır.

$$d_1^{(k)} = \frac{u_{N1}^{(k)}}{\Phi_{N1}^{(k)} \times \Gamma_1^{(k)}} \quad (3)$$

$u_{N1}^{(k)}$ ;  $k$ 'inci itme hesabı adımında yapının  $N$ 'inci katı olarak belirtilen en üst katında hesap edilen yerdeğiştirme (m)

$\Phi_{N1}^{(k)}$ ; birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit moda göre hesap edilen modal katkı çarpanı

$\Gamma_1^{(k)}$ ; birinci tek modlu itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiçbir değişikliğe uğramayan sabit mod şeklinin  $x$  doğrultusundaki genliği olarak ifade edilirler.



Şekil 5. Elastik ve elasto-plastik sistemlerde örnek bir statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi (Celep, 2014)

Deprem hesabında elde edilen modal yerdeğiştirme talebinin işlem adımlarında, yapıya uygulanan deprem etkisi altında modal kapasite diyagramı tarafından gösterilmiş olan tek serbestlik dereceli sistemin maksimum deplasmanının elde edilmesini sağlar (TBDY-2018).

Şekil 5'te (a) olarak gösterilen eğri de taban kesme kuvveti-yerdeğiştirmelerden meydana gelen statik itme eğrisi ve (b) ile gösterilen eğride modal ivme-modal yerdeğiştirmelerden meydana gelmiş modal kapasite eğrisi grafikleri görülmektedir.

Sistemdeki maksimum deplasman değeri, spektral yer değıştirme olarak belirtilmiştir. Denklem (4)'e göre hesap edilmektedir.

$$d_{1,max} = S_{di}(T_1) \quad (4)$$

$d_{1,max}$  ; tek serbestlik dereceli sistemin maksimum yerdeğiştirmesi

$S_{di}(T_1)$  ; taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu  $T_1$ 'e karşı gelen Denklem (5)'e göre hesap edilen doğrusal olmayan spektral yer değıştirmeyi ifade etmektedir.

$$S_{di}(T_1) = C_R \times S_{de}(T_1) \quad (5)$$

Bu denklemdeki;  $S_{de}(T_1)$ ; elastik tasarım spektral yer değiştirmeyi,  $C_R$  ise Denklem (6)'da tanımlanan spektral yerdeğiştirme oranını ifade etmektedir.

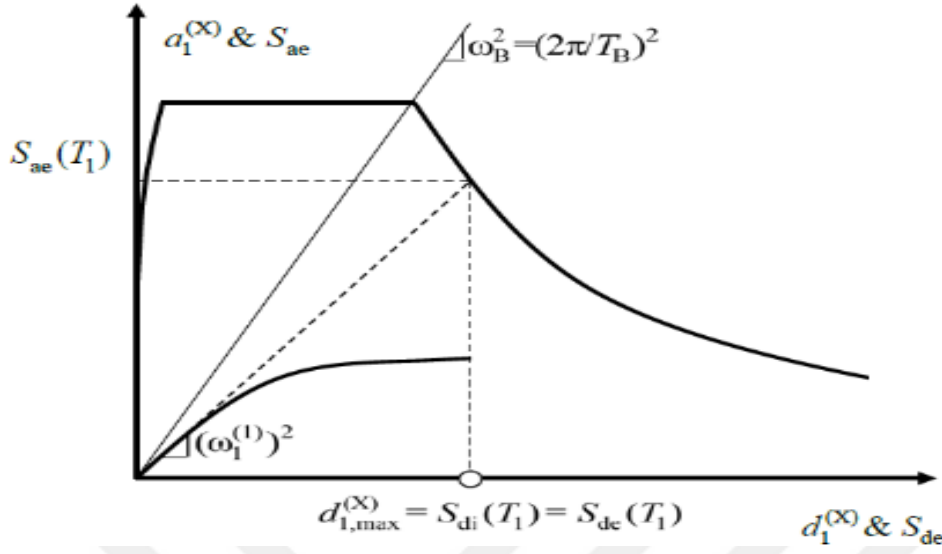
$$C_R = \frac{\mu(R_y, T_1)}{R_y} \quad (6)$$

$R_y$ , akma dayanım azaltma katsayısını ifade etmektedir. Denklem (7)-(8)'de nasıl hesap edileceği gösterilmektedir.

$$\mu(R_y, T_1) = R_y \quad (T_1 > T_B) \quad (7)$$

$$\mu(R_y, T_1) = 1 + (R_y - 1) \times \frac{T_B}{T_1} \quad (T_1 \leq T_B) \quad (8)$$

Bu kullanılan deprem analiz yöntemini kısaca ifade edilecek olursa, hakim titreşim periyodu dikkate alınarak deprem yerdeğiştirme sınır değerine kadar adım adım arttırılarak yapı üzerine uygulanan deprem kuvvetinin yapıda oluşan plastik yerdeğiştirmeler, dönmeler ve iç kuvvetlerin de aşama aşama elde edildiği son aşamada deprem kuvvetine karşılık meydana gelen yer değiştirmelerin elde edilerek değerlendirildiği hesap yöntemidir. Şekil 6'da görüldüğü gibi yukarı da hesap adımları verilen analizin son aşaması görülmektedir.



Şekil 6. Modal yer değiştirme-spektral yer değiştirme eğrisi (TBDY-218)

#### 1.4.2.2. Çok Modlu İtme Yöntemi

Tek modlu itme analizinin uygulanmasına uygun olmayan yapılarda bir sonraki deprem hesap yöntemi olarak çok modlu itme yöntemi uygulanabilir. Yönetmelik Çok modlu itme yönteminde aşağıdaki adımları verilmiş olan hususlara dikkat etmiştir.

- Verilen tasarım spektrumuna göre gerekli görülen en özel durumda elastik rijitlikleri kullanılarak doğrusal hesap için uygulanması sonucunda elde edilen tüm iç kuvvetlerin ve deplasmanların, aynı tasarım spektrumu ele alınarak elde edilen büyüklüklerle tıpatıp aynı olduğu gösterilecektir.
- Kullanılan Çok modlu itme analizi yönteminde binanın farklı titreşim modları için tanımlanan bağımsız sabit modal yük vektörlerinin yapıya artımsal olarak ayrı ayrı uygulanması durumunda, oluşan modal iç kuvvetler istatistiksel olarak birleştirilmeyecek, bütünleştirilmiş modal eleman uç deplasmanları ve akma momentleri ile eşdeğer olarak hesaplanacaktır.

### **1.4.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile Deprem Hesabı**

Mevcut yapıların gerçeğe yakın olan davranışlarının incelenmesi ve taşıyıcı elemanlarda oluşabilecek durumların değerlendirilmesi daha güvenli sonuçlar elde edilmesi açısından önemlidir. Yapıların performans analizlerinin değerlendirilebilmesi için yukarıda da bahsetmiş olduğumuz doğrusal hesap adımlarının uygulanması daha sonra doğrusal olmayan hesap adımları ile değerlendirme yapılması gerekmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, yapıların davranışlarını önceki zamanlarda meydana gelmiş ve kaydedilmiş depremler altında inceleyerek mevcut yapının hedeflenen performans düzeyine uygun olacak şekilde kalıcı hasar almasının ve göçmesinin önlenmesini amaçlamaktadır. Gerçekleştirilen analiz sonrası yapıdaki hedeflenen sınır şartların sağlanıp sağlanmadığı, plastik yer değiştirmeler ve şekil değiştirmelerin durumları incelenmiş olacaktır (Zolmaz, 2016).

#### **1.4.3.1. Zaman Tanım Alanında Gerçek İvme Kayıtlarının Tercih Edilmesi**

Doğrusal olmayan hesap adımlarının en etkili yöntemlerinden biri olan zaman tanım alanı analizinde, yapı sisteminde iç kuvvetlerde ve yer değiştirmelerde meydana gelen yapının etkisinde kaldığı yüklerin oluşturduğu her bir zaman artımı sonucu oluşan hesapları kapsar. Kesitin doğrusal olmayan davranışının belirlendiği her bir zaman artımı için bu çözümlerin kullanılması, rijitlik matrisini her adım da güncelleyen yapının davranışdır. Meydana gelen depremlerle birlikte her geçen gün daha fazla artan şiddetli yer hareketlerinin ve bu hareketlerin kaydedildiği merkezin depremler açısından zenginleşmesi ve bu merkezdeki verilere ulaşmanın çok daha kolay olduğu teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte analiz daha kolay hale gelmiştir. Bunun beraberinde yapıların analizinde bu yöntem daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Zaman tanım alanı analizinin en zor yanlarından biri de yönetmeliğin istediği uygunluğa göre deprem kayıtlarının seçilmesi ve bu kayıtların ölçeklendirilmesidir. Simüle edilmiş deprem ivme kayıtları yapı özellikleri ve yapının bulunduğu konum özellikleri göz önünde bulundurularak üretilirler. Fakat bu bilgilerin yetersiz olması deprem kayıtlarının üretilmesinde zorluklar çıkarmaktadır.

Tez çalışmasında da kullanılan, daha geçekçi ve doğru yaklaşımların elde edildiği gerçek ivme kayıtları kullanılmıştır. Bu kayıtların kullanılmasında yer sarsıntısının genliği, süresi ve frekans içeriği gibi çeşitli bilgiler doğrultusunda ve kayıtların elde edildiği kaynak, depremin yayılım ortamı ve zemin gibi bütün faktörlerin deprem kaydında mevcut olması, ayrıca deprem esnasında depremin özelliklerinin daha kolay kaydedilir olması ve bu kayıtlara erişimin gelişen ve gelişmeye devam eden teknoloji ile kolaylaşması zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplarda gerçek ivme kayıtlarının kullanılıyor olmasını sağlamıştır (Zolmaz, 2016).

#### **1.4.3.2. Gerçek İvme Kayıtlarının TBDY-2018 Kriterlerine Göre Belirlenmesi ve Ölçeklendirilmesi**

Tez de kullanılması düşünülen gerçek deprem ivme kayıtlarının TBDY-2018'e göre belirli bir bölgede hem yapılan sismik tehlike analizi sonucunda ortaya çıkan tepki spektrumuyla benzerlik göstermesi hem de jeolojik konum ve sismolojik şartların sağlanması gerekmektedir. Bu kayıtların, tasarım esaslı deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, faya olan uzaklıkları, alınan kaynak noktası ve yerel zemin koşullarının da göz önünde bulundurulması en uygun seçimin sağlanması gerekmektedir. Yapının konumuna ait tasarıma ilişkin deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu olan geçmiş kayıtların ulaşılabilir olması durumunda öncelik olarak elde olan bu kayıtlar kullanılacaktır. Deprem tehlikesine en büyük miktarda katkıda bulunan depremlere ait büyüklük ve fay hattı uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayrıştırma işlemlerinden faydalanılabilir. Yeterli miktarda kaydın seçiminin yapılamadığı durumda, binanın bulunduğu sahada dalga yayılım, yerel zemin özellikleri ve sismik kaynaklarda göz önünde bulundurulması koşuluyla benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Kullanılan yer hareketine göre yapının verdiği tepkiler değişkenlik gösterebilir bu yüzden analizlerde tek bir analiz kullanılmaması gerekir. Değişken yer hareketlerine göre de analizlerin farklı mercilerde yapılması gerekmektedir. Bu yüzden Türkiye bina deprem yönetmeliği doğrusal olmayan analizlerden zaman tanım alanı analizinin en az 11 adet deprem kaydı kullanılması gerektiğini öneri olarak sunmaktadır. Aynı ivme kaydı kullanıldığı analizlerde ivme kaydı takımı üçü geçmemelidir. Analiz adımlarının gerçekleştirilmesi esnasında birbirine dik olacak şekilde yatayda iki doğrultuda analiz edilecek olan deprem ivme kayıtları taşıyıcı

sistemin asal eksenleri doğrultusunda ele alınacaktır. Daha sonra aynı işlemler deprem ivme kayıtlarının doksan derece açı ile döndürülmesiyle birlikte tekrar edilecektir. Yapının taşıyıcı sistem elemanları için yapılan değerlendirme de iç kuvvet talepleri, yapılan doğrusal olmayan analizden (en az  $2 \times 11 = 22$  adet analiz) tek tek mutlağı alınarak elde edilen sonuçların maksimum değerinin ortalaması alınarak hesaplanacaktır. (TBDY, 2018)

TBDY-2018 yönetmeliği ölçeklenmiş deprem kayıtlarının sağlaması gereken kriterleri aşağıdaki maddelerde belirtmiştir:

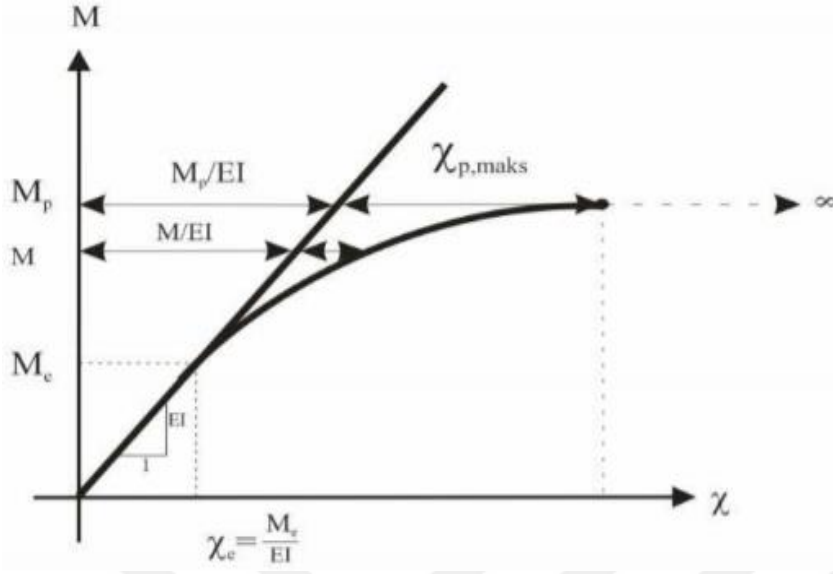
- Bir veya iki boyutlu hesap için seçilmiş olan deprem kayıtlarına ait spektrumların ortalama değerinin, binanın hakim doğal titreşim periyodu olan  $T_p$  göz önünde bulundurularak,  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketleri genliklerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir.
- Mevcut deprem verileri ile yapı özelliklerinin sahaya özel deprem yer hareketi spektrumunun belirlenmesi durumunda, yapının belirli sayılardaki titreşim periyodu ile ilişkilendirilmiş olan ortalama spektrum değerlerinin kullanıldığı, deprem kayıtlarının analiz sonuçlarında daha az saçılmayı sağlayacak şekilde seçim yapılarak ölçeklendirilme yoluna gidilebilir.
- Üç boyutlu hesabı yapılan her bir deprem kaydının iki yatay bileşenine ait spektrum değerlerinin kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm deprem kayıtlarına ait bileşke spektrumlarının ortalama değerlerinin binanın hakim doğal titreşim periyodu  $T_p$  göz önünde bulundurularak  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyot değerleri arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genlik değerlerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlik değerleri ölçeklendirilmelidir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılması gerekmektedir. Ölçeklendirilmede kullanılacak deprem kayıtlarının yapı hakim doğal titreşim periyodunun üst sınırı  $2T_p$  olarak alınacaktır.

### **1.5. Plastik Mafsal Tanımı ve Taşıyıcı Elemanlarda Plastik Mafsallaşma**

Plastik mafsal kavramı, yapıların taşıyıcı sistemlerinde meydana gelen elasto-plastik ötesi davranışlarının yani elastik özellik göstermeden belirli bir yüklemeye sonra aniden plastikleşen cisimlere ait davranışların belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. İyi bir şekilde projelendirilmiş veya mevcut olan bir yapıda, tasarımcı yapının hangi noktalarda nasıl bir davranış sergileyeceğini kestirebilmektedir. Ayrıca depremin etkisiyle ortaya çıkabilecek olan enerji belirlenen bu plastik mafsallarda sönmülenebilmektedir.

Betonarme kolon, kiriş gibi elemanların dönme talepleri doğrultusunda moment meydana gelir. Sünekliği yeterli olan betonarme kesitlerin eğrilik-eğilme momenti ilişkilerine bakıldığında iki farklı bölgenin meydana geldiği görülmüştür. Birinci bölgede, eğilme momentinin yüksek olmayan değerleri için, betonarme kolon ve kirişlerin eğrilik-eğilme momenti ilişkileri doğrusal-elastik olarak kabul edilir. Kesitteki beton ve donatı çeliği de bu bölgede doğrusal-elastik bölgede kalmaktadır. Eğilme momentinin artış gösteren değerlerinin meydana getirdiği diğer bölge de ise, kesitteki elemanların donatılarında akma ve kesitte ise çatlama meydana gelmektedir. Gerilmelerin artarak devam etmesiyle birlikte betonda ve donatı çeliğinin de doğrusal olmayan elasto-plastik davranışın hakim olmaya başlaması kesitin eğrilik-eğilme momenti bağıntılarının doğrusal davranış göstermemesine neden olmaktadır. İkinci bölgede eğrilik yataya yakın bir davranış göstermektedir (Sezer, 2007).

Şekil 7’de verilen grafik plastik mafsal hipotezinin farklı boyut ve özellikte olan, donatı dizilimine göre belirlenen taşıyıcı elemanlarda grafiksel olarak karşılığını ifade etmektedir.



Şekil 7. Eğrilik-eğilme momenti diyagramı

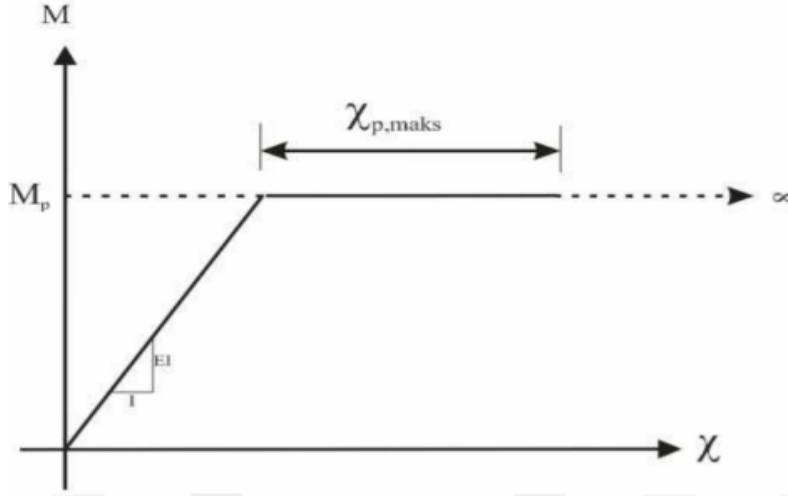
Plastik mafsallara ait eğilme momentinin en büyük değeri ( $M_p$ ) Şekil 7'de görülmektedir. Plastik mafsalı, adi mafsaldan ayıran en ayırt edici özellik plastik mafsal da sürekli devam eden sabit bir moment değerinin olmasından kaynaklanmaktadır.

Plastik mafsal hipotezinin uygulanmasında, gerçek eğilme-eğrilik bağıntısı;

$$M < M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (9)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (10)$$

şeklinde iki adet doğru parçası ile idealleştirilmektedir. Denklem (9) ve Denklem (10) ile ifade edilen denklemler ideal hale getirilerek Şekil (8)'de görülen idealleştirilmiş grafik elde edilmiştir.



Şekil 8. İdealleştirilmiş eğrilik-eğilme momenti bağıntısı

### 1.6. Birim Şekildeğiştirme ve Plastik Dönme Taleplerinin Belirlenmesi

Taşıyıcı sistem kesitlerinin birim şekildeğiştirme ve plastik dönme taleplerinin Eşdeğer deprem yükü ve Mod birleştirme yöntemi kullanılarak hesap edilmesi sonrası belirgin olmayan bir taşıyıcı eleman uç bölgesinde elde edilen toplam yer değiştirmiş eksen dönmesi  $\Phi_k$  kullanılarak elde edilecektir (TBDY-2018).

Eleman uç kesitinin toplam eğrilik talebi  $\Phi_t$  aşağıda verilmiş olan Denklem (11)'a göre hesap edilecektir.

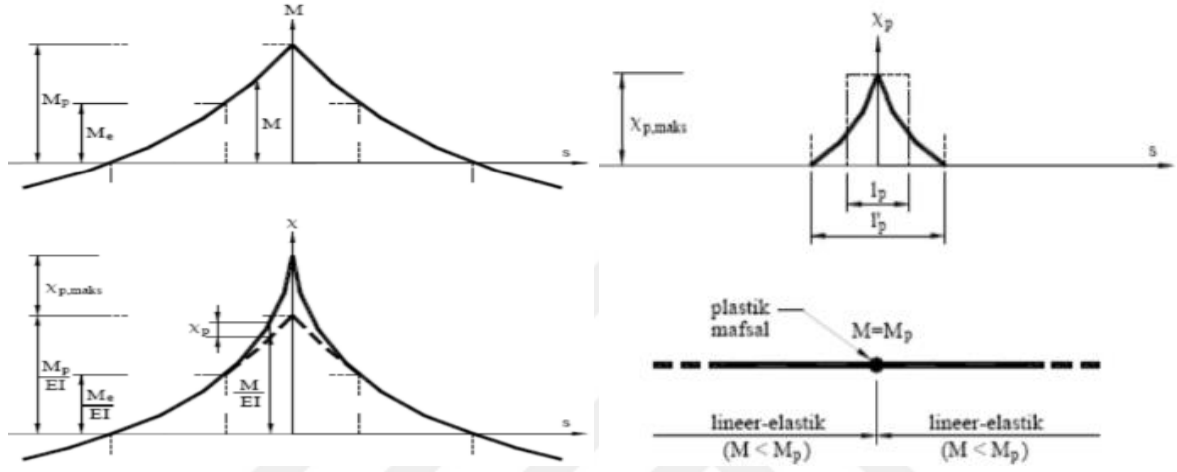
$$\Phi_t = \frac{(\phi_k - \phi_y)}{L_p} + \Phi_y \quad (11)$$

$\phi_y$  ; eleman uç kesitine ait yer değiştirmiş eksen akma dönmesi

$\Phi_y$  ; eleman uç kesitindeki akma eğriliğidir

$L_p$ , plastik mafsal boyudur ve etkili doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşittir.

Şekil 9’da görüldüğü gibi toplam eğilme şekil değiştirmelerin anlatılmış olduğu görselde, plastik mafsallarda oluşan şekil değiştirmeler  $l_p$  olarak ifade edilen uzunluktaki bir bölge de toplanmakta ve maksimum eğrilik ile ifade edilen  $\chi_{p,maks}$  karşılık gelmektedir.



Şekil 9. Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler

Çubuk elemanı üzerinde  $l_p$  uzunluğundaki bir bölge de sürekli olarak yayılmış olan plastik şekil değiştirmelerin;

$$\theta_p = \chi_p \times l_p = (\chi - \chi_e) \times l_p \quad (12)$$

şeklinde, plastik mafsallarda toplandığı düşünülmektedir. Denklem (12)  $\theta_p$ , plastik mafsallarda dönmesini anlatan ifadedir.

Plastik mafsallarda dönme kapasitesi ise,

$$\theta_{p,maks} = \int \chi_p ds \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (13)$$

şeklinde elde edilmektedir.

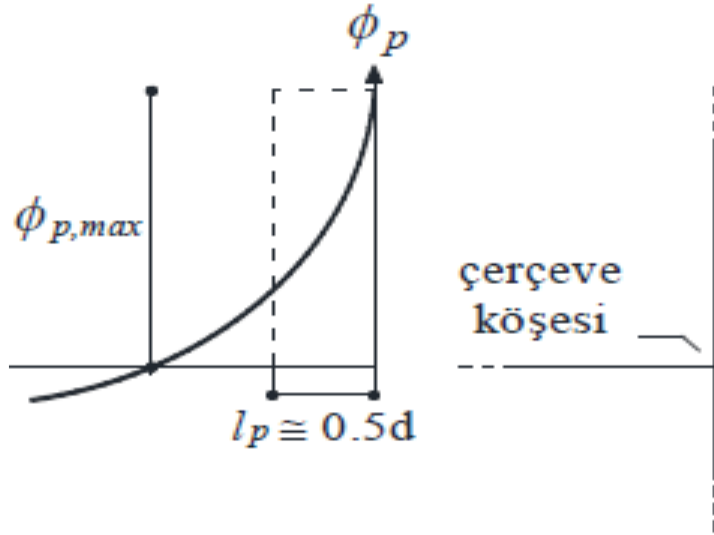
Yukarıda Denklem (13) bağıntısına eşdeğer olarak verilen bir diğer alternatif bağıntı aşağıda Denklem (14) verilmektedir.

$$\theta_p = \chi_{p,maks} \times l_p \quad (14)$$

Burada  $l_p$ , plastik mafsalsal boyunu göstermektedir ve kesit özelliğine bağlı olup yaklaşık olarak Denklem (15)'de ki gibi hesap edilmektedir;

$$l_p = 0.5h \quad (15)$$

olarak alınabilmektedir.  $h$ , en kesit yüksekliğine eşittir. İfade edilen uzunluk, momente ait eğrilik ilişkisine, elemanın uzunluğu boyunca değişmekte olan eğilme momentine, kesitin uzunluğuna ve kesite ait normal kuvvete bağlıdır. Şekil 10'da plastik mafsalsal boyu görülmektedir.



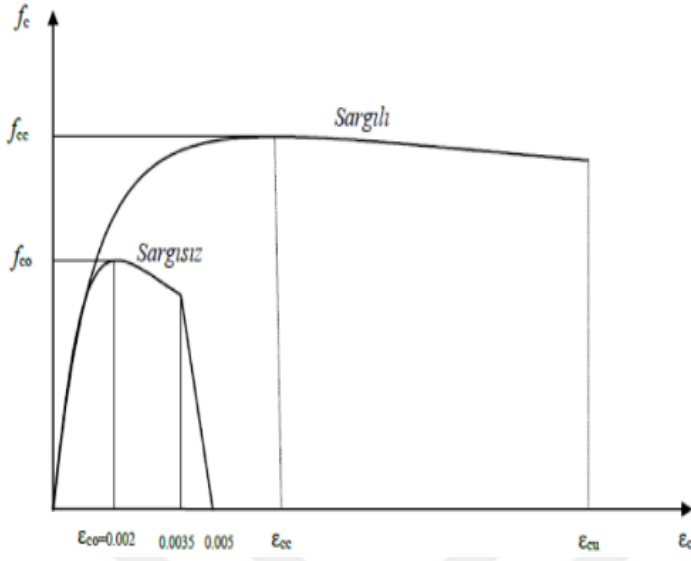
Şekil 10. Plastik mafsalsal boyu

Plastik mafsal hipotezinin esasları aşağıdaki maddelerde belirtilen şekilde ifade edilebilir:

- Bir kesitte dış yüklerin artmasıyla birlikte, eğilme momenti de artış göstererek  $M_p$  plastikleşmenin meydana geldiği plastik moment değerine erişince, o kesitte plastik mafsal oluştuğu gözlenmektedir. Yüklerin artarak bu durumun devam etmesi sonucu, plastik mafsal gerçekliğe yakın bir şekilde serbest dönmekte ve daha sonrasında kesitteki eğilme momenti  $M=M_p$  olarak sabit bir davranış göstermektedir. Plastik mafsalda ki  $\phi_p$  plastik dönme değerinin aynı oranda artarak  $\phi_{p,max}$  dönme kapasitesi noktasına ulaşması ile birlikte sistem kullanılmaz hale gelmekte ve o noktadan sonra göçme meydana gelmektedir.
- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal elastik davranış göstermektedir.
- Kesite eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de etkisiyle,  $M_p$  plastik momenti yerine, kesitteki  $N$  normal kuvvet değerine bağlı olarak karşılıklı etki diyagramından elde edilecek olan indirgenmiş plastik moment ( $M_p$ ) kullanılacaktır.

### **1.7. Beton ve Çelik Malzeme İçin Gerilme-Şekil Değişirme Durumları**

TBDY-2018 yönetmeliği kolon, kiriş, perde gibi taşıyıcı elemanlarına ait plastik mafsal özelliklerinin belirlenebilmesi için bazı yaklaşımlarda bulunmaktadır. Bu malzeme modellerine ilişkin yaklaşımlar, yönetmeliğin ilgili Bilgilendirme Eki 5A da açıklanmakta ve bu modellere ilişkin durumlar Şekil 11 ve Şekil 12 gösterilmektedir. Beton modelleri için iki farklı yaklaşım şekillerde gösterilmiş, betona ait sargılı ve sargısız durumlar incelenmiştir.



Şekil 11. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Bu şekildeki;

$f_{co}$  ; sargısız betonun basınç dayanımını

$f_{cc}$  ; sargılı betona ait basınç dayanımını

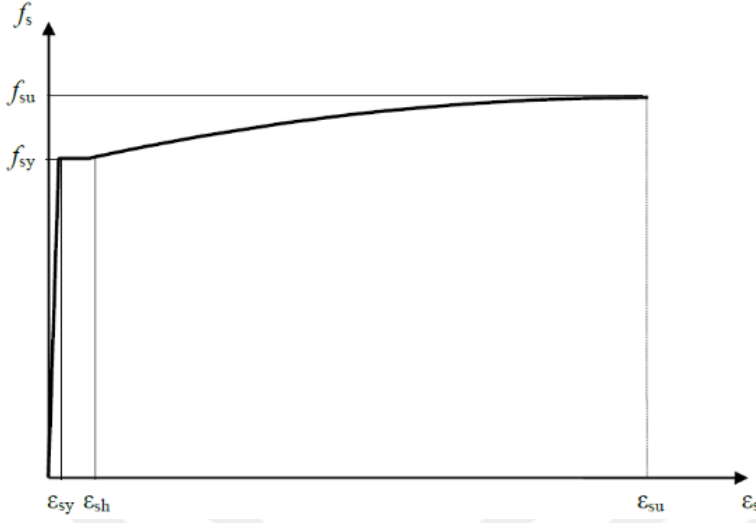
$\epsilon_{co}$  ; sargısız betonun taşıyabileceği en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme

$\epsilon_{cc}$  ; sargılı betonun taşıyabileceği en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme

$\epsilon_{cu}$  ; sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi

olarak ifade edilmektedir.

Doğrusal olmayan hesap adımları ve şekil değiştirmeye göre yapılan değerlendirme ve tasarım da kullanılacak donatı çeliği için Şekil 12' de gösterilen gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır.



Şekil 12. Donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Bu şekildeki;

$f_{sy}$  ; donatı çeliğinin akma dayanımı

$f_{su}$  ; donatı çeliğinin kopma dayanımı

$\epsilon_{sy}$  ; donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi

$\epsilon_{sh}$  ; donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi

$\epsilon_{su}$  ; donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi

olarak ifade edilmektedir.

Donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme eğrisinde görüldüğü gibi, akma gerilmesi ( $f_y$ ) olarak ifade edilen değere kadar doğrusal davranışın olduğu elastik kısım, doğrusal davranışın sonunda gerilmenin az miktarda değiştiği akma sahanlığının bulunduğu elasto-plastik kısım, akma bölgesinin sonunda ise gerilmenin gözle görülebilir bir şekilde artış gösterdiği pekleşme bölgesi görülür. Bu bölge kopma gerilmesine ( $f_{su}$ ) kadar devam eder.

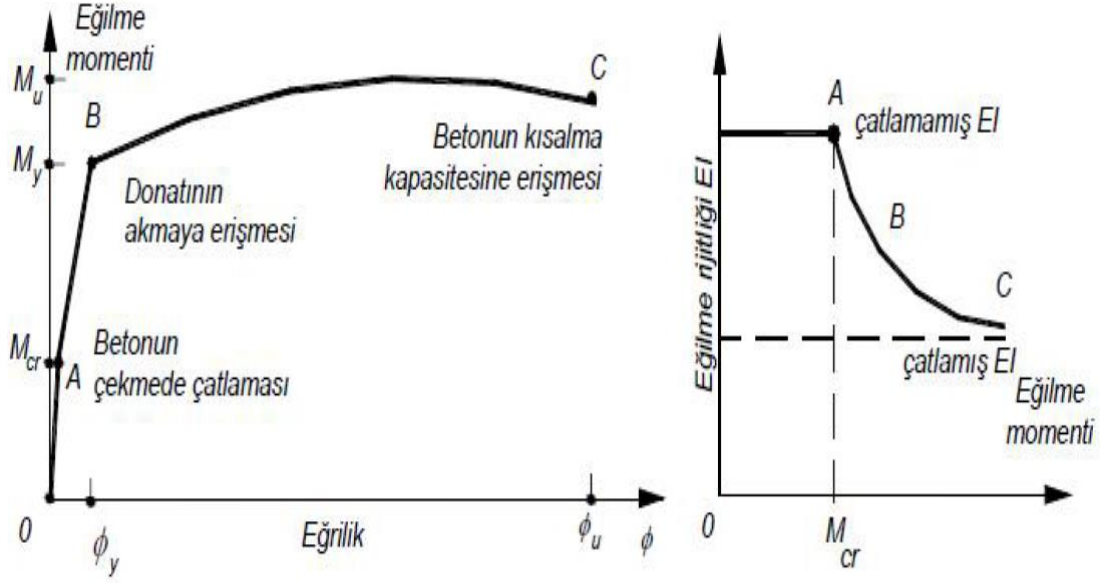
Tablo.6'da donatı çeliklerine ait yönetmeliğin belirlemiş olduğu değerler gösterilmektedir. Donatı çeliğinin elastisite modülü  $E_s=2 \times 10^5$  MPa'dır. (2018,TBDY)

Tablo 6. Donatı çeliklerine ait bilgiler

Kalite	$f_{sy}$ (MPa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su}/ f_{sy}$
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15-1.35

### 1.8. Betonarme Elemanlarda Eğilme Etkisi

Eğilme etkisindeki betonarme kesitlerde oluşan eğrilik-eğilme momenti ilişkisinin anlatıldığı grafik Şekil 13’ te verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi O-C noktalarına kadar olan aralıkta üç farklı davranışın mevcut olduğunu görmekteyiz. Eğilme momentinin küçük değerlerle etki gösterdiği OA bölgesinde betonda basınç ve çekme meydana gelirken, donatı elastik bir davranış göstermekte eğri lineer olarak ilerlemektedir. Bu bölgede donatı katkısı minimum seviyededir. Diğer bir bölge olan AB bölgesinde eğilme momentinde görülen artış ile birlikte çekme bölgesine ait beton çatlaklar meydana gelir ve oluşan bu çatlaklar tarafsız eksene doğru ilerler. Betonun tamamen çatladığı varsayımı yapılarak çekme gerilmelerinin hemen hemen çoğu çekme donatıları tarafından karşılanır. Doğrusal davranıştan aykırı bir davranış oluşumu ilk olarak bu bölgede görülmektedir. Momentte görülen artış miktarı devam ederken, doğrusal olmayan davranış daha belirgin hale gelir, donatı da beraberinde akma gerilmesine ulaşır ve  $M_y$ , akma momenti olarak ifade edilen durum meydana gelir. Üçüncü bölge olan BC kısmında ise, moment değerinin daha da artması ile donatı plastik uzama yapar. Betonda ise doğrusal olmayan davranışlar söz konusudur. Betonun kısılma kapasitesi, donatının uzama kapasitesinden küçük olmasından kaynaklı olarak güç tükenmesi durumu genellikle betonun kısılma kapasitesine ulaşmasıyla elde edilir. Ayrıca eğri, kesitin enerji yutabilmesi hakkında bilgi verir. Eğrinin altındaki alan arttıkça betonarme elemanın enerji tüketebilme kapasitesi de artar (Celep, 2007).



Şekil 13. Betonarme kesitte eğrilik-moment eğrisi

### 1.9. Betonarme Elemanlara Ait Birim Şekil Değişirme ve Plastik Dönme Sınırları

TBDY-2018 yönetmeliği betonarme elemanlara ait plastik dönme sınırları ile ilgili aşağıdaki maddeler de belirtilen durumların dikkate alınması gerekmektedir.

- Şekildeğiştirmeye ait hesap yapılan betonarme taşıyıcı elemanların boyuna donatıları S220 donatı çeliği ise, donatı çeliğine ait birim şekildeğiştirme talebi ve aynı şekilde plastik dönme talebi 1.5 ile çarpılarak değeri artırılır.
- Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek kiriş, perde ve kolon taşıyıcı elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen birim şekildeğiştirme ve plastik dönme üst sınırları yönetmeliğin maddelerince **5.8.1.1**, **5.8.1.2**, **5.8.1.3** ve **5.8.1.4**'de tanımlanmıştır.

a) Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim kışalması:

- Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde Denklem (16) gibi hesap edilmektedir.

$$\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{ve}} \leq 0.018 \quad (16)$$

- Dairesel kesitlerde:

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{ve}} \leq 0.018 \quad (17)$$

Denklem (17)'de  $\omega_{ve}$  etkin sargı donatısının mekanik donatıya olan oranını belirtmektedir.

- Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için donatı çeliği birim şekil değiştirmesi aşağıda Denklem (18) verilmektedir.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (18)$$

- Plastik dönmeler için izin verilen sınır değer, kesite etkiyen aksenal kuvvet ve verilen beton ve donatı çeliği modelleri dikkate alınarak yapılacak eğrilik analizi sonucunda Denklem (19)'a göre hesaplanacaktır.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3}[(f_u - f_y)L_p(1 - 0.5\frac{L_p}{L_s}) + 4.5f_u d_b] \quad (19)$$

- a) Kontrollü hasar performans düzeyi için beton ve donatı çeliğinde yönetmeliğin sunmuş olduğu sınırlar aşağıdaki denklemler de verilmektedir.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (20)$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (21)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (22)$$

b) Sınırlı hasar performans düzeyinin belirlenmesin de aşağıda denklemlerde belirtilen hesap adımları dikkate alınacaktır.

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad (23)$$

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (24)$$

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (25)$$

Betonarme kesite ait şekil değiştirme sınırları istenilen deprem performansı düzeyinde elemanların durumu incelenerek elde edilmektedir. Bununla beraber mevcut yapının deprem karşısındaki davranışına ilişkin bilgi elde edilmiş olur.

### **1.10. Betonarme Bir Binanın Deprem Performansı ve Zaman Tanım Alanında Analizi için Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi**

Bu bölümde, TBDY-2018'in deprem yer hareketleri hakkında yapmış olduğu tanımlamalar belirtilmiş ve mevcut binada kullanılacak olan deprem yer hareketi düzeyi seçim adımları anlatılmış, bina hakkında bilgi verilecek olan deprem performans adımları belirtilmiştir.

#### **1.10.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri**

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde dört adet deprem yer hareketi düzeyi belirlenmiştir.

##### **1.10.1.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)**

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi düzeyi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır.

#### **1.10.1.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)**

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi düzeyi, tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

#### **1.10.1.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)**

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

#### **1.10.1.4. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)**

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

#### **1.10.2. Deprem Yer Hareketi Spektrumları**

Deprem yer hareketlerine ait spektrumların belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_s$ , 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1$ , birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları olarak tanımlanmıştır. Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [ $(V_s)_{30} = 760$  m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile bu boyutsuz katsayılar bulunurlar. Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları olan  $S_s$  ve  $S_1$ , tasarım spektral ivme katsayıları olan  $S_{Ds}$  ve  $S_{D1}$ 'e yerel zemin etki katsayıları  $F_s$ ,  $F_1$  yardımıyla denklemlerde belirtildiği şekliyle dönüştürülürler (TBDY-2018).

$$S_{Ds} = S_s \times F_s \quad (26)$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 \quad (27)$$

### 1.10. 3. Yerel Zemin Etki Katsayıları

Tanımlanmış olan yerel zemin sınıflarına bağılı olarak elde edilecek olan etki katsayıları  $F_S$  ve  $F_1$  aşağıda verilen Tablo.7-8'den elde edilebilir. Tabloda yer almayan ara değerler için enterpolasyon önerilmektedir. ZF yerel emin sınıfına giren zemin koşulları için ise sahada yapılması önerilen zemin davranış analizleri gerçekleştirilmesi gerekmektedir (2018, TBDY).

Tablo 7. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

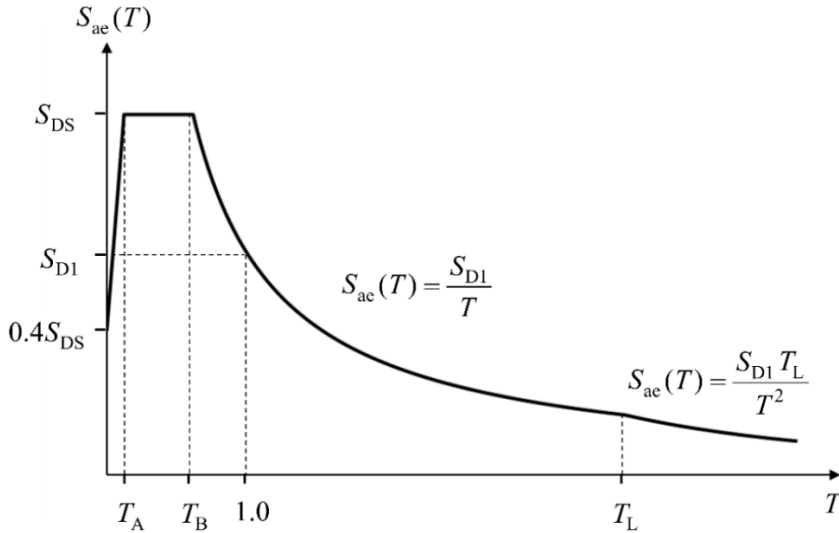
Yerel Zemin Sınıfı	Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı, $F_S$					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 8. Uzun periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Uzun Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı, $F_1$					
	$S_S \leq 0.10$	$S_S = 0.20$	$S_S = 0.30$	$S_S = 0.40$	$S_S = 0.5$	$S_S \geq 0.6$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

#### 1.10. 4. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için doğal titreşim periyoduna karşılık gelecek olan yatay elastik tasarım ivme değerleri  $S_{ae}(T)$  ile meydana gelen yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Yatay elastik tasarım spektrumu

Yatay elastik tasarım ivme değerleri, köşe periyotları olan  $T_A$ ,  $T_B$ , ve geçiş periyodu olan  $T_L$  periyotlarına göre farklı bölgelerde tanımlanmış ve bu bölgelere özgü formüller sunulmuştur. Yatay elastik tasarım ivme değerinin bulunması için doğal titreşim periyodu olan  $T$  değeri için farklı formüller aşağıdaki denklemlerde verilmektedir.

$$S_{ae}(T) = (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (28)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (29)$$

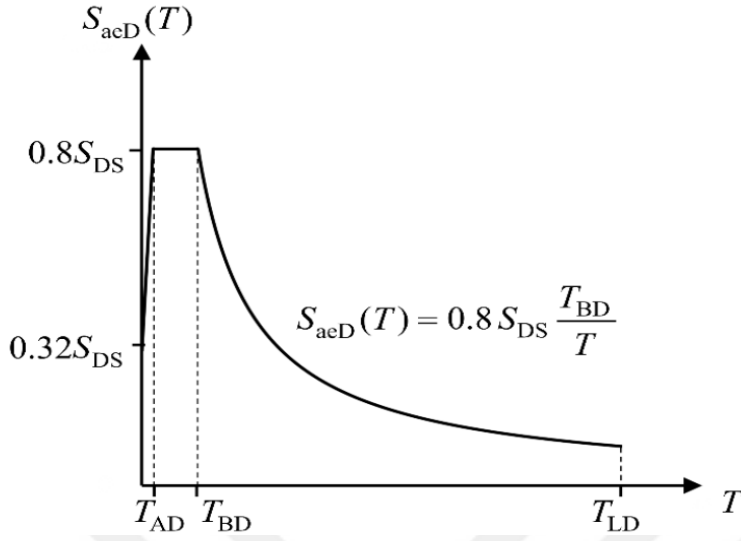
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L \quad (30)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad T_B \leq T \leq T_L \quad (31)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (32)$$

#### 1.10.5. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Deprem yönetmeliği depremin yatayla olan ilişkisinin yanında düşey ile olan ilişkisini de göz önünde bulundurmıştır. Bu amaçla düşey elastik tasarım spektrumu tanımlamıştır. Yatay deprem yer hareketi için tanımlanmış olan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim ivme periyoduna bağlı olarak oluşturulan düşey ivme spektrumu aşağıdaki Şekil 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. Düşey elastik tasarım spektrumu

Düşey elastik tasarım ivme değerleri, köşe periyotları olan  $T_{AD}$ ,  $T_{BD}$ , ve geçiş periyodu olan  $T_{LD}$  periyotlarına göre farklı bölgelerde tanımlanmış ve bu bölgelere özgü formüller sunulmuştur. Düşey elastik tasarım ivme değerinin bulunması için doğal titreşim periyodu olan  $T$  değeri için farklı formüller aşağıdaki denklemlerde verilmektedir.

$$S_{ae}(T) = (0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_{AD} \quad (33)$$

$$S_{ae}(T) = 0.8 S_{DS} \quad T_{AD} \leq T \leq T_{BD} \quad (34)$$

$$S_{ae}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad T_{BD} \leq T \leq T_{LD} \quad (35)$$

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3}; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3}; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{3} \quad (36)$$

### 1.11. Betonarme Binalarda Güçlendirme Çalışmaları

Yapıların güçlendirilmesi, deprem de meydana gelebilecek hasar durumlarının giderilmesi, meydana gelebilecek deprem etkilerine karşı deprem güvenliğini arttırmaya yönelik yeni taşıyıcı elemanların eklenmesi, kütlede yapılan azaltma, mevcut taşıyıcı elemanların deprem davranışlarına karşı daha iyi sonuçlar göstermesi için iyileştirilmesi,

taşıyıcı elemanlar arasında kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanabilmesi için yapılacak olan işlemlerin bütünüdür.

### 1.11.1. Güçlendirme Türleri

TBDY-2018 güçlendirme uygulamalarında, her taşıyıcı sistem türü için eleman ve bina sistemi düzeyinde olmak üzere iki farklı kapsam da değerlendirme yapmaktadır.

- Binanın kolon, kiriş, perde gibi dikkat edilmesi gereken birleşim bölgelerinde deprem yüklerinin etkisine en çok maruz kalan ve deprem yüklerini karşılayan elemanlarında dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin artırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler, eleman bazında güçlendirme olarak tanımlanır.
- Binanın taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin artırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin devam ettirilmesi, binaya yeni taşıyıcı elemanların eklenmesi, birleşim bölgelerinde yapılacak olan güçlendirme çalışmaları, gelecek olan deprem etkilerinin azaltılması amacıyla binanın kütlelerinin azaltılması işlemleri sistem bazında güçlendirme olarak tanımlanır.

#### 1.11.1.1. Kolonların Sarılması

Kolonların sünekliğini arttırmaya yönelik olarak kesme ve basınç dayanımlarında meydana gelecek arttırılmanın sağlanması, bindirmeli eklerin zayıflıklarının giderilmesine yönelik yapılan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir. Bu yöntemlerle kolonların eğilme kapasitesi arttırılamaz.

- Betonarme Sargı: Mevcut kolonun beton örtüsü sıyrılarak veya yüzeyleri pürüzlendirilerek uygulanacaktır. Betonarme sargı gerek yatay, gerekse düşey donatının yerleştirilmesi, beton dökülmesi ve minimum beton örtüsünün sağlanması için yeterli kalınlıkta olmalıdır. En az sargı kalınlığı 100 mm'dir. Betonarme sargı kat döşemesinin üstünde başlar ve üst kat döşemesinin altında sona erer. Eksenel basınç dayanımının arttırılması amacı ile yapılan sargı da, sargı betonu içindeki enine donatı için kolonun tüm yüksekliği boyunca yönetmelikte belirtilen adımlar gerçekleştirilecektir. Sarılmış kolonun kesme ve basınç dayanımlarının hesabında, sarılmış brüt kesit boyutları ile manto betonun tasarım dayanımı kullanılacak, ancak elde edilen dayanımlar 0.9 ile çarpılarak azaltılacaktır.

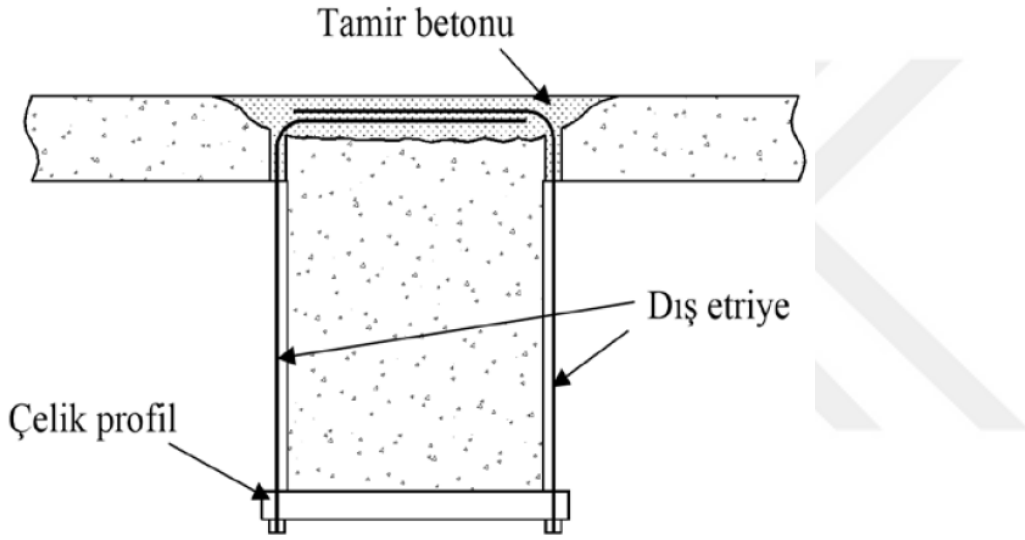
- **Çelik Sargı:** Çelik sargı dikdörtgen betonarme kolonların köşelerine dört adet boyuna köşebent yerleştirilmesi ve köşebentlerin belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanması ile oluşturulur. Köşebentler ile betonarme yüzeyler arasında boşluk kalmamalıdır. Yatay plakalar dört yüzeyde sürekli olmalıdır. Çelik sargının kolon-eğilme eksenel yük kapasitesini artırması için köşebentlerin alt ve üst döşemeler arasında sürekli olması (boşlukların alınması) ve döşemelere başlık plakaları ile basınç aktarması aktarımının sağlandığı hesapla gösterilmelidir. Gerekirse köşebentlere ön yükleme yapılarak mevcut betonarme kolon kesitinin düşey yüklerden kaynaklanan eksenel basınç yükü azaltılabilir.
- **Lifli Polimer (LP) Sargı:** LP tabakasının kolonların çevrelerine sarılarak, lifler enine donatılara paralel olacak şekilde, sarılması ve yapıştırılması ile sargılama sağlanır. LP sargısı ile betonarme kolonların süneklik kapasitesi, kesme ve basınç dayanımları ile boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme dayanımı artırılır. LP sargılama ile yapılan güçlendirmede tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalı ve sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. LP sargısı dikdörtgen kolonlarda kolon köşelerinin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanabilir. LP sargısı uygulaması üreticisi tarafından önerilen yönteme uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

#### **1.11.1.2. Kirişlerin Sarılması**

Kirişlerin sarılmasındaki amaç kirişlerin kesme dayanımlarının ve bazı durumlarda süneklik kapasitelerinin artırılmasıdır.

- **Dıştan Etriye Ekleme:** Kesme dayanımı yetersiz olan kiriş mesnet bölgelerinde gerekli sayıda etriye çubuğu kirişin iki yüzüne Şekil 16 gösterilmektedir. Kiriş altına yerleştirilen bir çelik profile bulonla bağlanan çubuklar, üstteki döşemede açılan deliklerden geçirilerek döşeme üst yüzeyinde açılan yuvanın içine bükülerek yerleştirilecektir. Daha sonra betonda açılan boşluklar beton ile doldurulacaktır. Kirişlerin dıştan eklenen etriyeler ile artırılan kesme dayanımı TS 500'e göre hesaplanacaktır. Dıştan eklenen etriyelerin sargılama etkisi yoktur, kiriş kesitinin sünekliğini arttırmaz.

- Lifli Polimer (LP) ile Sarma: LP sargılama ile kiriş sünekliliğinin ve kesme dayanımının artırılmasında tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalıdır. Süreksiz (şeritler halinde) LP kullanılması durumunda LP şeritlerin aralıkları ( $w_f + d/4$ ) değerini geçmemelidir. LP sargısı kirişlerde köşelerin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanacaktır. LP ile yapılan sargılamalarda sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. LP uygulaması üretici tarafından önerilen yöntemle uygun olarak gerçekleştirilmelidir.



Şekil 16. Kirişin iki taraftan etriye ile sarılması

### 1.11.1.3. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmesi

Yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilebilir. Betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak düzenlenebilir.

- Çerçeve Düzlemi İçinde Betonarme Perde Eklenmesi: Betonarme sisteme eklenecek perdeler çerçeve ekseninin içinde düzenlenecek, temelden başlayarak pere üst seviyesine kadar sürekli olacaktır. Bu amaçla, perde uç bölgesindeki boyuna donatıların ve gereği durumunda perde gövdesindeki boyuna donatıların perde yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanacaktır. Perdeler, içinde buldukları çerçeveye

ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacaktır. Ankraj çubukları, mevcut çerçeve elemanları ile eklenen betonarme perde elemanı arasındaki ara yüzlerde deprem kuvvetleri altında oluşan kayma gerilmelerini karşılamak için yeterli dayanıma sahip olacaklardır. Ara yüzlerdeki kayma gerilmelerinin çerçeve elemanları boyunca dağılımı bilinen mekanik prensiplerine uygun olarak hesaplanacaktır. Ankraj çubuklarının tasarımında TS 500'deki sürtünme kesmesi esasları kullanılacaktır. En küçük ankraj çubuğu çapı 16 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 400 mm olmalıdır. Perde ucunda mevcut kolon bulunmaması durumunda perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Perde ucunda mevcut kolon bulunması durumunda ise mevcut kolondan uç bölgesi olarak yararlanılabilir. Gerekli görüldüğü durumlarda ise mevcut kolon büyütülerek veya mevcut kolona bitişik perde içinde kolon düzenlenerek perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Her iki durumda da perde uç bölgesine eklenecek olan donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanmalıdır. Perde temeli oluşturulmalı ve oluşturulan perde temeli iç kuvvetleri temel zeminine güvenle aktaracak şekilde boyutlandırılmalıdır. Perde temelinde oluşabilecek dış merkezliği azaltmak amacıyla perde temeli komşu kolonları içerecek şekilde genişletilerek mevcut kolonların aksenal basınç kuvvetlerinden yararlanılabilir.

- Çerçeve Düzlemine Bitişik Betonarme Perde Eklenmesi: Betonarme sisteme eklenecek perdeler dış çerçeve ekseninin dışında, çerçeveye bitişik şekilde düzenlenecek, temelden başlayarak perde üst seviyesine kadar süreklilik sağlanmalıdır. Perdeler bitişik oldukları çerçeve taşıyıcı elemanlara ankraj çubukları ile bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacaktır. Ankraj çubukları, mevcut çerçeve elemanları ile sisteme eklenen dışmerkezli perde elemanı arasındaki ara yüzlerde deprem kuvvetleri altında oluşan kayma gerilmelerini karşılamak için yeterli dayanıma sahip olacaktır.

#### **1.11.1.4. Betonarme Sisteme Yeni Çerçevesler Eklenmesi**

Betonarme yapının dışına eklenecek çerçevelerin temelleri mevcut binanın temelleri ile birlikte düzenlenecektir. Yeni çerçevelerin mevcut binanın taşıyıcı sistemi ile birlikte çalışması için bu çerçeveler mevcut binanın döşemelerine gerekli yük aktarımını sağlayacak şekilde sağlanacaktır.

#### **1.11.1.5. Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması**

Deprem yüklerinin azaltılması amacı ile uygulanan en etkili yöntemler binanın üst katının veya katlarının kaldırılması ile, mevcut çatının daha hafif malzemeli bir çatı ile değiştirilmesi ile, çatı da bulunan su deposu vb. tesisat ağırlıklarının zemine indirilmesi ile, ağır balkonların, parapet ve bölme duvarların, cephe kaplamalarının daha hafif elemanlar ile değiştirilerek gerçekleştirilmektedir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Mevcut Yapıya İlişkin Gerçekleştirilen Saha Çalışmaları ve Mevcut Yapının Durumu

Mevcut yapı, ilkokul binası olup dilatasyon derzleri ile ayrılmış üç ayrı bloktan oluşmaktadır. Blokların taşıyıcı sistemleri betonarme perde çerçevedir. Bina A-1, A-2 ve A-3 adlı bloklardan oluşmaktadır. Tez de bu üç bloktan A-2 bloğu incelenmiştir. Mevcut yapı bir bodrum, zemin ve bir adet normal kattan oluşmaktadır. Her bir kat yüksekliği 3.36 metredir. Yapı toplam da 4854 m<sup>2</sup> alana sahiptir. A bloğun kullanım sınıfı eğitim yapısı olduğu için BKS=1, bina yükseklik sınıfı BYS=7, bina önem katsayısı I=1.5'tir. Ancak mevcut yapılar analiz edilirken bina önem katsayısı I=1 alınarak hesaplar gerçekleştirilir. Ayrıca yapı davranış katsayısı mevcut durum analiz edilirken R=1, güçlendirilmiş durum analiz edilirken R=4 alınmıştır. Bu durum yapılar için daha güvenli tarafta kalmak adına yönetmeliğin kabul ettiği bir durumdur. Hareketli yük katsayısı n= 0.6'dır. Yapının üzerine inşa edildiği yerel zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiştir. Bu bilgilere göre deprem tasarım sınıfı DTS=1a olup, bu deprem eğitim binası olduğu için DD-1 ve DD-3 yer hareketlerine karşılık gelmektedir. Gerekli olan değerlendirmeler ise bu iki durum göz önünde bulundurularak gerçekleştirilecektir. Ancak yapılan analizlerin uzun ve zahmetli olmasından kaynaklı olarak bu tez çalışmasında DD-1 deprem düzeyine göre KH performans düzeyinin sağlanması amaçlanmıştır. Çünkü DD-1 yer hareket düzeyi en büyük deprem yer hareketi olarak adlandırıldığı için bu deprem düzeyi altında KH performans seviyesini sağlanması DD-3 için SH performans düzeyinin sağlanmış olacağı kabul edilmiştir.

Projesi olan yapıda ilk olarak yerinde tespit ve röleve çalışması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar kapsamında projesi de göz önünde bulundurulan mevcut yapıda beton dayanımı hem yerinde test edilmiş hem de alınan karot numuneleri laboratuvar ortamında teste tabi tutulmuştur. Donatı tespit cihazları ile okuma yapılarak okunan değerler not edilmiş ve bu değerler dikkate alınarak mevcut durum için analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mevcut donatılardan da numune alınarak çekme deneyi yapılarak kontrol gerçekleştirilmiştir. Şekil 17'de mevcut yapının uydu görüntüsü ve yerleşim planı görülmektedir. Şekil 18'de mevcut yapının yan cephe fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 17. A-2 bloğun bulunduğu blok yerleşim planı



Şekil 18. A-2 blok yan cephe görüntüsü

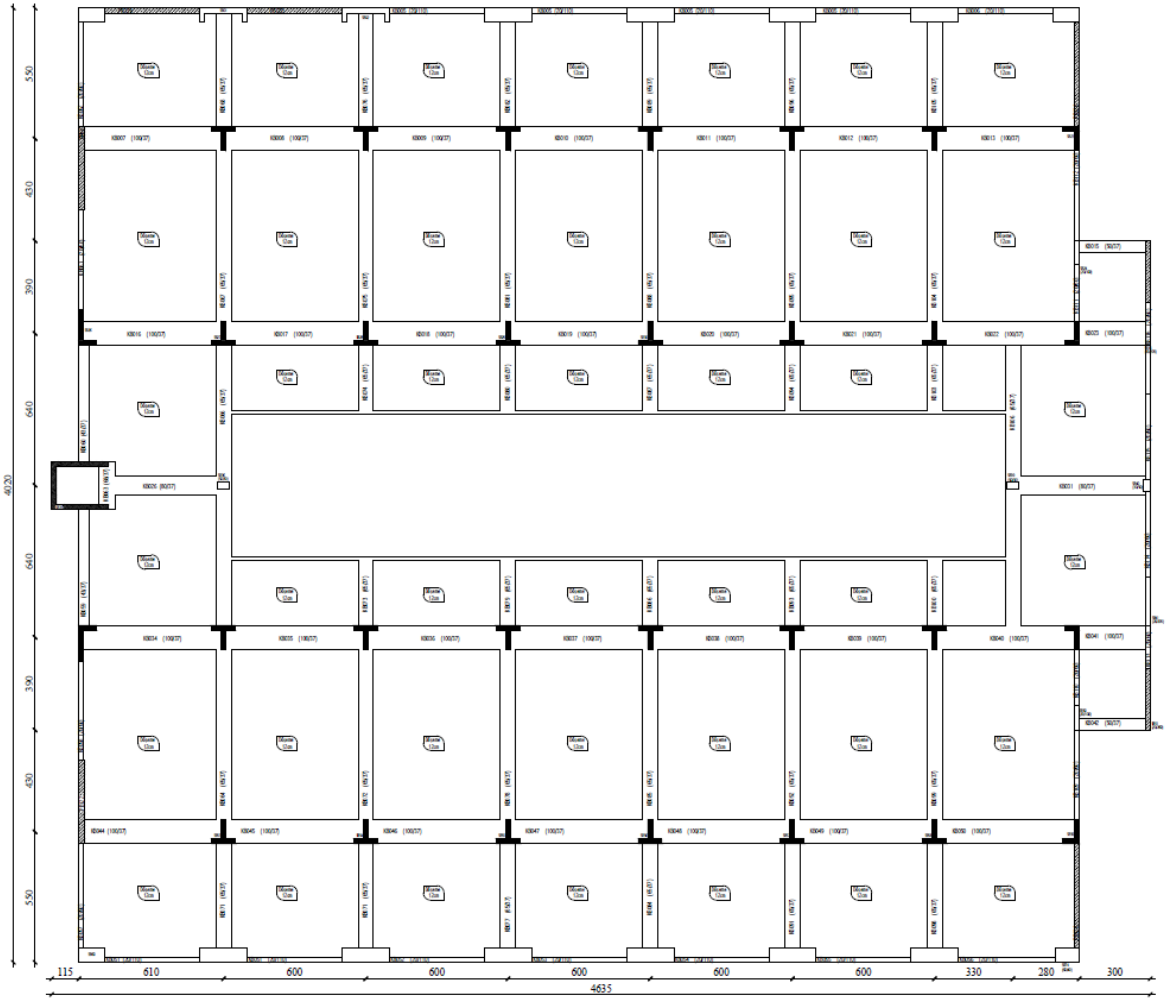
Tez çalışması kapsamında, mevcut yapıda beton karot ve çelik numune alma çalışmaları yapılmadan önce taşıyıcı sistem rölevesi ve kalıp planları hazırlanmıştır. A2 blok

planda X doğrultusunda 45 m, Y doğrultusunda 40 m dikdörtgen şeklinde bir oturma alanına sahiptir. Yapı bir bodrum, zemin kat ve 1 adet normal kattan oluşmaktadır. A2 bloğun 1996 yılında inşa edildiği bilinmektedir. A2 blok A1 ve A3 bloğuna bitişik olup, aralarında derz olacak şekilde inşa edilmiştir. Blok taşıyıcı sistemi betonarme perdeli çerçeveli sistemdir.

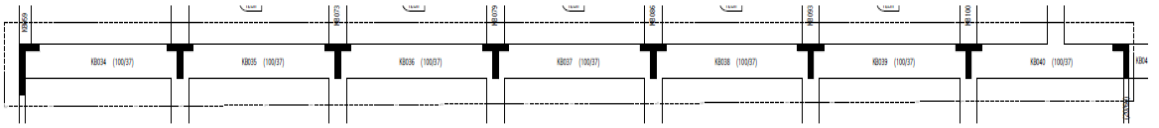
A2 blok perde kalınlıkları 20 ve 25 cm, kolonlar T şeklinde, L şeklinde, kare ve dikdörtgen kesitli olarak tasarlanmış olup, düşey taşıyıcı sistem boyutları: bodrum da 20/100, 50/30, 30/30, 20/250, 20/200, 25/350, 70/40, 160/40, 60/40; üst katlarda ise 60/40, 70/40, 160/40, 20/210, 20/100, 20/250, 20/200, 30/50, 30/30 (cm)'dir.

A2 blokta döşeme sistemi: bodrum kat, zemin kat ve normal katta, 37 cm kalınlığında tek doğrultulu dişli (asmolen) döşeme olarak oluşturulmuştur. Çerçeve ana kiriş boyutları 20/60, 80/37, 100/37, 90/37, 30/50, 32/37, 40/60, 50/37, 40/37 (cm) olarak tespit edilmiştir. Asmolen döşemelerde diş boyutları 15/50 cm olup, asmolen üstü plak kalınlığı 7 cm'dir. Kalıp planında tüm kolon ve perdelerin kirişler ile birbirine bağlandığı ve ortogonal düzenli bir taşıyıcı sistem mevcuttur.

Mevcut binaya ait bodrum kata ait Autocad kalıp planı Şekil 19'de gösterilmektedir. T ve L kesitli kolonlara ait yerleşim düzeni Şekil 20'de gösterilmektedir. N15/37 (d=7 cm) asmolen döşemesi, d=12 cm ve d=16 cm kalınlığında döşemelerde yapıda mevcuttur. T ve L kesitli kolonlarda şekillerde kalıp planlarında mevcuttur. Yapı en üst katta Y doğrultusunda küçülmektedir.



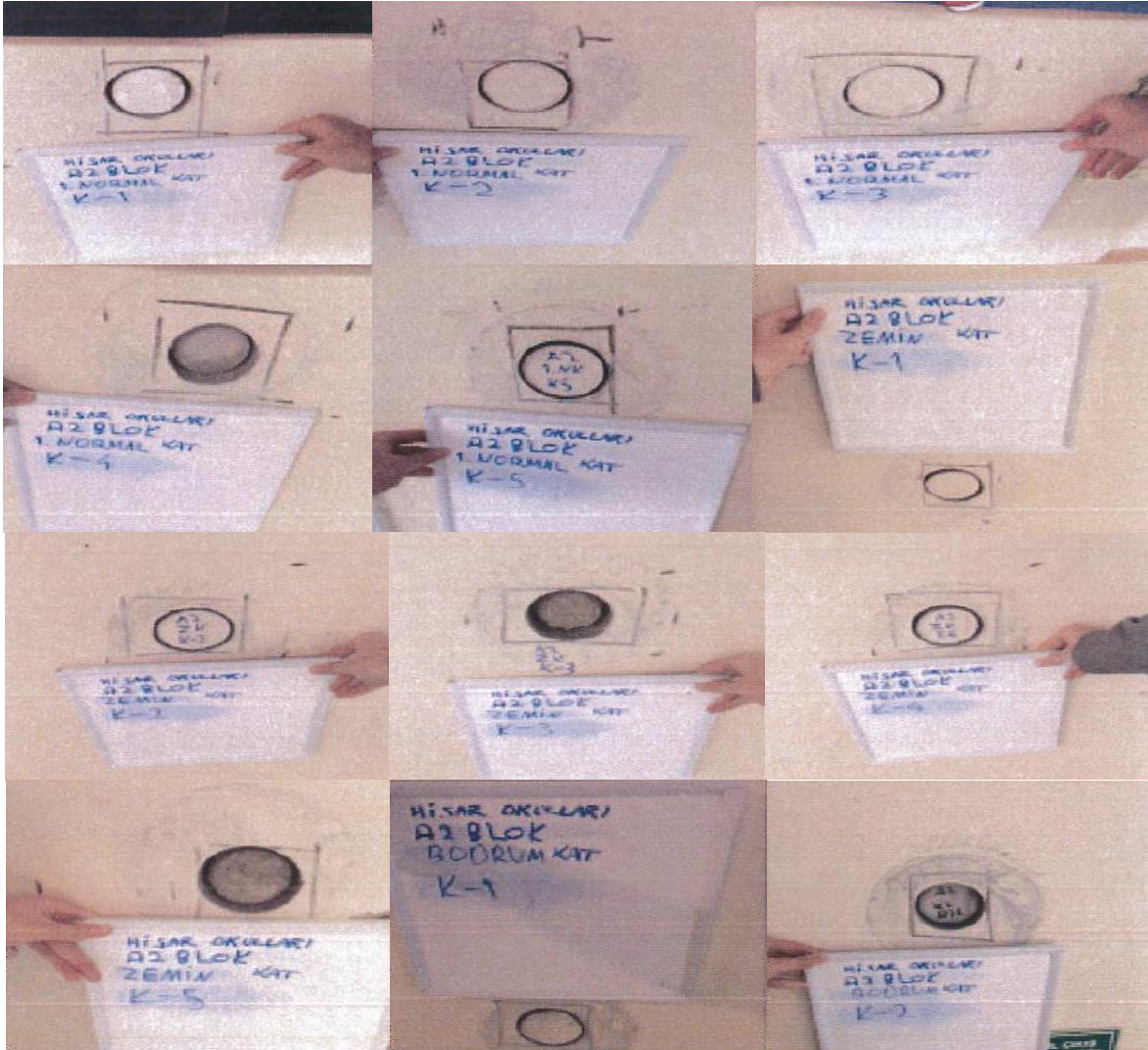
Şekil 19. +0,00 kotu bodrum kat kalıp planı (1/50)



Şekil 20. T ve L kesitli kolonlara ait yerleşim

Mevcut yapının inşa edildiği dönemden bugüne kadar ülkemizdeki deprem yönetmelikleri ile ilgili deprem düzeyi haritalarında kapsamlı değişiklikler olduğundan, blok taşıyıcı sisteminin mevcut deprem performansını belirlemek amacıyla, TBDY-2018 yönetmeliği doğrultusunda bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Binadan bilgi toplanması esnasında eğitim kurumunun çalışmasına engel olmayacak şekilde ve okul yönetiminin izin

verdiği bölgelerde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkarılmış, bloğun çeşitli katlarında bulunan kolon ve perde elemanlarından karot alınmış ve beton mukavemetinin belirlenmesi için gerekli testler yapılmıştır. Donatı tespitine ilişkin uygun görülen yerlerden beton örtüsü sıyrılarak donatı çapı tespiti ve paşometre okuması ile donatı sayısı ve aralıkları tespit edilmiştir. Betonarme donatılarının nervürlü S420 olduğu görülmüştür. Mevcut yapıya ait yapılan karot çalışmaları Şekil 21’de gösterilmektedir.



Şekil 21. Karot çalışmaları

Tablo 9’da Şekil 21’de gösterilmiş olan karot numunelerinin laboratuvar ortamında basınç deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları verilmiştir. Verilen sonuçlara göre Beton Basınç Dayanımı (MPa) bulunmuştur.

Tablo 9. Laboratuvar ortamında basınç dayanımları ölçülen karot numuneleri

Sıra No	Karot Numunesinin Alındığı Yapı Elemanı	ÇAP (mm)	YÜKSEKLİK (mm)	$f_{karot}$ N/mm <sup>2</sup> (MPa)	Basınç Dayanımı N/mm <sup>2</sup> (MPa)
1	K1 Kolon	100	100	25,2	24,6
2	K2 Kolon	100	100	27,9	27,3
3	K3 Kolon	100	100	28,4	27,5
4	K4 Kolon	100	100	21,7	20,9
5	K5 Kolon	100	100	23,4	22,6
6	K6 Kolon	100	100	25,5	24,9
7	K7 Kolon	100	100	25,5	24,9
8	K8 Kolon	100	100	23,7	22,9
9	K9 Kolon	100	100	18,4	17,5
10	K10 Kolon	100	100	18,7	17,8
11	K11 Kolon	100	100	20,0	19,4
12	K12 Kolon	100	100	18,2	17,3
13	K13 Kolon	100	100	20,6	20,0
14	K14 Kolon	100	100	19,2	16,3

Maksimum Beton Dayanımı	27,50
Minimum Beton Dayanımı	16,3
Ortalama Beton Dayanımı	21,71
Hesapta kullanılacak değerler	18,6

Mevcut Küp Dayanımı (MPa)	Katsayı	Basınç Dayanımı N/mm <sup>2</sup> (MPa)
21,71	0,85	<b>18,6</b>

Tablo 9' da görüldüğü üzere bloğun çeşitli katlarından alınan kolon elemanlara ait karot numuneleri yapılan basınç mukavemet değerleri esas alınarak hesaplanan A2 blok mevcut beton hesap adımları Tablo 9'da sırasıyla gösterilmektedir. Elde edilen mevcut küp dayanımının 0,85 katı mevcut yapıya ait beton basınç dayanımı olarak ifade edilmektedir. Yapının tasarımında beton malzemesi olarak 18,6 MPa değeri tanımlanmıştır. Kolon ve perde elemanlara ait okumalar Şekil 22'de verilmektedir. Malzemenin elastisite modülü;

$E = 5000 \times \sqrt{18,6} = 21563.86 \text{ MPa}$  olarak elde edilmektedir.



Şekil 22. Belirlenen bazı taşıyıcı elemanlara ait donatı okumaları

Tablo 10 bodrum kat kolonlarına ait ve Tablo 11 bodrum kat kirişlerine ait donatı okuma değerleri gösterilmiştir. Yapılan okumalarda elde edilen oran değeri kullanılarak okuma işlemi ve sıyırma işlemi gerçekleştirilmemiş taşıyıcı eleman donatıları elde edilen bu oran doğrultusunda dağıtılmıştır.

Tablo 10. Bodrum kat kolonlara ait donatı okuma değerleri

Yapı Eleman Adı	Yapı Eleman Bo.	Boyuna Donatı Çapı Ø (mm)	Mevcut Boyuna Donatı Adedi	Etriye Çapı (mm)	Etriye Mesafesi (cm)
Bodrum Kat Kolon-1	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-2	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-3	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-4	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-5	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-6	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-7	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-7	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-8	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-9	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-10	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-11	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-12	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-13	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-14	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-15	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-16	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-17	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-18	3600	16	25Ø16	10	15
Bodrum Kat Kolon-19	3600	16	25Ø16	10	15

Tablo 11. Bodrum kat kirişlere ait donatı okuma değerleri

Yapı Eleman Adı	Yapı Eleman Boyutları	Boyuna Donatı Çapı Ø (mm)	Mevcut Boyuna Donatı Adedi	Etriye Çapı (mm)	Etriye Mesafesi (cm)
Bodrum Kat Kiriş-1	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -2	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -3	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -4	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -5	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -6	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -7	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -7	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -8	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -9	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -10	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -11	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -12	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -13	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -14	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -15	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -16	100×37	16	15Ø16	8	15
Bodrum Kat Kiriş -17	100×37	16	15Ø16	8	15

Şekil 23'te gösterilen sıyırma işlemleri yapıda ki taşıyıcı elemanların donatı tipine dair fikir alınması için gerçekleştirilmiştir. Donatının uğradığı korozyon belirlenmiş ve donatı tipi, adedine dair bilgiler elde edilmiştir. Bodrum kata ait bilgiler Tablo 12'de örnek olması için verilmiştir.



Şekil 23. Belirlenen kolon, kiriş ve perde elemanlara ait yapılan sıyrma işlemleri ve donatı korozyonu belirlenmesi için yapılan sıyrma işlemleri

Tablo 12. Okunan sıyrırma değerleri ve donatılar

Sıra No	Yapı Elemanı	Boyuna Donatı Çapı Ø (mm)	Ölçülen Boyuna Donatı Çapı (mm)	Ölçülen Etriye Çapı (mm)	Ölçülen Etriye Mesafesi (cm)
1	Bodrum Kat Kolon 1	14	13.07	7.71	13
2	Bodrum Kat Kolon 2	14	13.24	7.87	16
3	Bodrum Kat Kolon 3	14	13.54	7.94	15
4	Bodrum Kat Kolon 4	14	13.46	7.75	15
5	Bodrum Kat Kolon 5	14	13.46	7.72	15
6	Bodrum Kat Kolon 6	16	15.03	7.67	18
7	Bodrum Kat Kolon 7	14	13.78	7.82	16
8	Bodrum Kat Perde 1	10	9.76	9.12	20
9	Bodrum Kat Perde 2	10	9.69	9.12	17

Aşağıda verilen Schmitd okuma değerleri sonrası betonun verdiği tepkiye göre karot alınan kolonlar belirlenmiştir. Şekil 24'te schmitd çekici ile beton değerleri okunmuş ve Tablo 13'te verilen değerler elde edilmiştir. Daha sonra en kötü sonucu veren betonlardan karot alınmış, en elverişsiz beton sonucuna göre beton değeri ve elastisite modülü belirlenerek analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 24. Taşıyıcı elemanlarda gerçekleştirilen schmitd çalışmaları

Tablo 13. Bodrum kat, zemin kat ve 1.normal kat schmitd okuma değerleri

Sıra No	Yapı Elemanı	Vuruş Açısı	Vuruş Değerleri (R)										ORT. R Değeri	MİN. R Değeri
			1	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10		
1	B.K. Kolonu	0°	34	33	34	34	34	33	34	35	33	33	33,7	33
2	B.K. Kolonu	0°	35	35	36	34	35	36	35	35	36	35	35,2	34
3	B.K. Kolonu	0°	36	34	34	35	35	35	34	35	36	36	35	34
4	Zemin Kat	0°	34	34	33	34	34	35	34	34	35	34	34,1	33
5	Zemin Kat	0°	34	33	34	35	35	34	34	35	34	35	34,3	33
6	Zemin Kat	0°	33	32	33	33	34	34	33	33	32	33	33	32
7	1.Normal	0°	31	30	29	31	30	30	30	31	30	30	30,2	29
8	1.Normal	0°	31	32	31	31	31	31	30	31	31	31	31	30
9	1.Normal	0°	30	31	30	29	30	29	30	29	30	30	29,8	29

Yukarıda aşama aşama belirtilen mevcut yapıya ilişkin saha çalışmaları tamamlandıktan sonra mevcut yapının ne durum da olduğu, hangi taşıyıcı elemanların yapı için tehlike oluşturduğu ve deprem de bu taşıyıcı elemanların nasıl davranış göstereceğini kısmen de olsa belirlemek amacıyla bir sonra ki adıma geçilmiş, aşama aşama elde edilen bu çalışmalar program ortamında da tanımlanarak yapıya ilişkin iki aşamalı deprem analizlerine başlanmıştır.

## 2.2. Taşıyıcı Elemanlarda Güçlendirme Çalışmaları

Şekil 25-30'da değerlendirilmesi yapılmış mevcut eğitim kurumunun yetersiz kalan taşıyıcı elemanlarında uygulanmış güçlendirme çalışmalarının uygulama aşamaları görülmektedir. Kolonlarda mantolama, perde ilavesi gibi aşama aşama gerçekleştirilen güçlendirme çalışmaları şekillerde sunulmaktadır.



Şekil 25. Kolonlar arasında epoksi ile perde uygulaması



Şekil 26. L kesitli kolonda gerçekleştirilen mantolama işlemi



Şekil 27. Kolonda mantolama ve perde ilavesi uygulaması



Şekil 28. Epoksi uygulaması ile mantolama işlemi



Şekil 29. Güçlendirme sonrası yapılan çalışmalar



Şekil 30. Güçlendirme sonrası kolonlarda yapılan mantolama işlemler

### **3. BULGULAR ve İRDELEMELER**

#### **3.1. Mevcut Betonarme Eğitim Kurumunun Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Adımları**

Bu bölümde, ABYYHY-1975 yönetmeliğine göre 1996 yılında inşa edilen İstanbul ili Eyüp ilçesinde yer alan mevcut bir okul binasının TBDY-2018 göre yapılacak olan durum değerlendirilmesine ilişkin bilgiler verilmiştir. Mevcut okul binasının doğrusal analizde eşdeğer deprem yükü yöntemi, doğrusal olmayan analizde ise itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine göre analizler gerçekleştirilmiştir. Aynı analizler mevcut binanın güçlendirilmiş hali için de gerçekleştirilmiş ve analiz çalışmaları bu bölüm de sunulmuştur. Gerçekleştirilen analiz sonuçları mukayese edilerek mevcut binaların güçlendirilmesine ilişkin durum değerlendirilmesi yapılmıştır.

##### **3.1.1. Yapıya İlişkin Genel Bilgiler**

Yukarıda gerçekleştirilen çalışmalar sonucu taşıyıcı sistemi ve beton sınıfı belirlenmiş yapının elde olan bilgiler doğrultusunda SAP 2000 modelinin çizim aşamalarına geçilmiştir.

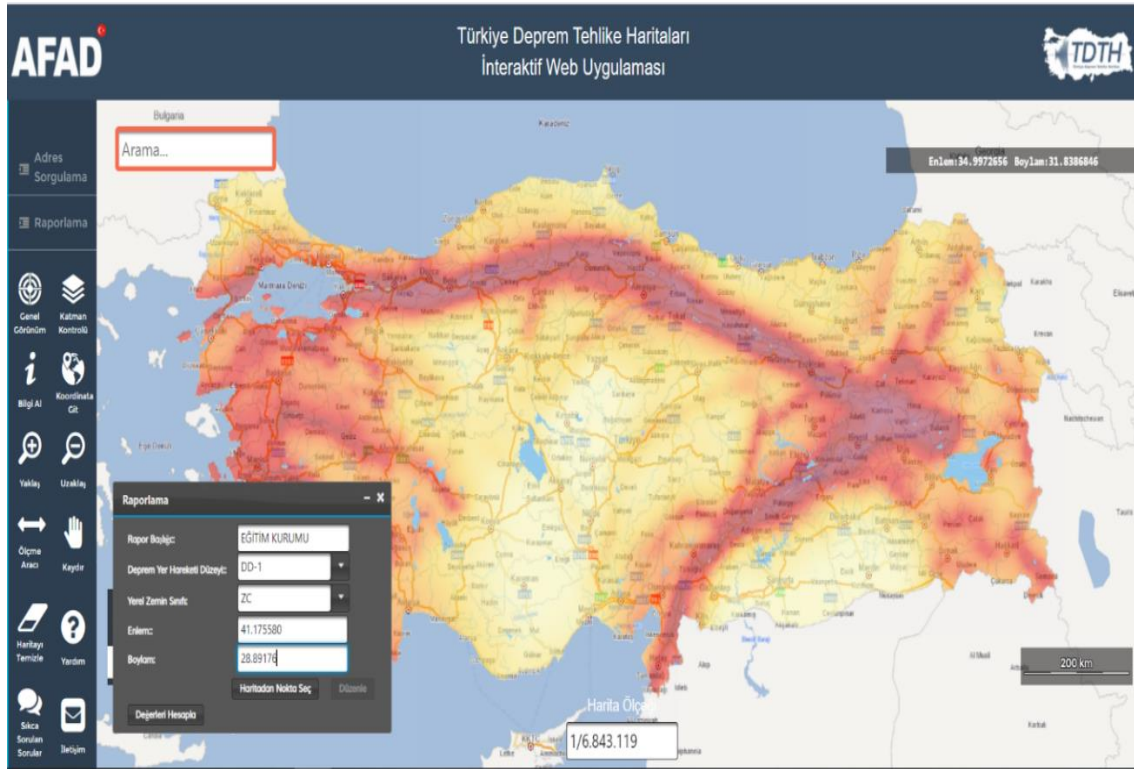
- Bina Kat Sayısı: Bodrum Kat+Zemin Kat+Normal Kat
- Zemin Sınıfı: ZC
- Enlem/Boylam: 41.17558<sup>0</sup>  
Boylam: 28.89176<sup>0</sup>
- Deprem Tasarım Sınıfı: 1a
- Bina Yükseklik Sınıfı: 7 (Hn:10.8)
- Kat Yüksekliği: Tüm katlar 3.36 m yüksekliğindedir.
- Performans Hedefleri: DD-1/DD-3  
KH/SH (Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım)

##### **3.1.2. Tasarım Spektrumu ve Deprem Parametreleri**

Yönetmelikte gerçekleşen köklü değişim sonrası deprem yönetmeliği yapıların bulunduğu konumlara göre spektrum eğrilerinin oluşturulmasına ilişkin bilgilere yer vermiştir. Bölüm 1'de açıklaması yapılan ve yapı için belirlenmiş olan deprem düzeyleri ve harita spektral katsayılarına, yerel zemin etki katsayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Mevcut yapının tam koordinat bilgileri mevcut olduğundan yeni yönetmelikle birlikte

hazırlanan <https://tdth.afad.gov.tr> sitesi vasıtasıyla deprem düzeyi ve yerel zemin sınıfına göre kolay bir şekilde tasarım sınıfı elde edilebilir. DD-1 Deprem düzeyine göre ve ZC zemin sınıfı için  $41.17558^0$  enleminde ve  $28.89176^0$  boylamında bulunan yapının bilgileri elde edilmiştir.

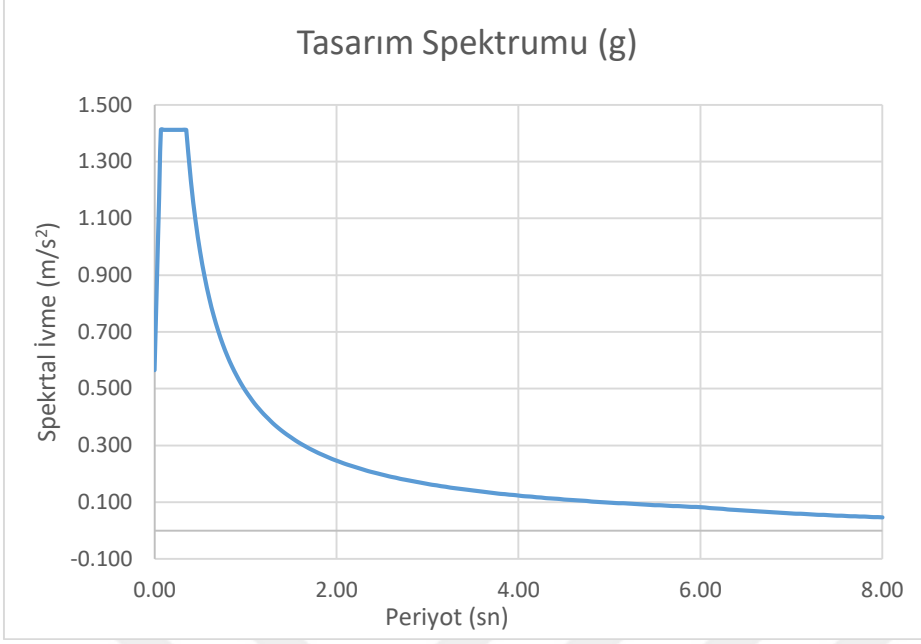
Şekil 31’de mevcut eğitim kurumuna ilişkin bilgilerin Türkiye Deprem Tehlike Haritasından (TDTH) elde edilmesi verilmektedir.



Şekil 31. Türkiye deprem tehlike haritası koordinat bilgilerinin girilmesi

Siteden alınan bilgiler doğrultusunda yapının mevcut konumuna ait bilgiler PGA değeri 0.483 g,  $S_s$  değeri 1.177 g,  $S_1$  değeri 0.328 g,  $F_s$  değeri 1.20,  $F_1$  1.50 olarak rapordan elde edilmiştir. Yukarıda elde edilen değerler kullanılarak yönetmeliğin vermiş olduğu formüller kullanılarak  $S_{DS}$  değeri 1.412,  $S_{D1}$  değeri de 0.492 olarak hesaplanmıştır. Tasarım spektrumlarının köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  değerleri sırasıyla 0.070 s ve 0.348 s olarak rapordan alınmıştır.

Şekil 32’de rapordan elde edilen tasarım spektrumu görülmektedir.



Şekil 32. Yatay elastik tasarım spektrumu

### 3.1.3. Çatlamış Kesite Ait Etkin Kesit Eğilme Rijitliklerinin Tanımlanması

TBDY-2018 deprem yönetmeliğininde tanımlanmış olduğu değerler kullanılarak eğilme etkisindeki taşıyıcı elemanlara ait etkin kesit rijitliklerinin tanımlanması gerektiği belirtilmiştir. SAP 2000’de bu değerlerin tanımlanmasına ilişkin sırasıyla kolon, kiriş ve döşemelere ait örnekler Şekil 33-35’de gösterilmektedir.

Assign Frame Property Modifiers

Property Modifiers for Analysis

Cross-section (Axial) Area	1
Shear Area in 2 Direction	1
Shear Area in 3 Direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2-Axis	0.35
Moment of Inertia about 3-Axis	0.35
Mass	1
Weight	1

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 33. Kirişlere ait etkin rijitlik çarpanının tanımlanması

Assign Frame Property Modifiers

Property Modifiers for Analysis

Cross-section (Axial) Area	1
Shear Area in 2 Direction	1
Shear Area in 3 Direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2-Axis	0.7
Moment of Inertia about 3-Axis	0.7
Mass	1
Weight	1

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 34. Kolonlara ait etkin rijitlik çarpanının tanımlanması

### ✪ Assign Area Stiffness Modifiers

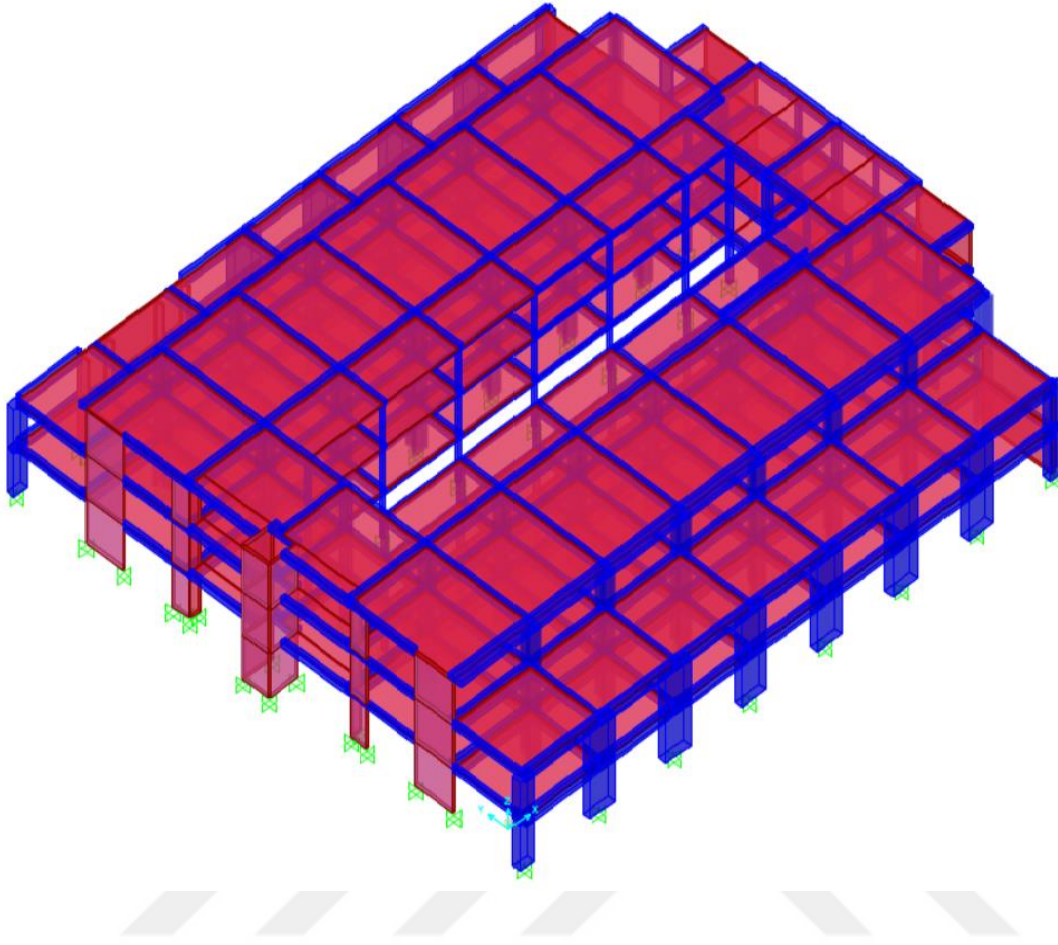
Stiffness Modifiers for Analysis	
Membrane f11 Modifier	0.25
Membrane f22 Modifier	0.25
Membrane f12 Modifier	0.25
Bending m11 Modifier	0.25
Bending m22 Modifier	0.25
Bending m12 Modifier	1
Shear v13 Modifier	1
Shear v23 Modifier	1
Mass	1
Weight	1

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 35. Döşemelere ait etkin rijitlik çarpanının tanımlanması

Statik projesinden yararlanılarak çizimi gerçekleştirilen ve saha çalışmaları sonrası elde edilen sonuçlar neticesinde beton ve donatısı girilen modelin SAP 2000 ile çizimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 36'da mevcut yapının üç boyutlu sonlu eleman modeli verilmektedir.

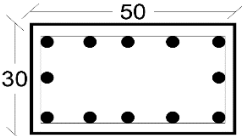
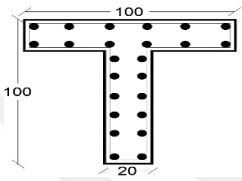
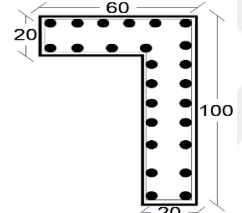
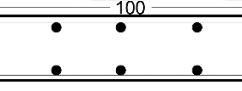
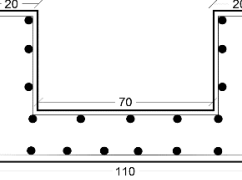
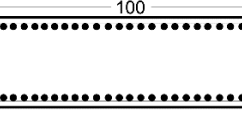
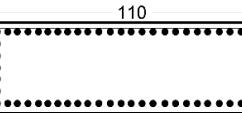
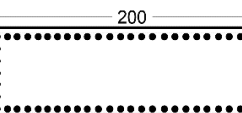
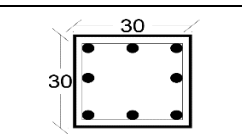


Şekil 36. Mevcut okul binasının 3D sonlu eleman modeli

Mevcut yapı tek doğrultu da asmolen döşeme tipine sahiptir. Bu durum bazı alanlarda değişiklik göstermektedir. Nervürlere ait döşeme kalınlığı D7'dir. Diğer bazı kısımlarda D12 ve D16 cm kalınlığında plak döşemeler mevcuttur. Betonarme yapı elemanlarının zati ağırlıkları yazılım programlarına betonarmenin birim hacim ağırlığı  $25 \text{ kN/m}^3$  alınarak analiz sırasında göz önüne alınması sağlanmıştır. Döşeme üzerine gelen zati yükler değişkenlik göstermekle birlikte D7 cm ve D16 cm kalınlığı olan döşemelerde  $g=1.5 \text{ kN/m}^2$ , D12 cm kalınlığı olan döşeme de  $1.9 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır. Tüm döşemelerde hareketli yük  $q=5 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır. Farklı kirişler kullanılmasından kaynaklı olarak kirişlere gelen duvar yükleri farklılık göstermektedir. K65/37 ait duvar yükü  $G=12.9 \text{ kN/m}$  girilmiştir. En üst katta duvar yükü tanımlanmamıştır.

Tablo 14’de mevcut yapıya ait kolon detayları gösterilmektedir. Güçlendirme yapılan eğitim binasında şekilleri verilen kolonlarda güçlendirme çalışmaları yapılmıştır.

Tablo 14. Mevcut yapıya ait kolon detayları

Kolon Kesitleri	Kolon Boyutları (m)	Boyuna Donatı	Etriye Donatısı	Paspayı (cm)
	S(30*50)	12Ø16	Ø10/15	3
	S(TT)	25Ø16	Ø10/15	
	S(AL)	25Ø16	Ø10/15	
	S(20*100)	12Ø16	Ø10/15	
	S60	25Ø16	Ø10/15	
	S(100*60)	28Ø16	Ø10/15	
	S(110*60)	30Ø16	Ø10/15	
	S(200*60)	50Ø16	Ø10/15	
	S(30*30)	8Ø16	Ø10/15	

### 3.2. Mevcut Yapının Düzensizlik Kontrolleri

Mevcut yapının Sta4cad'de yapılan analiz sonrası elde edilen burulma düzensizliği kontrolleri ile ilgili bilgiler Tablo 15-16 verilmektedir. Sap2000 programı ile yapılan değerlendirmelerde periyot değerlerinin ve deplasman değerlerinin Sta4cad ile birbirine yakın sonuçların elde edilmiş olmasından kaynaklı düzensizlik sonuçları aşağıdaki gibidir.

Tablo 15. X yönü düzensizlik kontrolleri

Kat	$\Delta X$ düst (m)	$\Delta X$ dalt (m)	$\Delta X$ ort.	nbi	nki	R/I $\times\Delta x$ /h	$\theta_i$
Normal Kat	0.008473	0.008668	0.008571	1.01	0	0.01032 (✓)	0.00789 (✓)
Zemin Kat	0.004106	0.004484	0.004295	1.04	0.5	0.00534 (✓)	0.00606 (✓)
Bodrum Kat	0.001366	0.001485	0.001426	1.08	0.35	0.00191 (✓)	0.00284 (✓)

Tablo 16. Y yönü düzensizlik kontrolleri

Kat	$\Delta Y$ düst (m)	$\Delta Y$ dalt (m)	$\Delta Y$ ort.	nbi	nki	R/I $\times\Delta y$ /h	$\theta_i$
Normal Kat	0.006766	0.0037725	0.005269	1.28	0	0.00806 (✓)	0.00439 (✓)
Zemin Kat	0.005237	0.0017274	0.003482	1.5	0.66	0.00623 (✓)	0.00433 (✓)
Bodrum Kat	0.001863	0.0009495	0.001406	1.32	0.38	0.00193 (✓)	0.00215 (✓)

Mevcut yapıda elde edilen sonuçlar neticesinde yapının Y yönünde burulma düzensizliği görülmektedir.

### 3.3. Mevcut Yapıya İlişkin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Adımları

#### 3.3.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, çok fazla yüksekliğe sahip olamayan yapıların göz önüne alınacak olan deprem doğrultusunda yapılara ait statik davranışın taşıyıcı sistemin hakim titreşim moduna ait davranışı ile temsil edileceği doğrusal analiz yöntemidir. Bu davranış yöntemi yapıların birinci mod kütle katılım oranının yüksek olmasından kaynaklı olarak da birinci modun etkisinin göz önünde tutulduğu bir analiz yöntemi de denebilir.

Fakat TBDY-2018 yönetmeliği 2.7.1.1. maddelerinde tanımlandığı gibi eşdeğer deprem yükü yöntemini uygulamada bazı sınırlamalar getirmiştir. Aşağıda hesap adımlarında gösterildiği üzere eşdeğer deprem yükü yöntem adımları şekilsel ve anlatımsal olarak gösterilmiştir.

Yönetmeliğin vermiş olduğu ve yukarıdaki paragrafta verilmiş olan bilgiler göz önünde bulundurularak Tablo 17’de periyot değerleri elde edilerek X ve Y yönü için eşdeğer deprem yükü hesabı yapılmıştır.

Tablo 17. Mevcut binanın periyot değerleri ve kütle katılım oranları

Mod sayısı	Periyot	X yönü kütle katılım oranı (UX)	Y yönü kütle katılım oranı (UY)	Toplam UX	Toplam UY
Mod 1	0.464	<b>0.357</b>	0.265	0.357	0.265
Mod 2	0.421	0.270	<b>0.3804</b>	0.627	0.646
Mod 3	0.258	0.001	0.088	0.628	0.734
Mod 4	0.173	0.256	4.892E-05	0.883	0.734
.....	.....	.....	.....	.....	.....
Mod 18	0.074	2.352E-07	1.119E-05	0.885	0.940
Mod 19	0.073	4.575E-11	1.827E-09	0.885	0.940
Mod 20	0.073	5.051E-10	1.432E-09	<b>0.885</b>	<b>0.940</b>

$$T_p^{(X)} = C_t \times (H_n)^{3/4} = 0.07 \times (10.8)^{3/4}$$

$$T_p^{(X)} = 0.41703$$

$$V_t E^{(X)} = m_t \times S_a R(T) \geq 0.0.4 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g$$

$$= 6598 \times 1.061 \times 9.81 = 68675 \text{ kN}$$

$$S_a R(T) = S_{D1} / T = 0.492 / 0.46383 = 1.061$$

$$(T_B = 0.348 \leq T = 0.464 \leq 6)$$

$$R_a(T) = 1$$

$$V_t E^{(Y)} = m_t \times S_a R(T) \geq 0.0.4 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g$$

$$= 6598 \times 1.168 \times 9.81 = 75600 \text{ kN}$$

$$SaR(T)=S_{D1}/T = 0.492/0.42110= 1.168$$

$$(T_B=0.348 \leq T=0.421103 \leq 6)$$

$$R_a(T)= 1$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 \times 3 \times 68675 = 1545$$

$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0.0075 \times 3 \times 75600 = 1701$$

Eşdeğer deprem yükü dağılımı uygulanırken her kat hizasına uygulanır ve kütle merkezine uygulanacak olan ek dışmerkezlilik ihmal edilir. Tablo 18’de Eşdeğer deprem yükünün kat hizalarına olan dağılımları gösterilmektedir. Aşağıda ki değerler kat hizalarına dağıtılmış bir sonra ki aşama olan itme analizi adımlarında dikkate alınmıştır.

Tablo 18. Eşdeğer deprem yükü dağılımları

Kat	hi	Hi	M	Wi	Wi*Hi	Oran	FiX	FiY
Normal kat	3.36	10.08	1693	16608	167412	0.408806	28988	31911
Zemin Kat	3.36	6.72	2440	23936	160853	0.392788	26368	29027
Bodrum Kat	3.36	3.36	2465	24182	81250	0.198406	13319	14662
			<b>6598.0</b>	<b>64726.4</b>	<b>409514.9</b>	<b>1.0000</b>		
							68675	75600

### 3.3.2. Mevcut Yapıya İlişkin Tek Modlu İtme Analizi

#### 3.3.2.1. Doğrusal Olmayan Hesap Adımlarına İlişkin Plastik Mafsalların Tanımlanması

Mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem etkisi altında yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme ve plastik dönme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet taleplerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu talep büyüklükleri, şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Doğrusal olmayan analiz adımlarında plastik mafsallıkların özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Yapıda oluşacak plastik yerdeğiştirmelerin kesit uç bölgelerinde toplandığı ve bu kesitlerin diğer kısımlarında yerdeğiştirmelerin elastik kaldığı kabulüne

dayanmaktadır. Yani taşıyıcı elemanların doğrusal elastik sınırı aşıldıktan sonra doğrusal olmayan davranış şekillerinin malzeme dayanımları ve bina elemanlarının kesit özelliklerine göre belirlenen hesap adımlarıdır. Plastik mafsallar kolon ve kiriş taşıyıcı elemanlarda mesnet bölgelerine yakın yerlerde oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Kolon ve kirişlere ait plastik mafsal değerlerinin belirlenmesi ve tanımlanan plastik mafsal değerlerinin kirişler M3, kolonlarda P-M2-M3 olarak programa tanıtılması sırasıyla EK A, B, C ve D bölümlerinde detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

### 3.3.2.2. İtme Analizi için Gerekli Olan Yüklemeler ve Doğrusal Olmayan Analizde Malzeme Özellikleri

Doğrusal olmayan hesap adımlarında gerçekleştirilen analizlerde, malzeme özelliklerinin yani beton ve donatı çeliğinin de doğrusal olmayan özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Malzemeye göre farklılık gösteren doğrusal olmayan özelliklerin tanımlanması Şekil 37-42 gösterilmektedir.

The image shows a software interface for defining material properties for concrete. The dialog box is titled "Material Property Data" and contains several sections for inputting material characteristics. The "Material Name" is set to "C18.63", "Material Type" is "Concrete", and "Symmetry Type" is "Isotropic". The "Modulus of Elasticity" (E) is 21581242, "Weight and Mass" section includes "Weight per Unit Volume" (25) and "Mass per Unit Volume" (2.5493), and "Units" are set to "KN, m, C". The "Poisson" ratio (U) is 0.2. The "Coeff of Thermal Expansion" (A) is 1.200E-05. The "Shear Modulus" (G) is 8992184. The "Other Properties For Concrete Materials" section includes "Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>" (18630) and "Expected Concrete Compressive Strength" (18630). There is an unchecked checkbox for "Lightweight Concrete" and a "Shear Strength Reduction Factor" field. At the bottom, there are buttons for "Advanced Material Property Data", "Nonlinear Material Data...", "Material Damping Properties...", "Time Dependent Properties...", and "Thermal Properties...".

Şekil 37. Beton için tanımlanan malzemenin doğrusal olmayan özelliği

**Nonlinear Material Data**

Edit

Material Name: C18.63 Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: 0. Dilatational Angle: 0.

Units: KN, m, C

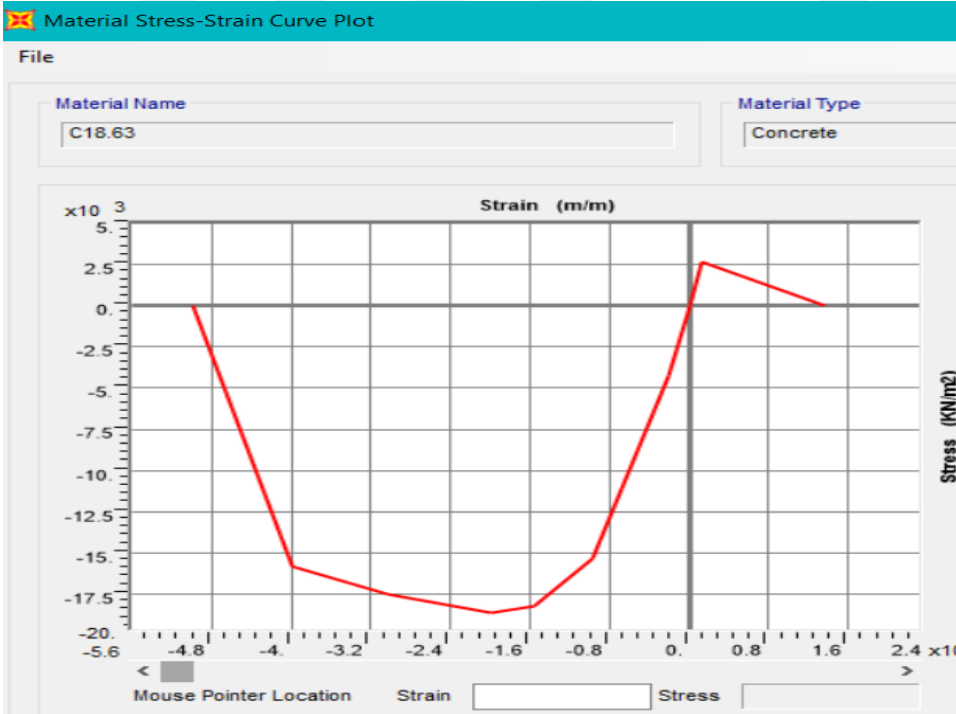
Stress-Strain Curve Definition Options:  Parametric  User Defined Simple Convert To User Defined

Parametric Strain Data: Strain At Unconfined Compressive Strength,  $f_c$ : 2.000E-03 Ultimate Unconfined Strain Capacity: 5.000E-03 Final Compression Slope (Multiplier on E): -0.1

Show Stress-Strain Plot...

OK Cancel

Şekil 38. C19/20 (C18.6 MPa) betonuna ait doğrusal olmayan malzemenin tanımlanması



Şekil 39. C19/20 (C18.6 MPa) betonuna ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği

**Material Property Data**

Material Name: S420

Material Type: Rebar

Symmetry Type: Uniaxial

Modulus of Elasticity: E1 = 2.000E+08

Weight and Mass: Weight per Unit Volume = 78, Mass per Unit Volume = 7.9538

Units: KN, m, C

Poisson: U12 = 0.

Coeff of Thermal Expansion: A1 = 1.200E-05

Shear Modulus: G12 = 0.

Other Properties For Rebar Materials:

Minimum Yield Stress, Fy	420000.
Minimum Tensile Stress, Fu	550000.
Expected Yield Stress, Fye	420000.
Expected Tensile Stress, Fue	550000.

Advanced Material Property Data:

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...  
Time Dependent Properties... Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 40. S420 çeliğine ait doğrusal olmayan malzemenin tanımlanması 1

**Nonlinear Material Data**

Edit

Material Name: S420

Material Type: Rebar

Hysteresis Type: Kinematic

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle, Dilatational Angle

Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options:

Parametric  User Defined

Simple

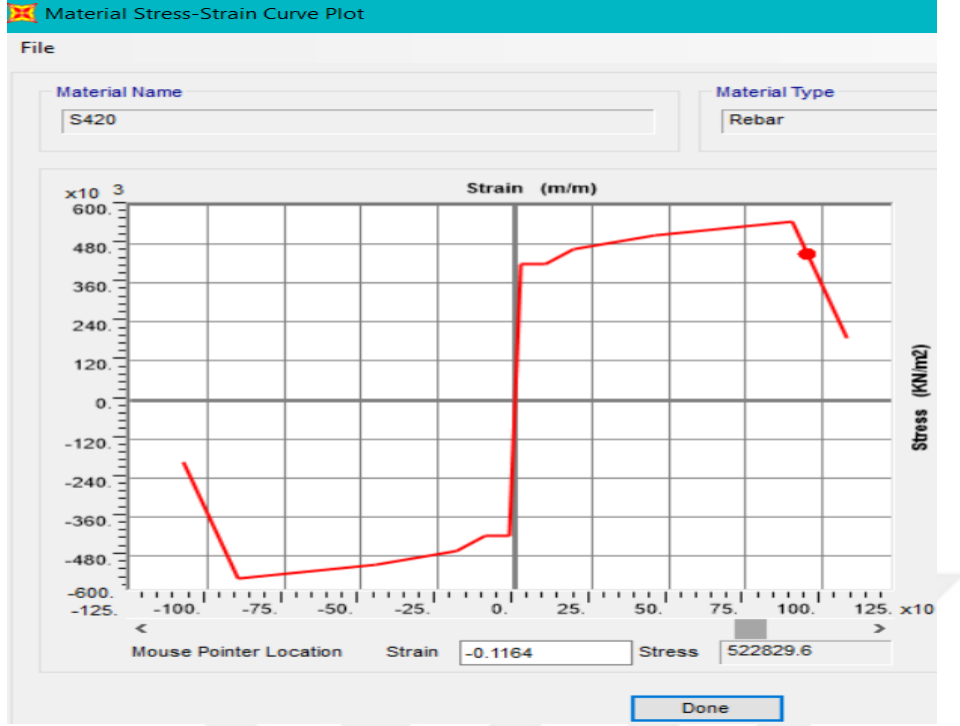
Parametric Strain Data:

Strain At Onset of Strain Hardening	0.01
Ultimate Strain Capacity	0.09
Final Slope (Multiplier on E)	-0.1

Use Caltrans Default Controlling Strain Values (Bar Size Dependent)

OK Cancel

Şekil 41. S420 çeliğine ait doğrusal olmayan malzemenin tanımlanması 2

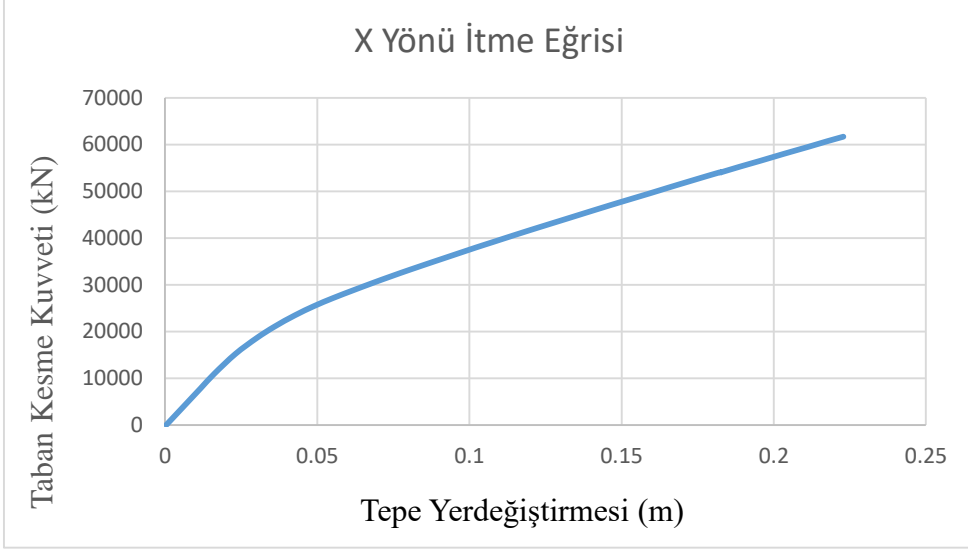


Şekil 42. S420 çeliğine ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği

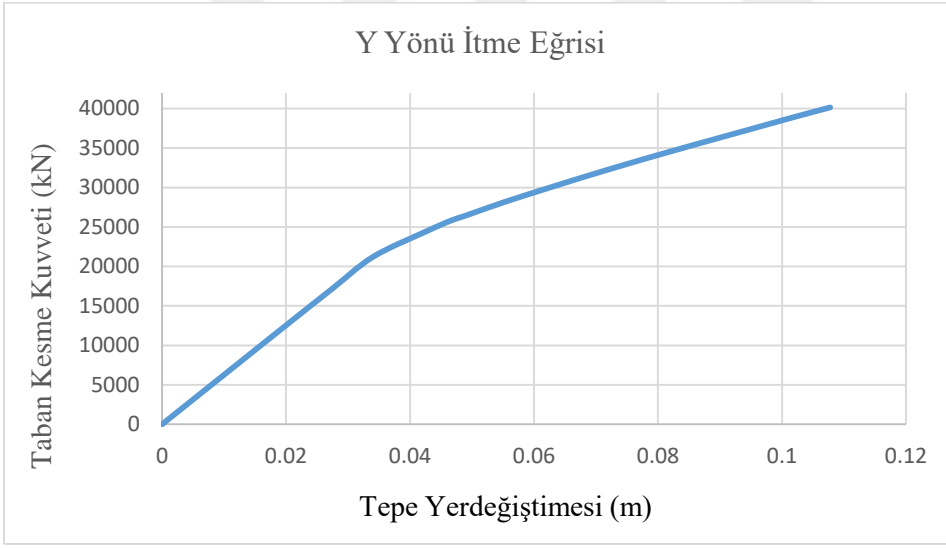
Tanımlaması gerçekleştirilen malzemenin tek modlu itme analiz adımları için elde edilen eşdeğer deprem yükü değerlerinin mevcut okul binasının X ve Y doğrultularında deprem yükleri (POX ve POY) tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Kat hizalarına uygulanan eşdeğer deprem yükü değerleri ile değerlendirilmesi yapılacak olan yapının yanal yüklemeler altındaki davranışı ve yapıya ait durum incelenir.

### 3.3.2.3. Modal Kapasite Eğrisi (İtme Eğrisi) Elde Edilmesi

Başlangıç adımı olarak düşey yüklerin göz önünde bulundurulduğu G+nQ tanımlaması yapılan analiz sonrası elde edilen kapasite veya itme eğrisi olarak adlandırılan taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirmeleri X ve Y yönleri için Şekil 43-44'te verilmiştir.



Şekil 43. X yönü kapasite eğrisi



Şekil 44. Y yönü kapasite eğrisi

### 3.3.2.4. Mevcut Yapının Modal Kapasite Diyagramlarının Belirlenmesi

Yukarıda itme eğrisi verilmiş olan mevcut yapının taban kesme kuvvetleri ve tepe yerdeğiştirmelerinden hareketle binalara ait nasıl davranış gösterebileceğine ilişkin bina performans noktasının belirlenmesi aşağıdaki şekilde olmaktadır.

Bina performans hedeflerinin X ve Y yönü deprem doğrultusu için modal yerdeğiştirme ve modal sözde ivme değerlerinin hesapları Tablo 19-20'de verilmektedir.

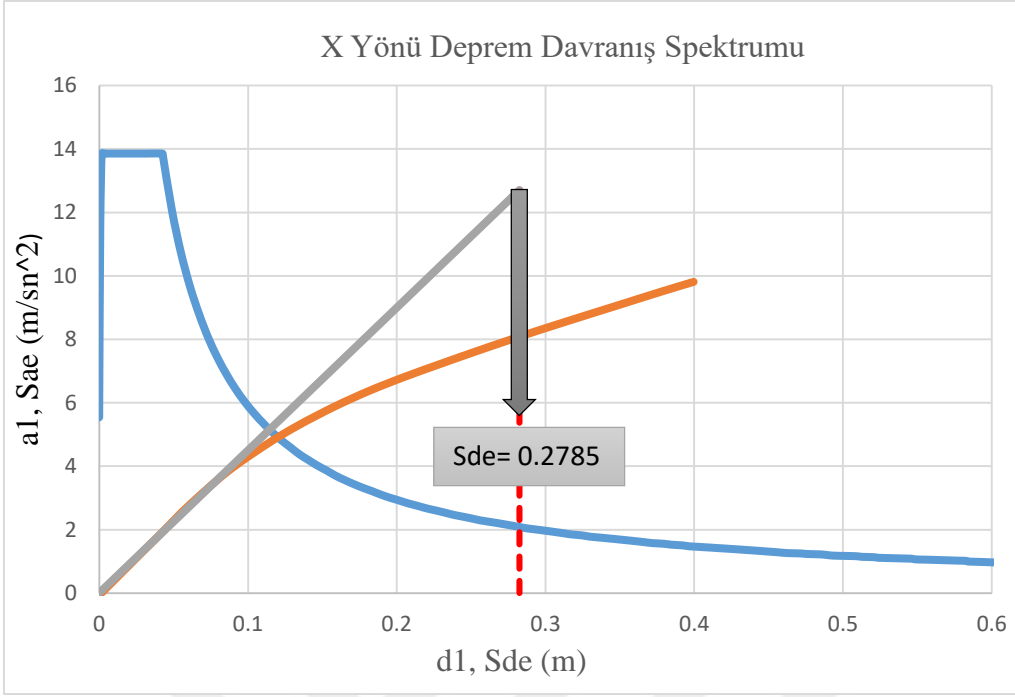
Tablo 19. X yönü deprem doğrultusu modal kapasite diyagramının koordinatları

Yer değiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Etkili Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1. modun katılım çarpanı	Modal Yer değiştirme	Modal İvme
$u^{(i)}_{xN1}$ (m)	$V^{(i)}_{x1}$ (kN)	$M^*x1$	$\Phi_{xn1}$	$\Gamma_{x1}$	$d^{(i)}_1$ (m)	$a^{(i)}_1$ (m/sn <sup>2</sup> )
0.00039	0	3989	0.02	13.03	0.001	0.000
0.00604	3924	3989	0.02	13.03	0.022	0.984
0.01169	7848	3989	0.02	13.03	0.043	1.967
0.01620	10982	3989	0.02	13.03	0.060	2.753
0.02315	15222	3989	0.02	13.03	0.086	3.816
0.03015	18623	3989	0.02	13.03	0.112	4.669
0.03592	21028	3989	0.02	13.03	0.133	5.272
0.04261	23442	3989	0.02	13.03	0.158	5.877
0.04891	25425	3989	0.02	13.03	0.181	6.374
0.05517	27146	3989	0.02	13.03	0.205	6.805
0.06190	28835	3989	0.02	13.03	0.229	7.229
0.06799	30327	3989	0.02	13.03	0.252	7.603
0.07432	31820	3989	0.02	13.03	0.276	7.977
0.08064	33262	3989	0.02	13.03	0.299	8.339
0.08851	34996	3989	0.02	13.03	0.328	8.773
0.09444	36286	3989	0.02	13.03	0.350	9.097
0.10213	37965	3989	0.02	13.03	0.379	9.518
0.10778	39149	3989	0.02	13.03	0.400	9.815
0.11504	40679	3989	0.02	13.03	0.427	10.198
0.12174	42057	3989	0.02	13.03	0.451	10.544
0.12968	43666	3989	0.02	13.03	0.481	10.947
0.13663	45073	3989	0.02	13.03	0.507	11.299
0.14412	46589	3989	0.02	13.03	0.534	11.680
0.15004	47762	3989	0.02	13.03	0.556	11.974
0.15923	49552	3989	0.02	13.03	0.590	12.422
0.16544	50793.356	3989	0.02	13.03	0.613	12.734
0.17115	51914.791	3989	0.02	13.03	0.635	13.015
0.17759	53167.065	3989	0.02	13.03	0.658	13.329
0.18229	54058.917	3989	0.02	13.03	0.676	13.552
0.18248	54022.639	3989	0.02	13.03	0.677	13.543
0.18250	54025.002	3989	0.02	13.03	0.677	13.544
0.18250	54025.212	3989	0.02	13.03	0.677	13.544
0.18250	54023.75	3989	0.02	13.03	0.677	13.543
0.18250	54023.359	3989	0.02	13.03	0.677	13.543
0.18872	55239.321	3989	0.02	13.03	0.700	13.848
0.19580	56564.64	3989	0.02	13.03	0.726	14.180
0.20314	57984.512	3989	0.02	13.03	0.753	14.536
0.21135	59514.505	3989	0.02	13.03	0.784	14.920
0.21756	60708.833	3989	0.02	13.03	0.807	15.219
0.22287	61682.802	3989	0.02	13.03	0.826	15.464

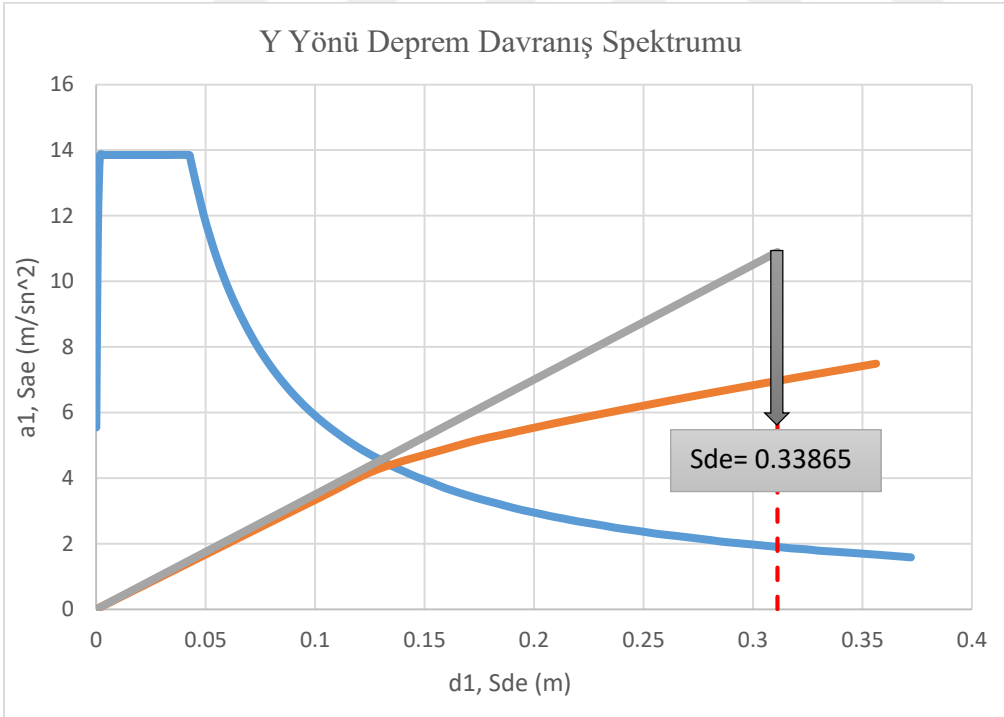
Tablo 20. Y Yönü deprem doğrultusu modal kapasite diyagramının koordinatları

Yer değiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Etkili Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1. modun katılım çarpanı	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
$u^{(i)}_{xN1}$ (m)	$V^{(i)}_{x1}$ (kN)	$M^*x1$	$\Phi_{xn1}$	$\Gamma_{x1}$	$d^{(i)}_1$ (m)	$a^{(i)}_1$ (m/sn <sup>2</sup> )
0.0000057	0.00	4977	0.02	13.81	0.000	0.000
0.00623	3905.33	4977	0.02	13.81	0.023	0.785
0.012454	7810.66	4977	0.02	13.81	0.047	1.569
0.01428	8956.30	4977	0.02	13.81	0.054	1.800
0.020739	13001.46	4977	0.02	13.81	0.078	2.612
0.027454	17175.65	4977	0.02	13.81	0.104	3.451
0.034089	21242.13	4977	0.02	13.81	0.129	4.268
0.042611	24442.00	4977	0.02	13.81	0.161	4.911
0.046611	25814.34	4977	0.02	13.81	0.176	5.187
0.048913	26424.97	4977	0.02	13.81	0.184	5.309
0.055173	28146.32	4977	0.02	13.81	0.208	5.655
0.061895	29835.27	4977	0.02	13.81	0.233	5.995
0.067999	31327.02	4977	0.02	13.81	0.256	6.294
0.074315	32819.91	4977	0.02	13.81	0.280	6.594
0.080638	34262.18	4977	0.02	13.81	0.304	6.884
0.088511	35995.89	4977	0.02	13.81	0.334	7.232
0.094437	37285.94	4977	0.02	13.81	0.356	7.492
0.102129	38965.15	4977	0.02	13.81	0.385	7.829
0.10778	40149.28	4977	0.02	13.81	0.406	8.067

Modal kapasite eğrisi ve yapı davranış spektrumunun karşılaştırılması ile elde edilen tepe yerdeğiştirmesi ile yapının hem X hem de Y yönü performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Çakıştırmaya dair işlem adımlarının gösterilmiş olduğu şekiller Şekil 45-46'de gösterilmektedir.



Şekil 45. X Yönü davranış spektrumu



Şekil 46. Y Yönü davranış spektrumu

### 3.3.3. Mevcut Binanın Performans Değerlendirmesi

Gerçekleştirilen itme analizi sonrası, yapı performansının değerlendirilmesine ilişkin elde edilen sonuçlar yapının genel durumu hakkında bize bilgi verebilmektedir. Yapının analiz sonrası plastik mafsallık bölgelerinde depreme karşı nasıl bir reaksiyon gösterdiği, taşıyıcı elemanların hangi hasar durumlarında kaldığı elde edilen sonuçlarla birlikte değerlendirilmiştir.

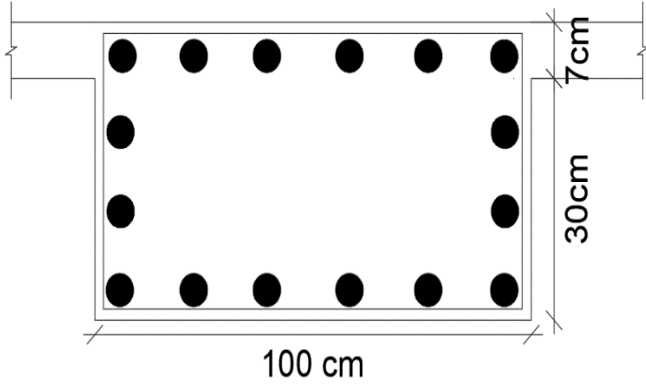
#### 3.3.3.1. Kirişlere Ait Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

İtme analizi sonrası yapının davranışının incelendiği noktalardan biri kolon ve döşemeler arası yük aktarımını sağlayan kirişlerdir. Sadece M3 olarak tanımlanan kirişlere ait plastik mafsallık durumları aşağıda analiz sonrası elde edilen verilerle birlikte sunulmuştur.

S420 donatı çeliği sınıfı kullanılan yapıda donatı çeliğine ait bilgiler Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre beton ve donatı çeliğine ait birim şekil değiştirme sınırları Tablo 21'de verilmektedir.

Tablo 21. Beton ve donatı çeliğine ait izin verilen birim şekil değiştirme sınırları

$(\epsilon_c)_{GÖ}$	$(\epsilon_c)_{KH}$	$(\epsilon_c)_{SH}$
0.0082	$0.0082 \cdot 0.75 = 0.0062$	0.0025
$(\epsilon_s)_{GÖ}$	$(\epsilon_s)_{KH}$	$(\epsilon_s)_{SH}$
0.032	$0.032 \cdot 0.75 = 0.024$	0.0075



Şekil 47. K100/37 kirişine ait kesit

3. katta bulunan bir adet K100/37 kirişinin X yönü itme analizine ait (POX) beton ve donatı çeliği hasar sınırı durumu aşağıda gösterilmektedir.

$$L_p = 37/2 = 18.5 \text{ cm}$$

$$\Phi_p = 0.01929/0.185 = 0.1043 \text{ rad/m}$$

$$\Phi_t = 0.1043 + 0.00892 = 0.1132 \text{ SAP 2000 programından } 1.132 * 10^{(-1)} \text{ değerine karşılık gelen;}$$

$$(\epsilon_c)_{SH} < \epsilon_c = 0.00273 < (\epsilon_c)_{KH}$$

$$\epsilon_s = 0.0074 < (\epsilon_s)_{SH} = 0.0075 \text{ KHB olarak belirlenmiştir.}$$

3.katta bulunan bir adet K100/37 kirişinin negatif yönlü Y yönü itme analizine ait (POY) beton ve donatı çeliği hasar sınırı durumu aşağıda gösterilmektedir.

$$L_p = 37/2 = 18.5 \text{ cm}$$

$$\Phi_p = 0.02895/0.185 = 0.1565 \text{ rad/m}$$

$$\Phi_t = 0.1565 + 0.00892 = 0.1654 \text{ SAP 2000 programından } 1.654 * 10^{(-1)} \text{ değerine karşılık gelen;}$$

$$(\epsilon_c)_{SH} < \epsilon_c = 0.00291 < (\epsilon_c)_{KH} \text{ KHB sınır hasar bölgesinde yer alır.}$$

$$\epsilon_s = 0.0082 > (\epsilon_s)_{SH} = 0.0075 \text{ KHB sınır bölgesinde yer alır.}$$

3.katta bulunan K100/37 kirişi hem pozitif hem de negatif değerleri değerlendirilmiştir. K100/37 kirişi KHB sınır hasar bölgesinde yer almaktadır.

Tablo 22. X doğrultusu deprem (POX) için 3.kat kirişlere ait hasar sınır bölgeleri

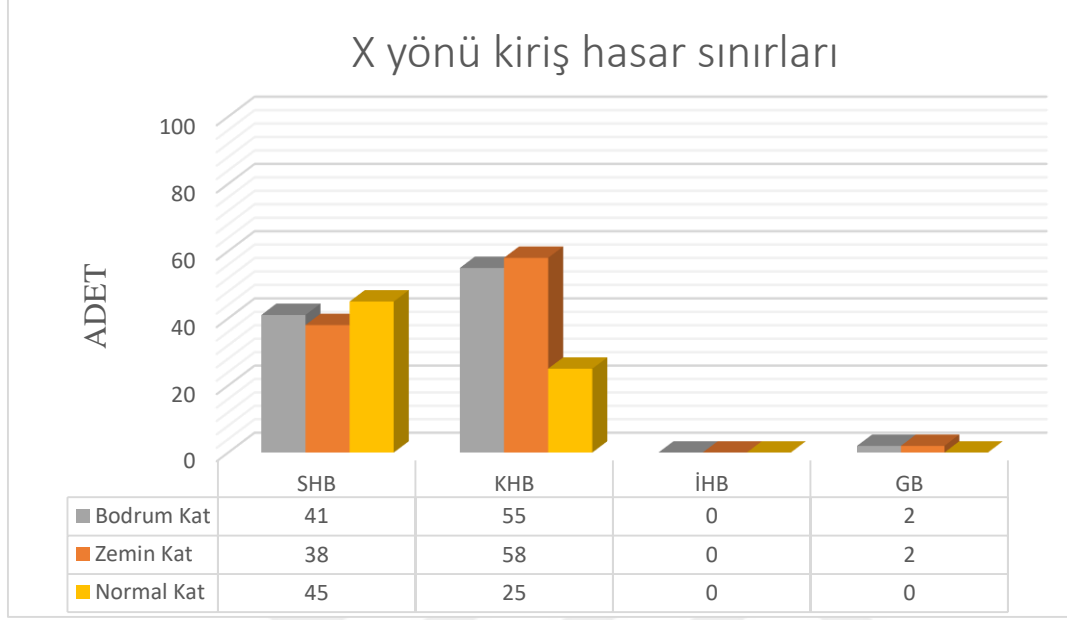
Kiriş Adı	Lp (m)	R3 (rad)	$\vartheta_p$ (rad/m)	$\vartheta_y$ (rad/m)	$\vartheta_t$ (rad/m)	$\epsilon_c$	$\epsilon_s$	Hasar Durumu
K(100/37)	0.185	0.01929	0.10427	0.00892	0.11319	0.00273	0.0074	KHB
K(100/37)		0.02895	0.15649	0.00892	0.16540	0.00291	0.0082	
K(100/37)	0.185	0.01891	0.10219	0.00892	0.11110	0.00384	0.0068	KHB
K(100/37)		0.02847	0.15387	0.00892	0.16279	0.00421	0.0071	
K(100/37)	0.185	0.01998	0.10801	0.00892	0.11693	0.00343	0.0075	KHB
K(100/37)		0.02854	0.15428	0.00892	0.16320	0.00403	0.0064	
K(100/37)	0.185	0.01997	0.10794	0.00892	0.11686	0.00353	0.0030	KHB
K(100/37)		0.02875	0.15542	0.00892	0.16434	0.00451	0.0076	
K(100/37)	0.185	0.02023	0.10933	0.00892	0.11824	0.00377	0.0072	KHB
K(100/37)		0.02942	0.15903	0.00892	0.16795	0.00427	0.0224	
K(100/37)	0.185	0.02089	0.11292	0.00892	0.12183	0.00389	0.0064	KHB
K(100/37)		0.02794	0.15100	0.00892	0.15992	0.00423	0.0060	
K(100/37)	0.185	0.01877	0.10147	0.00892	0.11039	0.00629	0.0344	KHB
K(100/37)		0.02428	0.13124	0.00892	0.14016	0.00339	0.0325	
K(100/37)	0.185	0.00491	0.02654	0.00892	0.03545	0.00529	0.0041	KHB
K(100/37)		0.01831	0.09896	0.00892	0.10787	0.00829	0.0059	
K(100/37)	0.185	0.00343	0.01852	0.00892	0.02744	0.00789	0.0046	KHB
K(100/37)		0.01819	0.09830	0.00892	0.10722	0.00479	0.0147	
K(100/37)	0.185	0.01005	0.05434	0.00892	0.06325	0.00609	0.0346	KHB
K(100/37)		0.01820	0.09839	0.00892	0.10730	0.00590	0.0041	
K(100/37)	0.185	0.00965	0.05218	0.00892	0.06110	0.00571	0.0244	KHB
K(100/37)		0.01802	0.09738	0.00892	0.10630	0.00552	0.0225	
K(100/37)	0.185	0.00955	0.05160	0.00892	0.06052	0.00533	0.0030	KHB
K(100/37)		0.01865	0.10081	0.00892	0.10973	0.00514	0.0049	
K(100/37)	0.185	0.00963	0.05206	0.00892	0.06098	0.00495	0.0252	KHB
K(100/37)		0.00880	0.04759	0.00892	0.05650	0.00476	0.0171	
K(100/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00892	0.00892	0.00457	0.0032	KHB
K(100/37)		0.00136	0.00733	0.00892	0.01624	0.00438	0.0040	
K(15/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.01124	0.01124	0.00419	0.0244	SHB
K(15/37)		0.00000	0.00000	0.01124	0.01124	0.00489	0.0229	
K(80/37)	0.185	0.02695	0.14569	0.00906	0.15474	0.00381	0.0030	KHB
K(80/37)		0.02097	0.11333	0.00906	0.12239	0.00362	0.0043	
K(80/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00906	0.00906	0.00361	0.0076	KHB
K(80/37)		0.00763	0.04123	0.00906	0.05028	0.00342	0.0175	
K(15/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.01124	0.01124	0.00225	0.0032	SHB
K(15/37)		0.00000	0.00000	0.01124	0.01124	0.00226	0.0040	
K(100/37)	0.185	0.00520	0.02813	0.00892	0.03704	0.00690	0.0235	KHB

K(100/37)		0.02070	0.11191	0.00892	0.12082	0.00671	0.0225	
K(100/37)	0.185	0.00553	0.02988	0.00892	0.03879	0.00652	0.0096	KHB
K(100/37)		0.02112	0.11416	0.00892	0.12307	0.00433	0.0173	
K(100/37)	0.185	0.01344	0.07264	0.00892	0.08155	0.00614	0.0265	KHB
K(100/37)		0.02197	0.11875	0.00892	0.12766	0.00595	0.0142	
K(100/37)	0.185	0.01340	0.07245	0.00892	0.08137	0.00576	0.0032	KHB
K(100/37)		0.02190	0.11837	0.00892	0.12729	0.00657	0.0040	
K(100/37)	0.185	0.01341	0.07248	0.00892	0.08140	0.00638	0.0303	KHB
K(100/37)		0.02315	0.12511	0.00892	0.13402	0.00619	0.0390	
K(100/37)	0.185	0.01388	0.07503	0.00892	0.08395	0.00589	0.0027	KHB
K(100/37)		0.00918	0.04959	0.00892	0.05851	0.00381	0.0043	
K(100/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00892	0.00892	0.00501	0.0276	KHB
K(100/37)		0.00028	0.00151	0.00892	0.01042	0.00482	0.0224	
K(100/37)	0.185	0.01027	0.05549	0.00892	0.06440	0.00464	0.0219	KHB
K(100/37)		0.01469	0.07939	0.00892	0.08830	0.00445	0.0283	
K(100/37)	0.185	0.00817	0.04414	0.00892	0.05305	0.00427	0.0247	KHB
K(100/37)		0.01962	0.10604	0.00892	0.11496	0.00408	0.0129	
K(100/37)	0.185	0.01140	0.06164	0.00892	0.07055	0.00390	0.0238	KHB
K(100/37)		0.01950	0.10540	0.00892	0.11432	0.00371	0.0218	
K(100/37)	0.185	0.01101	0.05952	0.00892	0.06843	0.00353	0.0029	KHB
K(100/37)		0.01936	0.10463	0.00892	0.11355	0.00334	0.0038	
K(100/37)	0.185	0.01096	0.05922	0.00892	0.06813	0.00316	0.0535	KHB
K(100/37)		0.02017	0.10902	0.00892	0.11793	0.00397	0.0542	
K(100/37)	0.185	0.01148	0.06206	0.00892	0.07097	0.00379	0.0224	KHB
K(100/37)		0.01555	0.08404	0.00892	0.09295	0.00461	0.0186	
K(100/37)	0.185	0.00802	0.04337	0.00892	0.05229	0.00342	0.0185	KHB
K(100/37)		0.02404	0.12995	0.00892	0.13886	0.00224	0.0052	
K(43/37)	0.185	0.00383	0.02071	0.00940	0.03011	0.00205	0.0153	KHB
K(43/37)		0.00000	0.00000	0.00940	0.00940	0.00187	0.0195	
K(43/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00940	0.00940	0.00247	0.0042	SHB
K(43/37)		0.00000	0.00000	0.00940	0.00940	0.00228	0.0503	
K(20/60)	0.185	0.00000	0.00000	0.00536	0.00536	0.00209	0.0519	SHB
K(20/60)		0.00000	0.00000	0.00494	0.00494	0.00220	0.0079	
K(65/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	SHB
K(65/37)		0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	
K(65/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	SHB
K(65/37)		0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	
K(65/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	SHB
K(65/37)		0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	
K(65/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	SHB
K(65/37)		0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	



K(65/37)		0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	
K(20/60)	0.3	0.00000	0.00000	0.00536	0.00536	0.00238	0.0038	SHB
K(20/60)		0.00000	0.00000	0.00494	0.00494	0.00221	0.0037	
K(20/60)	0.3	0.00000	0.00000	0.00536	0.00536	0.00205	0.0038	SHB
K(20/60)		0.00000	0.00000	0.00494	0.00494	0.00188	0.0037	
K(20/60)	0.3	0.00000	0.00000	0.00536	0.00536	0.00172	0.0038	SHB
K(20/60)		0.00000	0.00000	0.00494	0.00494	0.00155	0.0037	
K(20/60)	0.3	0.00000	0.00000	0.00536	0.00536	0.00138	0.0038	SHB
K(20/60)		0.00000	0.00000	0.00494	0.00494	0.00122	0.0037	
K(20/60)	0.3	0.00000	0.00000	0.00536	0.00536	0.00105	0.0038	SHB
K(20/60)		0.00000	0.00000	0.00494	0.00494	0.00089	0.0037	
K(65/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	SHB
K(65/37)		0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	
K(65/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	SHB
K(65/37)		0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	
K(65/37)	0.185	0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	SHB
K(65/37)		0.00000	0.00000	0.00919	0.00919	0.00241	0.0044	
K(100/37)	0.185	0.00523	0.02825	0.00892	0.03716	0.00172	0.0035	KHB
K(100/37)		0.00000	0.00000	0.00892	0.00892	0.00155	0.0039	
K(100/37)	0.185	0.00537	0.02905	0.00892	0.03796	0.00138	0.0035	KHB
K(100/37)		0.00000	0.00000	0.00892	0.00892	0.00122	0.0039	

Yukarıda bir adet kiriş için okuması verilen hasar durumunun tüm kirişler için elde edilen değerlendirmesi Şekil 48-49'da verilmiştir.

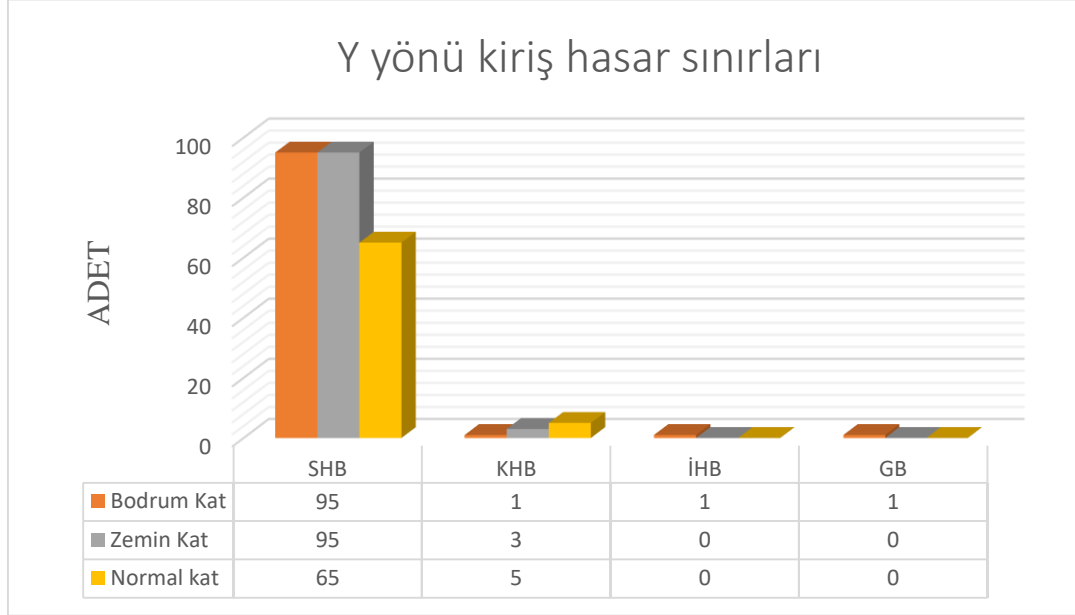


Şekil 48. X yönü doğrusal olmayan itme analizi için kiriş hasar sınırları

Şekil 48 X yönündeki kirişlerin hasar sınırlarını göstermektedir. Kirişlerin uç noktalarına atanan plastik mafsalların doğrusal olmayan davranışları için plastik dönme değerleri plastik mafsıl boylarına bölünmüştür. Elde edilen plastik eğrilik değerleri Sap2000 programından malzeme ve boyut özelliklerine göre elde edilen akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik değerleri elde edilir. Elde edilen değer malzemenin karakteristik özelliğini ortaya koymaktadır. Bu değere karşılık gelecek olan beton da oluşan birim kısalma ve donatı da oluşan birim uzama değerlerine karşılık gelmektedir. Elde edilen bu değerler yönetmeliğin belirlediği sınırlar ile karşılaştırılarak kesite ait hasar bölgesi belirlenir.

Elde edilen KH bölgesinde olması gereken kirişlerin bodrum ve zemin katta 2 adetinin GB bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Toplamda 266 adet kirişin 124 adedi (%46.6) SHB, 138 adedi (%51.9) KHB ve 4 adedi (% 1.5) GB bulunmaktadır. TBDY-2018 yönetmeliğinin belirlemiş olduğu KH standartlarına göre kirişlerin en fazla %35'i İHB bölgesine geçebilir. Normal katta GB geçen kiriş olduğu için yapı için belirlenen performans hedefi sağlanamamıştır. TBDY-2018 yönetmeliğinin belirlemiş olduğu KH standartlarına göre

kirişlerin en fazla %35'i İHB bölgesine geçebilir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre bodrum ve zemin katta oluşan GB kaynaklı olarak performans düzeyinin sağlanmadığı görülmüştür.



Şekil 49. Y yönü doğrusal olmayan itme analizi için kiriş hasar sınırları

Şekil 49 Y yönündeki kirişlerin hasar sınırlarını göstermektedir. Toplamda 266 adet kirişin 255 adedi (%95.86) SHB, 9 adedi (%3.38) KHB, 1 adedi (%0.38) İHB ve 1 adedi (%0.38) GB bulunmaktadır. TBDY-2018 yönetmeliğinin belirlemiş olduğu KH standartlarına göre kirişlerin en fazla %35'i İHB bölgesine geçebilir. Normal katta GB geçen kiriş olduğu için yapı için belirlenen performans hedefi sağlanamamıştır.

Gerekli mantolama ve güçlendirme çalışmaları yapılarak yapının hangi düzeyde olduğu ve taşıyıcı elemanların hangi noktalarında plastik mafsallı oluşturduğu gözlemlenmiştir.

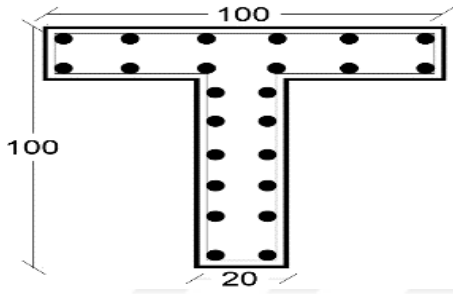
### 3.3.3.2. Kolonlara Ait Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapının ana iskeletinin oluşturduğu, plastik mafsallı tanımlamalarında P-M2-M3 normal kuvvet ve moment değerlerinin dikkate alındığı kolon taşıyıcı elemanlarına ait plastik mafsallı değerleri Tablo 23'te verilmektedir. 3.kat kolonlarına ait sınır şartların belirlenmiş olduğu Tablo 23'te verilmektedir.

Tablo 23. Beton ve donatı çeliğine ait izin verilen birim şekildeğiştirme sınırları

$(\epsilon_c)_{GÖ}$	$(\epsilon_c)_{KH}$	$(\epsilon_c)_{SH}$
0.0087	$0.0087*0.75=0.0065$	0.0025
$(\epsilon_s)_{GÖ}$	$(\epsilon_s)_{KH}$	$(\epsilon_s)_{SH}$
0.032	$0.032*0.75=0.024$	0.0075

Tablo 23'e göre kolon elemanlara ait izin verilebilir birim şekildeğiştirmelere ait mukayeseler yapılacaktır. Plastik mafsalları sınırlarının hangi bölgede kalmış olduğu belirlenir. Şekil 50'de gösterilen S(TT) kolonuna ait örnek sınır hasar değerleri verilmiştir.



Şekil 50. S(TT) kolonuna ait kesit

3.katta bulunan S(TT) kolonuna ait X yönü itme analizine ait (POX) beton ve donatı çeliği hasar sınırı durumu aşağıda gösterilmektedir.

$$L_p = 100/2 = 50 \text{ cm}$$

$$\Phi_p = 0.001463/0.5 = 0.002926 \text{ rad/m}$$

$\Phi_t = 0.002926 + 0.00438 = 0.03162$  SAP 2000 programından  $3.162 * 10^{(-2)}$  değerine karşılık gelen;

$$\epsilon_c = 0.0124 ; \epsilon_s = 0.0178$$

$\epsilon_c = 0.0124 > (\epsilon_c)_{GÖ} = 0.0087$  GB yer almaktadır.

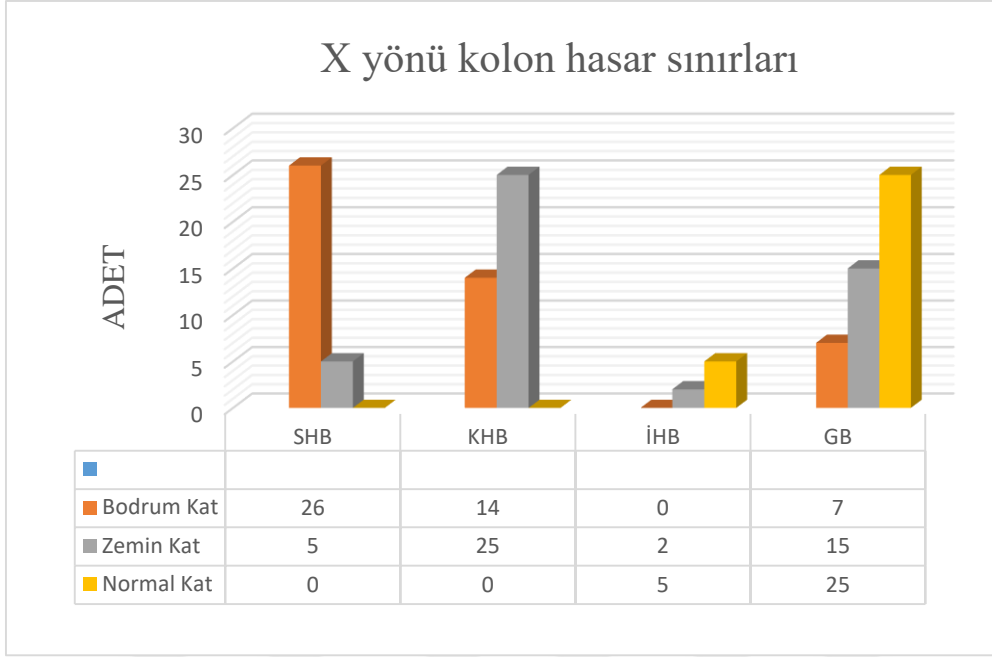
$(\epsilon_s)_{KH} < \epsilon_s = 0.0178 < (\epsilon_s)_{KH} = 0.024$  KHB yer almaktadır.

3.katta bulunan mevcut kolon GB yer almaktadır.

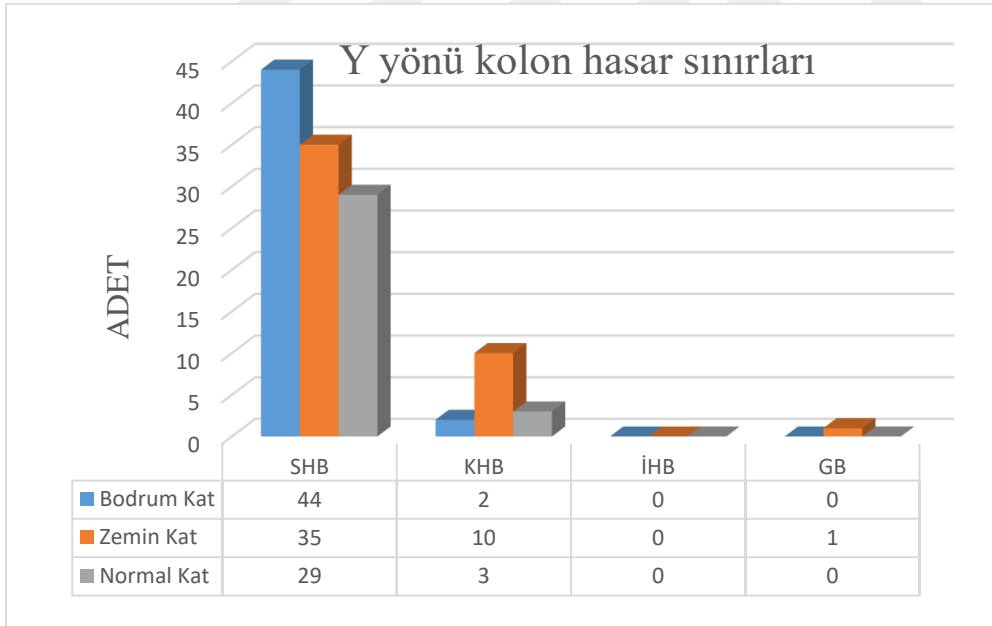
Tablo 24. POX yönü 3.kat kolonlara ait hasar sınır bölgeleri

Kolon Adı	R3 Plastik (rad)	Lp (m)	$\vartheta_p$ (rad/m)	$\vartheta_y$ (rad/m)	$\vartheta_t$ (rad/m)	$\epsilon_c$	$\epsilon_s$	Hasar Durum
S(TT) 3.kat	0.001463	0.5	0.002926	0.00438	0.03162	0.0124	0.0178	GB
S(TT) 3.kat	0.002084		0.004168	0.00436	0.01594	0.0330	0.008953	
S(DT) 3.kat	0.001054	0.5	0.002108	0.00295	0.03204	0.0042	0.0269	GB
S(DT) 3.kat	0.001377		0.002754	0.00294	0.04028	0.0051	0.0329	
S(50/30)	0.013299	0.25	0.053196	0.00823	0.06142	0.008764	0.0167	İHB
S(50/30)	0.016539		0.066156	0.00819	0.07434	0.0106	0.0202	
S(TT) 3.kat	0.000931	0.5	0.001862	0.00481	0.03598	0.003341	0.003001	GB
S(TT) 3.kat	0.002941		0.005882	0.00477	0.03720	0.005257	0.005234	
S(DT) 3.kat	0.001033	0.5	0.002066	0.00282	0.03132	0.003536	0.0261	GB
S(DT) 3.kat	0.000794		0.001588	0.00484	0.02637	0.00307	0.0224	
S(TT) 3.kat	0.001261	0.5	0.002522	0.00440	0.00693	0.003139	0.03448	GB
S(TT) 3.kat	0.001738		0.003476	0.00438	0.00785	0.00347	0.004002	
S(DT) 3.kat	0.000957	0.5	0.001914	0.00288	0.02928	0.003496	0.0244	İHB
S(DT) 3.kat	0.00089		0.00178	0.00287	0.02699	0.003235	0.0225	
S(TT) 3.kat	0.000938	0.5	0.001876	0.00451	0.00638	0.003028	0.003072	GB
S(TT) 3.kat	0.00262		0.00524	0.00447	0.00971	0.004349	0.004922	
S(DT) 3.kat	0.001027	0.5	0.002054	0.00282	0.03117	0.003538	0.0261	GB
S(DT) 3.kat	0.000558		0.001116	0.00282	0.01794	0.002201	0.0147	
S(TT) 3.kat	0.001142	0.5	0.002284	0.00440	0.00669	0.00324	0.0346	GB
S(TT) 3.kat	0.001741		0.003482	0.00438	0.00786	0.00358	0.0041	
S(DT) 3.kat	0.000961	0.5	0.001922	0.00288	0.02939	0.003496	0.0244	İHB
S(DT) 3.kat	0.000922		0.001844	0.00287	0.02788	0.003235	0.0225	
S(TT) 3.kat	0.000867	0.5	0.001734	0.00452	0.00626	0.00299	0.002988	GB
S(TT) 3.kat	0.002605		0.00521	0.00449	0.00970	0.004397	0.004936	
S(DT) 3.kat	0.001034	0.5	0.002068	0.00283	0.03137	0.003438	0.0252	GB
S(DT) 3.kat	0.000586		0.001172	0.00496	0.02085	0.002476	0.0171	
S(TT) 3.kat	0.001021	0.5	0.002042	0.00440	0.00644	0.002958	0.003203	GB
S(TT) 3.kat	0.00166		0.00332	0.00437	0.00769	0.003432	0.003964	
S(DT) 3.kat	0.000964	0.5	0.001928	0.00288	0.02947	0.00349	0.0244	İHB
S(DT) 3.kat	0.000935		0.00187	0.00287	0.02821	0.003281	0.0229	
S(TT) 3.kat	0.000803	0.5	0.001606	0.00463	0.00624	0.002966	0.002951	GB

S(TT) 3.kat	0.00209		0.00418	0.00450	0.00868	0.003954	0.004342	
S(DT) 3.kat	0.001037	0.5	0.002074	0.00283	0.03144	0.003547	0.0261	GB
S(DT) 3.kat	0.000594		0.001188	0.00496	0.02107	0.002527	0.0175	
S(TT) 3.kat	0.000941	0.5	0.001882	0.00440	0.00628	0.002958	0.003203	GB
S(TT) 3.kat	0.001424		0.002848	0.00437	0.00722	0.003432	0.003964	
S(DT) 3.kat	0.000963	0.5	0.001926	0.00288	0.02944	0.003384	0.0235	İHB
S(DT) 3.kat	0.000891		0.001782	0.00287	0.02701	0.00323	0.0225	
S(TT) 3.kat	0.000726	0.5	0.001452	0.00454	0.00599	0.3313	0.3396	GB
S(TT) 3.kat	0.00168		0.00336	0.00451	0.00787	0.363	0.3873	
S(DT) 3.kat	0.00105	0.5	0.0021	0.00283	0.03181	0.003611	0.0265	GB
S(DT) 3.kat	0.000536		0.001072	0.00282	0.01734	0.002165	0.0142	
S(TT) 3.kat	0.000825	0.5	0.00165	0.00440	0.00605	0.002958	0.003203	GB
S(TT) 3.kat	0.001479		0.002958	0.00437	0.00733	0.003432	0.003964	
S(DT) 3.kat	0.001237	0.5	0.002474	0.00281	0.03694	0.004002	0.0303	GB
S(DT) 3.kat	0.001635		0.00327	0.00280	0.04712	0.005294	0.039	
S(TT) 3.kat	0.000548	0.5	0.001096	0.00435	0.00544	0.002505	0.002679	GB
S(TT) 3.kat	0.001917		0.003834	0.00432	0.00816	0.003545	0.004308	
S(DT) 3.kat	0.001091	0.5	0.002182	0.00283	0.03294	0.00375	0.0276	GB
S(DT) 3.kat	0.000875		0.00175	0.00282	0.02654	0.003088	0.0224	
S(50/30)	0.016225	0.25	0.0649	0.00721	0.07211	0.00797	0.0219	GB
S(50/30)	0.021736		0.086944	0.00718	0.09412	0.0107	0.0283	
S(AL)	0.001327	0.5	0.002654	0.002858	0.02978	0.003448	0.0247	GB
S(AL)	0.002422		0.004844	0.002849	0.01581	0.002107	0.0129	
S(20/100)	0.023208	0.1	0.23208	0.0221	0.25418	0.004939	0.0238	GB
S(20/100)	0.021021		0.21021	0.0222	0.23241	0.004647	0.0218	
S(YL)	0.000641	0.5	0.001282	0.003987	0.00527	0.002168	0.002857	GB
S(YL)	0.001367		0.002734	0.003971	0.00671	0.00261	0.003785	
S(AL)	0.001571	0.5	0.003142	0.002757	0.06323	0.006522	0.0535	GB
S(AL)	0.000466		0.000932	0.002748	0.06387	0.006516	0.0542	
S(20/100)	0.021479	0.1	0.21479	0.022	0.23679	0.004475	0.0224	GB
S(20/100)	0.017438		0.17438	0.022	0.19638	0.003754	0.0186	
S(YL)	0.001818	0.5	0.003636	0.004153	0.03147	0.0113	0.0185	GB
S(YL)	0.002306		0.004612	0.004131	0.00922	0.003604	0.005166	
S(30/50)	0.012514	0.15	0.083427	0.0144	0.09783	0.005556	0.0153	GB
S(30/50)	0.015985		0.106567	0.0142	0.12077	0.007055	0.0195	



Şekil 51. X yönü doğrusal olmayan itme analizi için kolon hasar sınırları



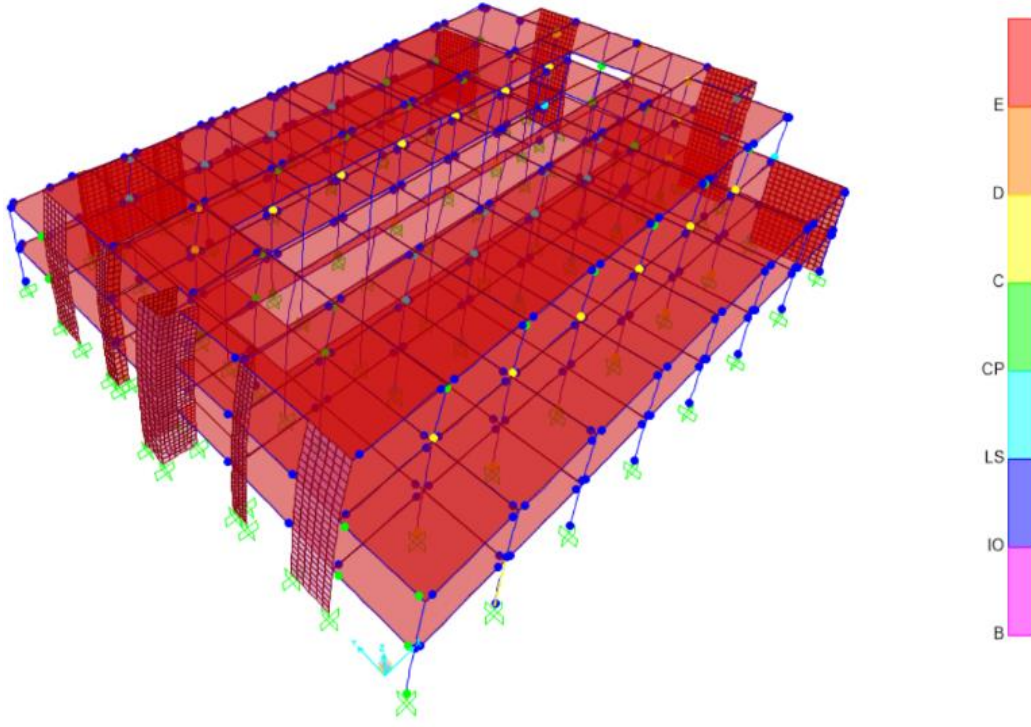
Şekil 52. Y yönü doğrusal olmayan itme analizi için kolon hasar sınırları

Şekil 51’de toplamda 124 adet kolonun 31 adedi (%25) SHB, 39 adedi (%31) KHB, 7 adedi (%6) İHB ve 47 adedi (%38) GB bulunmaktadır. Her bir hatta düşey elemanlar

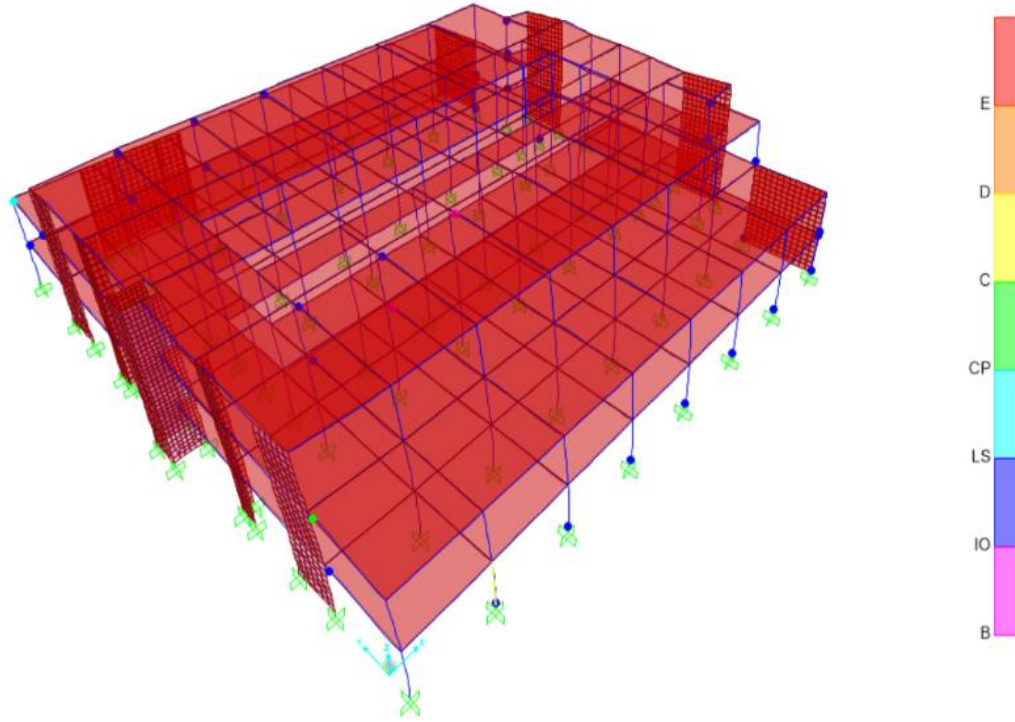
tarafından taşınan ve en üst katta İleri Hasar Bölgesinde düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvvetleri toplamının tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerine oranı %15'dir. Bodrum katta 7 adet, zemin katta 15 ve normal katta 25 adedi GB kalmaktadır. KH performans düzeyinin sağlanmadığı görülmektedir. Yapı da göçme genel anlamda T ve L kesitli taşıyıcı elemanlarda meydana gelmiştir. Bir sonraki güçlendirme aşamasında T ve L kesitli kolonların köşelerine epoksi ile yerleştirilen 30/40'luk kolonlarla güçlendirme gerçekleştirilmiştir.

Şekil 52'de toplamda 124 adet kolonun 108 adedi (%87.1) SHB, 15 adedi (%12.1) KHB, 1 adedi (%0.8) GB bulunmaktadır. Her bir hatta düşey elemanlar tarafından taşınan ve en üst katta İleri Hasar Bölgesinde düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvvetleri toplamının tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerine oranı %0'dır. Zemin katta 1 adet kolon GB kalmaktadır. KH performans düzeyinin sağlanmadığı görülmektedir.

Şekil 53-54'de itme analizi gerçekleştirilen yapının X ve Y yönleri için oluşan plastik mafsallar görülmektedir. Şekillerde görüleceği üzere X yönünde; kolon ve kirişlerde yapı da göçmeler meydana geldiği görülmektedir. Özellikle kolonlarda kesit yetersizliklerinin T ve L kesitli kolonların uç bölgelerinde meydana geldiği görülmektedir. S(30/30) ve S(30/50) kolonlarda da hasarların meydana geldiği görülmüş gerekli mantolama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kirişlerde meydana gelen göçmelerde ise, gerekli sargılama işlemleri yapılmış ve uygun görülen yerlerde deplasmanı ve oluşan iç kuvvetleri engellemek için betonarme perde ilave çalışması yapılmıştır. Y yönünde; çok fazla hasar meydana gelmemiş olsa da oluşan göçmelerden dolayı aynı işlemler gerçekleştirilmiştir. Yapılan güçlendirme çalışmalarına ilişkin veriler diğer bölümlerde sunulmaktadır.



Şekil 53. X yönü itme analizi plastik mafsallaşma durumu



Şekil 54. Y yönü itme analizi plastik mafsallaşma durumu

### **3.3.4. Mevcut Yapıda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi**

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi, yapı sisteminin maruz kaldığı yüklerden dolayı her bir zaman artımı sonucu taşıyıcı elemanlarda oluşan iç kuvvetlerin ve yerdeğiştirme durumlarının hesabını içine alır. Her bir zaman artımına ait elde edilen verilerin kesitlerde doğrusal olmayan davranışın belirlenmesinde olanak sağlar. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi yapıların mevcut analizinde gerçeğe yakın elde edilen sonuçlardan kaynaklı olarak daha sık kullanılmaktadır.

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi gerçekleştirilirken mevcut ivme kayıtlarının analizi yapılan yapı için en uygun ivme kayıtları olması önemlidir. İvme kayıtlarının mevcut yapı için uygun hale getirilmesi yani ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Uygun ivme kayıtlarının seçilememiş olması yapıda gerçeğe aykırı olacak kadar büyük enerjinin ortaya çıkmasına neden olacak ve analizle beraber elde edilen sonuçlarda iç kuvvetlerin gerçekten farklı daha büyük değerlerin ortaya çıkmasına neden olacak çözüm ekonomik olmaktan çıkacaktır. Ancak uygun deprem kayıtlarının simüle edilerek analizde kullanılması oluşabilecek bu durumun önüne geçilmesini sağlayacaktır.

Gerçek ivme kayıtlarının seçilmesinde ve ölçeklendirilmesinde belirli bir bölge için seçilecek olan kayıtlar tepki spektrumuyla uyumlu sismolojik ve jeolojik durumlarında sağlamalıdır. Bu koşulların sağlanabilmesi için deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu olacak şekilde deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, yerel zemin koşulları göz önünde bulundurulmalıdır.

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile yapılacak olan analizde TBDY-2018 deprem yönetmeliği en az 11 adet deprem ivme kaydının kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Aynı deprem kaydına ilişkin kullanılacak olan kayıt sayısının üçü geçmemesi gerekmektedir. İvme kayıtları etki ettirilirken birbirine dik olarak iki yatay doğrultuda asal eksenleri doğrultusunda birlikte etki ettirilecektir. Daha sonra analizi tamamlanmış yapının (2×11 adet = 22 adet analiz) her bir analizinden elde edilmiş sonucun en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesap edilmiştir.

### 3.2.4.1. İvme Kayıtlarının TBDY-2018'e Göre Ölçeklendirilmesi

TBDY-2018 deprem yönetmeliği aşağıdaki koşullar göz önünde bulundurulması ile ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesi için seçenekler sunmuştur:

- Bir veya iki boyutlu hesap için seçilmiş olan tüm ivme kayıtlarına ait spektrumların ortalamasının, binanın hakim doğal titreşim periyodu  $T_p$ 'ye göre,  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilmelidir.
- Üç boyutlu hesap adımı için seçilmiş olan her bir deprem kaydı için iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilmiş olan tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının binanın hakim doğal titreşim periyodu  $T_p$ 'ye göre,  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralı göz önünde bulundurularak deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilmelidir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılmalıdır.
- Mevcut deprem verileri ile bina özelliklerinin gerekli kılması ve sahaya özel deprem yer hareketi spektrumu belirlenmesi durumunda, binanın belirli sayıda titreşim periyodu ile ilişkilendirilen koşullandırılmış ortalama spektrumlarından yararlanılarak, deprem kayıtlarının analiz sonuçlarında daha az saçılmayı sağlayacak şekilde seçilerek ölçeklendirilmesi yoluna gidilebilir. Elde edilen analiz sonuçlarına daha kolay bir şekilde ulaşılmış olur.

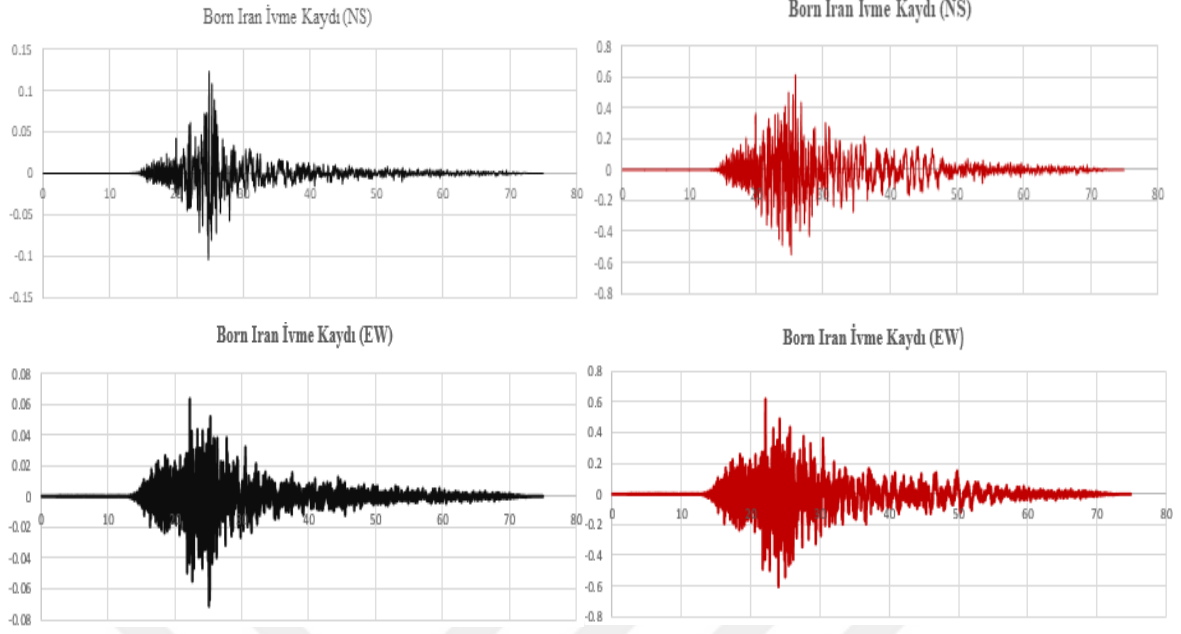
Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi yapılacak olan analizlerde ivme kayıtlarının belirlenmesinde yukarıda bahsettiğimiz durumlardan kaynaklı olarak büyük öneme sahiptir. Seçilen deprem kayıtlarının yönetmeliği karşılayan nitelikte olması gerekmektedir. Ayrıca mevcut konumla alakalı olarak ivme kayıtlarının jeolojik ve sismolojik özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 25’te Eyüp’te yer alan eğitim kurumu için belirlenmiş olan 11 adet deprem ivme kaydı görülmektedir.

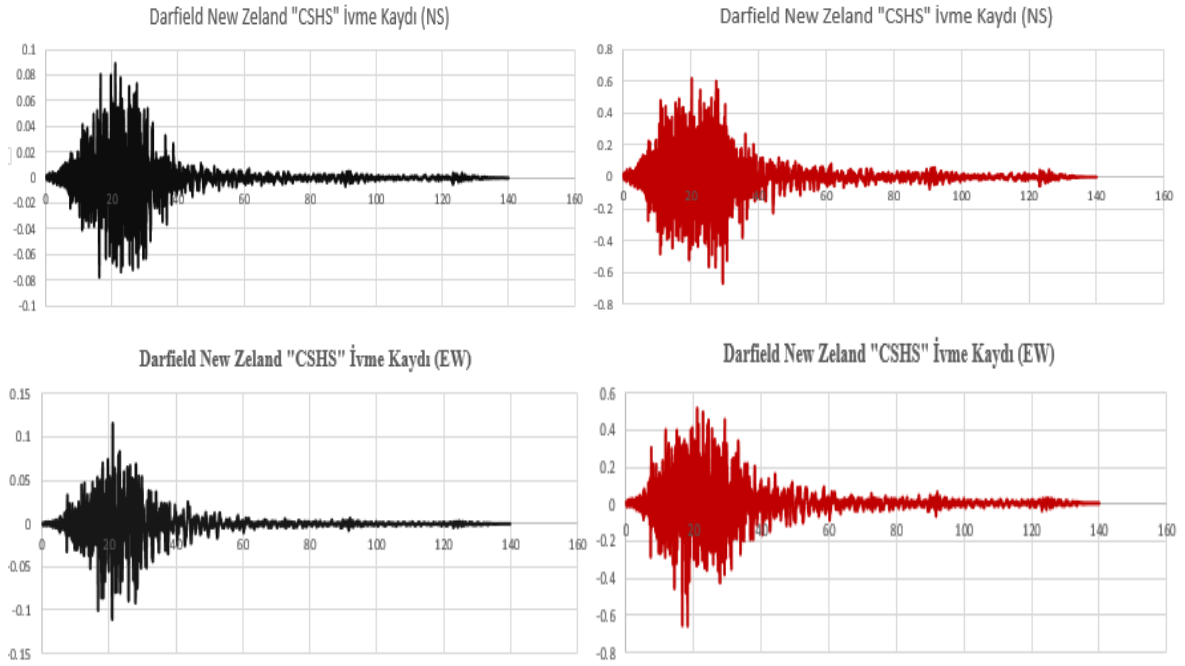
Tablo 25. Belirlenen deprem ivme kayıtları

No	Deprem Adı	İstasyon Adı	Yıl	Büyükük	Kayıt Aralığı (sn)	Rrup (km)
1	"Bam_Iran"	"M. Abad-e-Madkoon"	2003	6.6	0.005	46.22
2	"Darfield_ New Zealand"	"CSHS"	2010	7	0.005	43.6
3	"Darfield_ New Zealand"	"SPFS"	2010	7	0.005	29.86
4	"Duzce_ Turkey"	"Lamont 1061"	1999	7.14	0.01	11.46
5	"Hector Mine"	"Amboy"	1999	7.13	0.02	43.05
6	"Imperial Valley-06"	"Cerro Prieto"	1979	6.53	0.01	15.19
7	"Landers"	"Barstow"	1992	7.28	0.02	34.86
8	"Landers"	"Joshua Tree"	1992	7.28	0.02	11.03
9	"Landers"	"Morongo Valley Fire Station"	1992	7.28	0.005	17.36
10	"Tottori_ Japan"	"SMNH03"	2000	6.61	0.005	52.3
11	"Kocaeli Turkey"	"Iznik"	1999	7.51	0.005	30.73

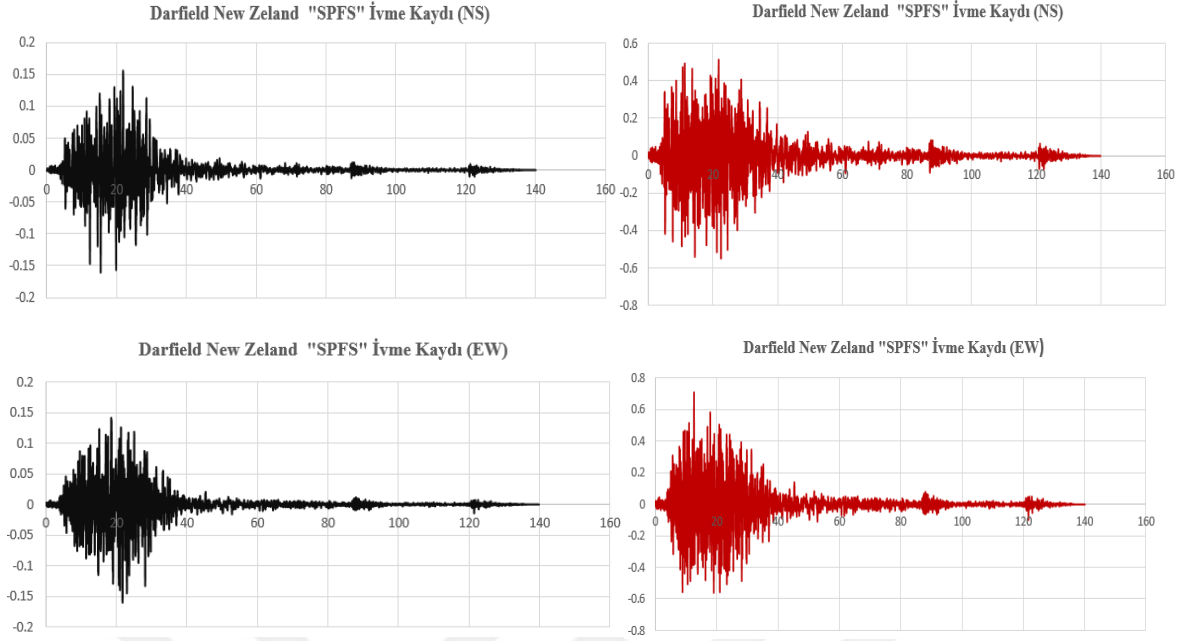
Belirlenen ivme kayıtlarının yönetmeliğin belirlediği doğrultuda yapının bulunduğu lokasyona göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Ölçeklendirilen ivme kayıtları hem kuzey-güney (NS) yönü hem de doğu-batı (EW) yönünde aşağıdaki şekillerde gösel olarak sunulmuştur. Şekil 55-65 belirlenen deprem ivme kayıtlarından siyah renk ile belirtilmiş olan şekil deprem kayıtlarının orijinal hali, kırmızı renk ile gösterilen şekiller ise ölçeklendirilmiş hallerini göstermektedir.



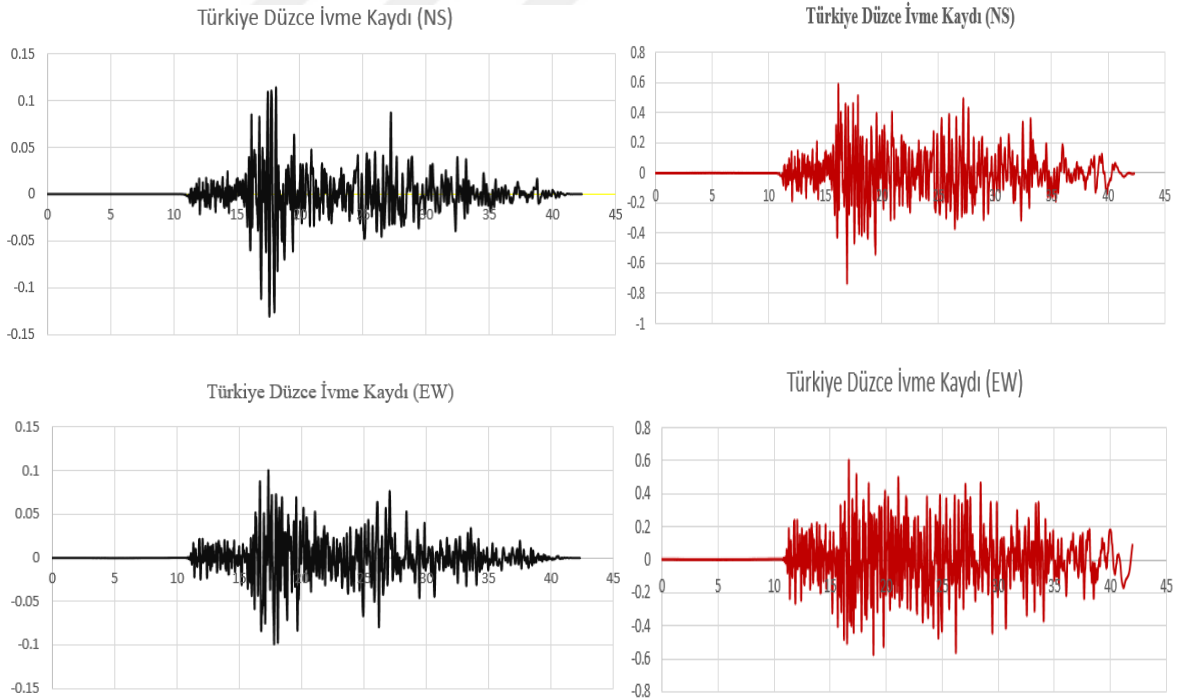
Şekil 55. Born Iran deprem ivme kayıtları



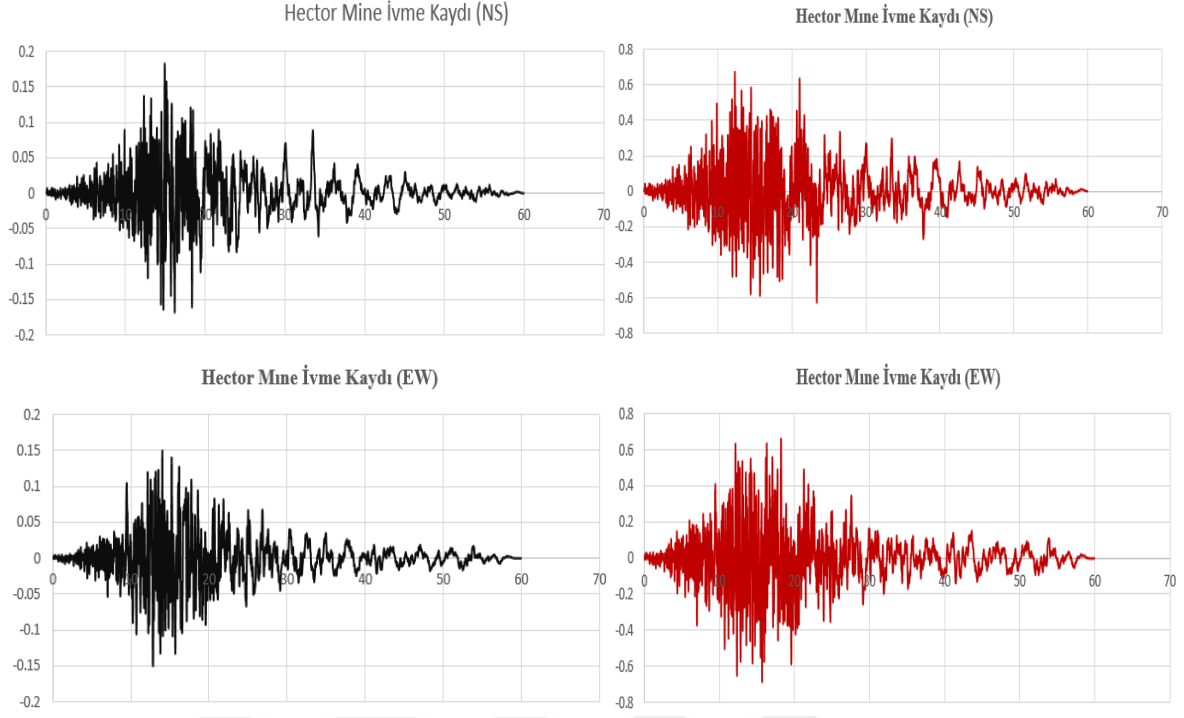
Şekil 56. Darfield New Zeland "CSHS" deprem ivme kayıtları



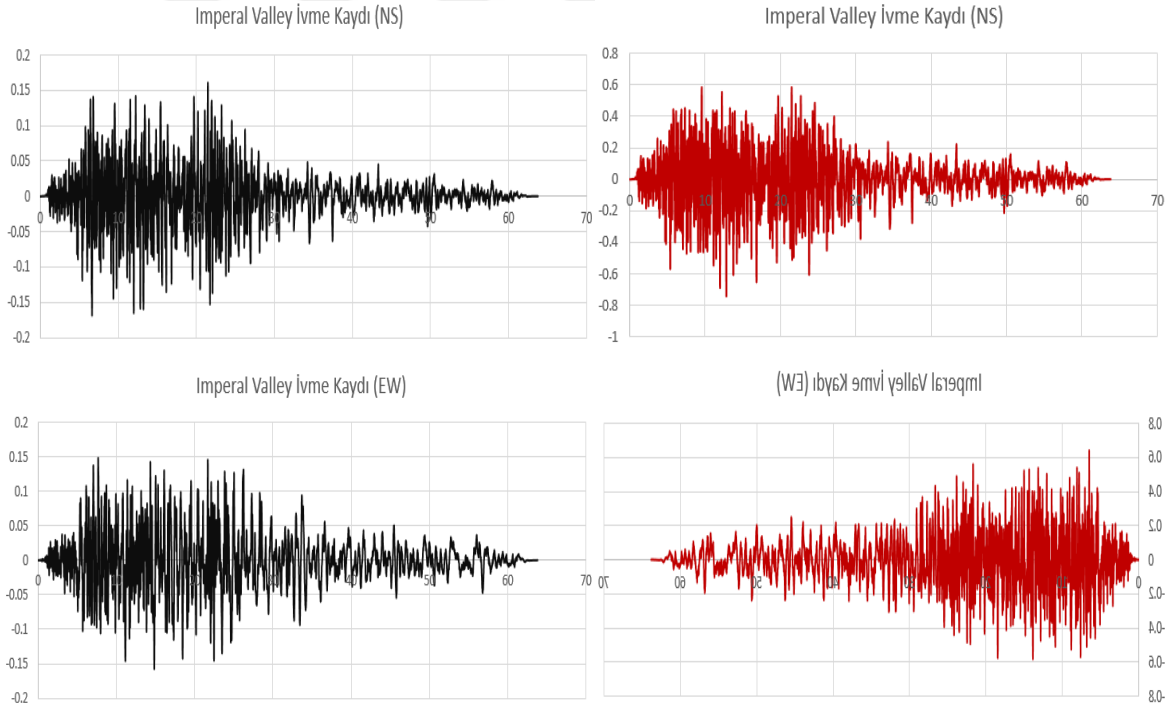
Şekil 57. Darfield New Zeland "SPFS" deprem ivme kayıtları



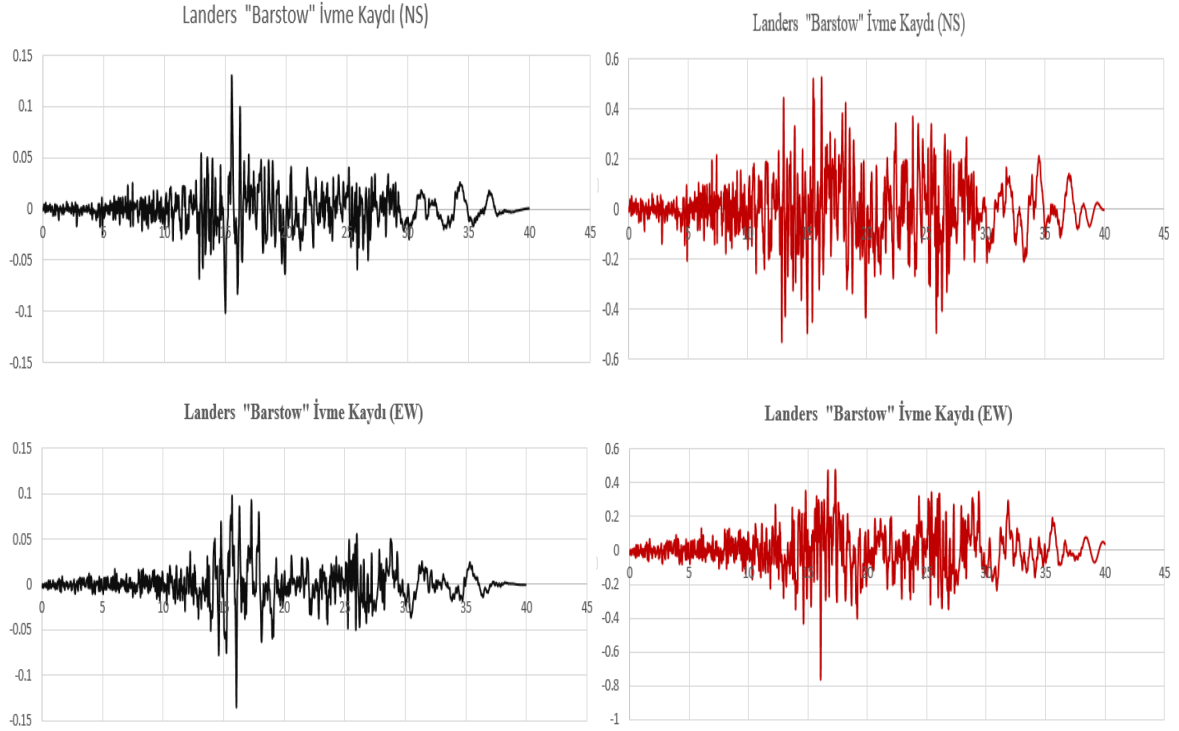
Şekil 58. Türkiye Düzce deprem ivme kayıtları



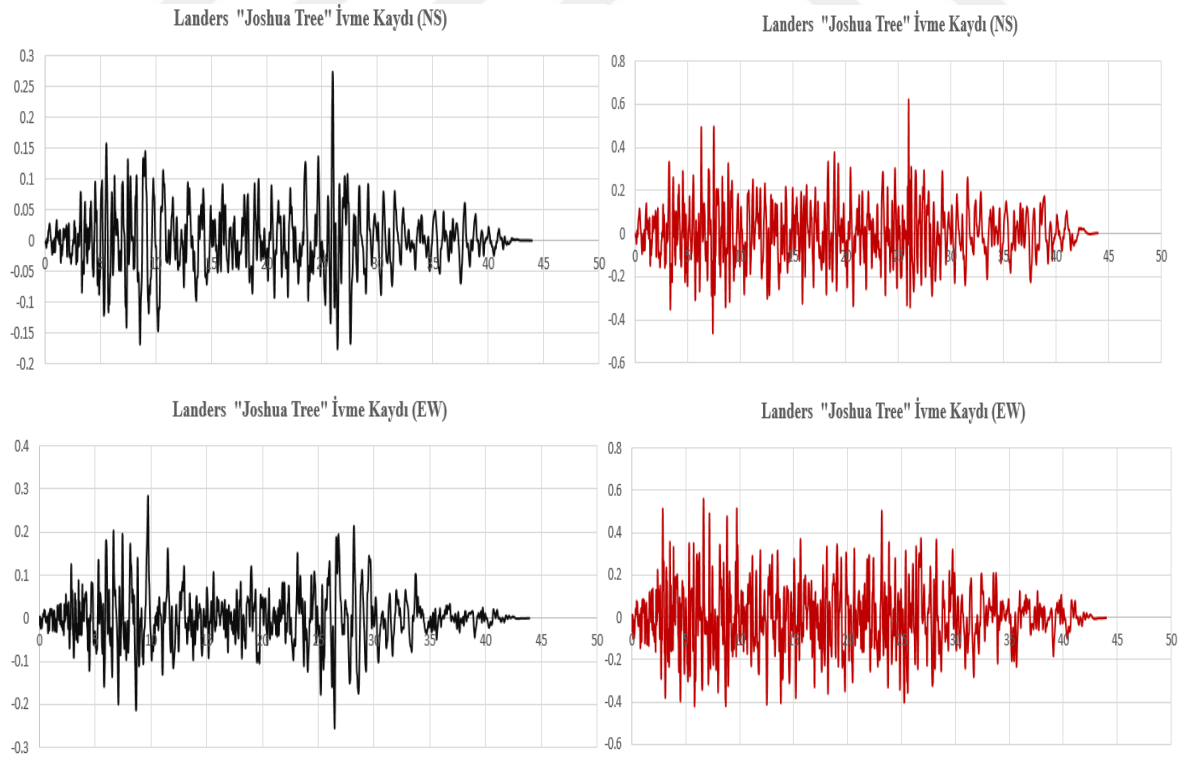
Şekil 59. Hector Mine deprem ivme kayıtları



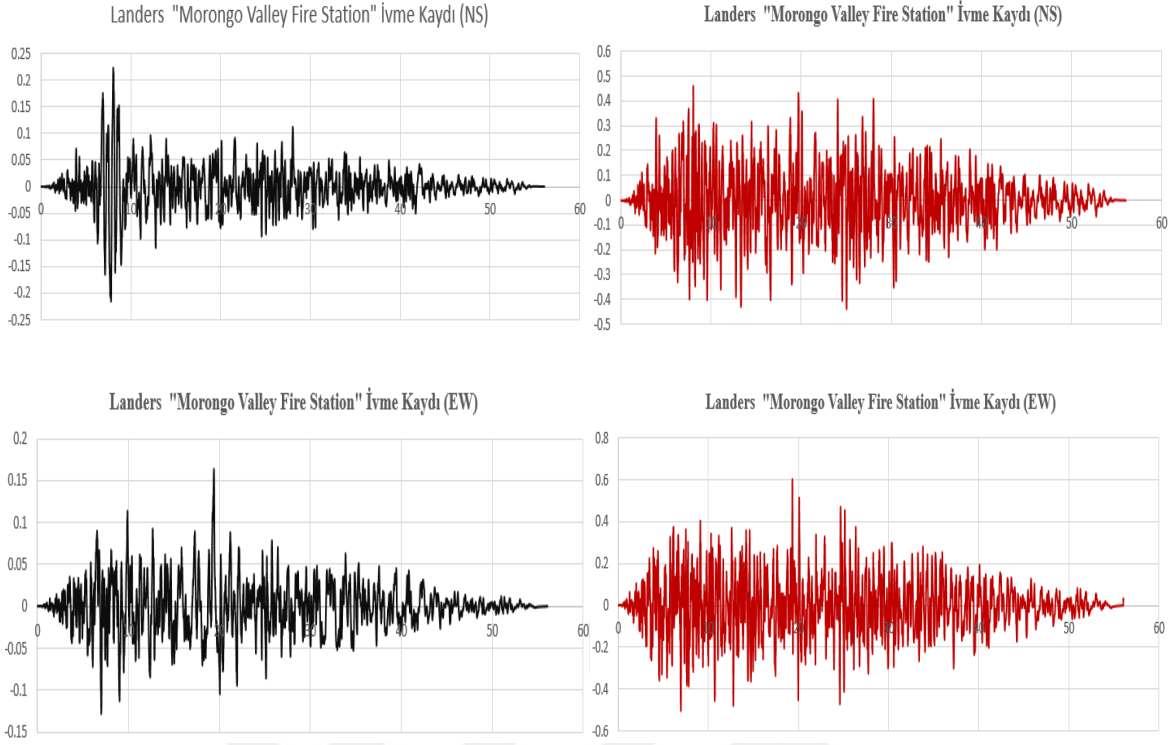
Şekil 60. Imperial Valley deprem ivme kayıtları



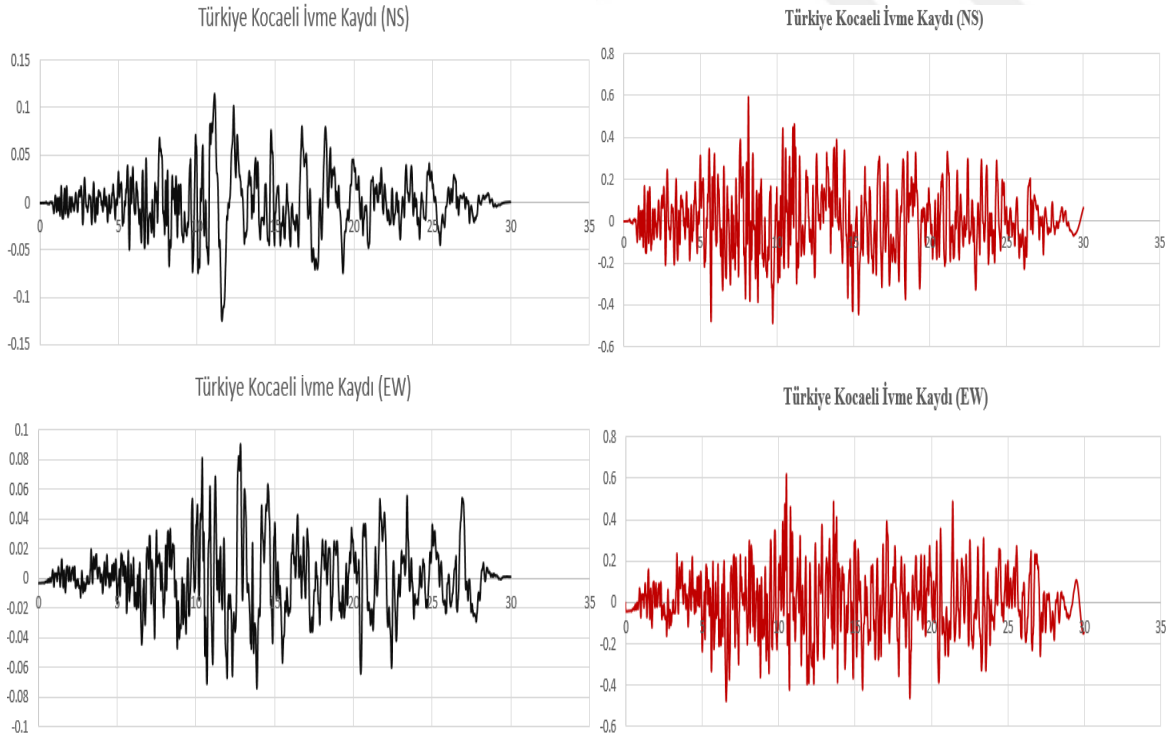
Şekil 61. Landers "Barstow" deprem ivme kayıtları



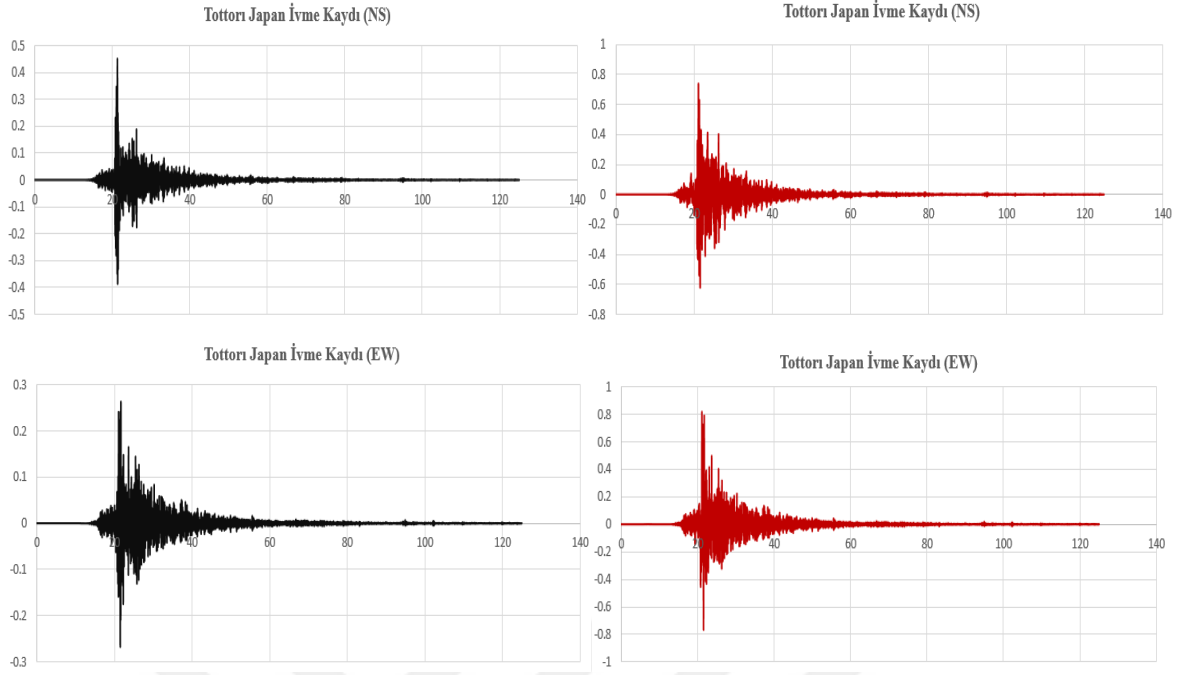
Şekil 62. Landers "Joshua Tree" deprem ivme kayıtları



Şekil 63. Landers “Morongo Valley Fire Station” deprem ivme kayıtları

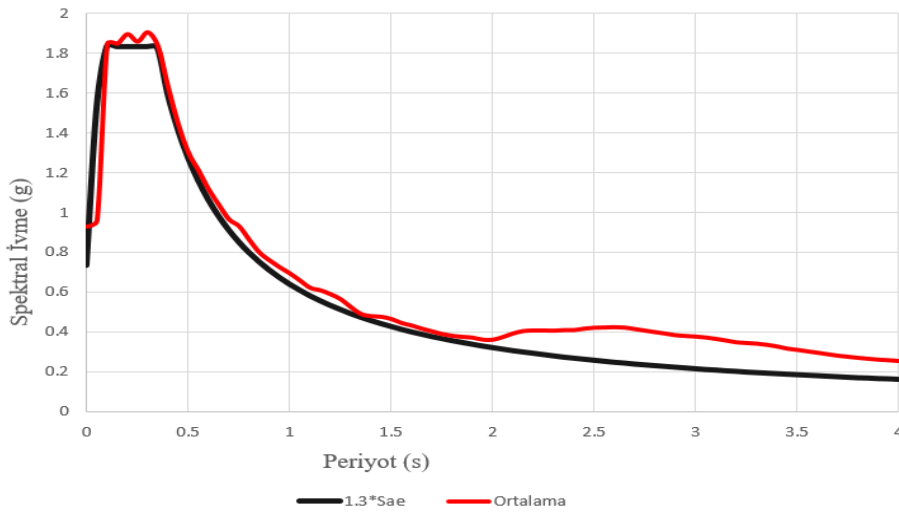


Şekil 64. Türkiye Kocaeli deprem ivme kayıtları



Şekil 65. Tottori Japan deprem ivme kayıtları

Yukarıda orijinal ve ölçeklendirilmiş halleri verilen deprem kayıtlarının TBDY-2018 yönetmeliğinin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile analiz yapılabilmesi için seçilen 11 adet deprem kaydının gerekli koşulları sağlaması gerekmektedir. Şekil 66'da gösterilmekte olan grafikte istenilen koşullar sağlanmıştır.



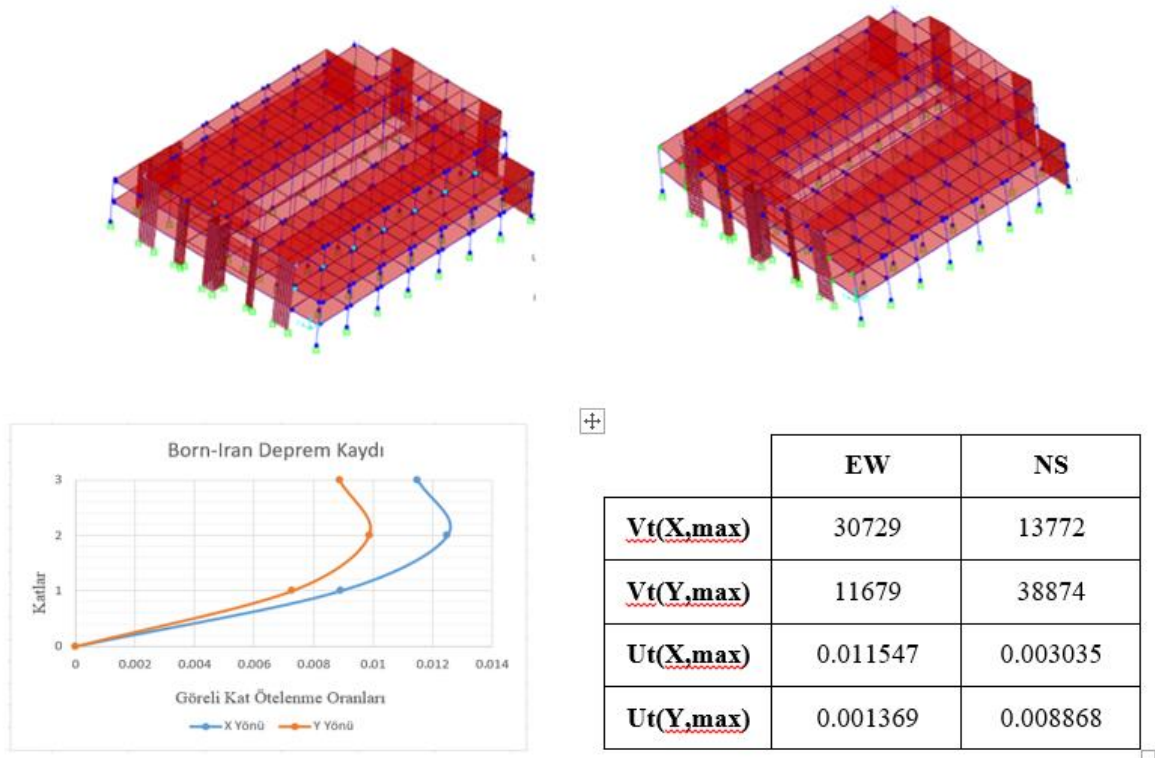
Şekil 66. 11 Adet kaydın kullanılabilirliğinin kontrolü

### 3.2.4.2. Analizi Gerçekleştirilen Deprem Kayıtlarının Değerlendirilmesi

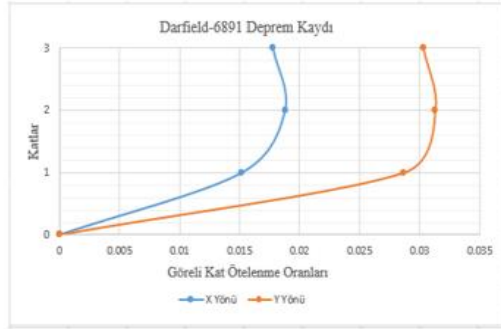
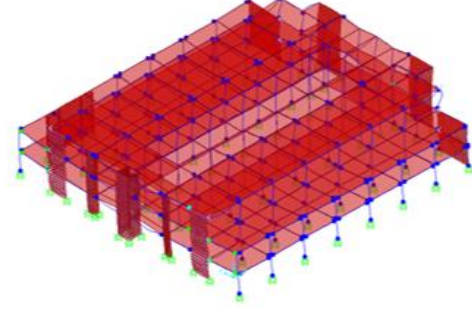
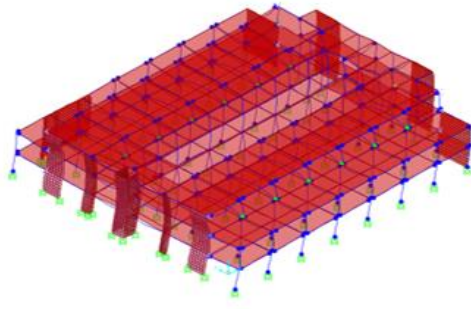
İstanbul ili sınırları içerisinde bulunan eğitim kurumunun en etkili yöntemlerin başında gelen, yapıya birebir deprem uygulayarak yapının sismik davranışının incelendiği Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi sonrası gerçekçi bir yaklaşımla aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

11 adet deprem kaydının yapının hem X yönünde hem de Y yönünde uygulanması ile mevcut eğitim kurumunun taşıyıcı sistemlerinde, tek modlu itme analizinde karşılaşıldığı gibi göçmeler meydana gelmiştir. Daha sonra güçlendirme çalışması gerçekleştirilerek mukayesesiz yapılacak yapının mevcut halde deprem kuvvetlerini karşılamadığı, çok büyük taban kesme kuvvetlerine ve deplasmanlara yol açtığı görülmüştür.

Şekil 67-77 arası gösterilen deprem kayıtlarına ilişkin görelî kat öteleme oranları ve taban kesme kuvvetleri gösterilmektedir. Ölçeklendirilen ivme kayıtları hem kuzey-güney (NS) yönü hem de doğu-batı (EW) yönünde aşağıdaki şekillerde gösel olarak sunulmuştur. Ut değerleri deprem kayıtlarının X ve Y yönüne ait maksimum yerdeğiştirme değerlerini, Vt ise en büyük taban kesme kuvvetlerini göstermektedir.

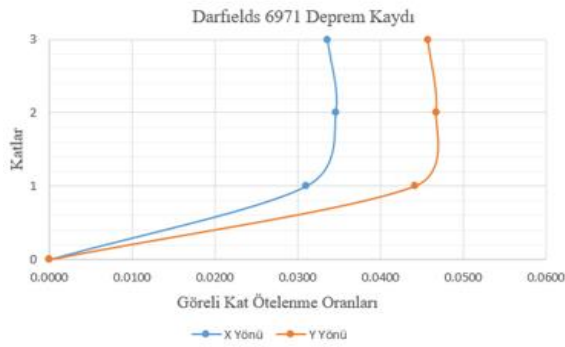
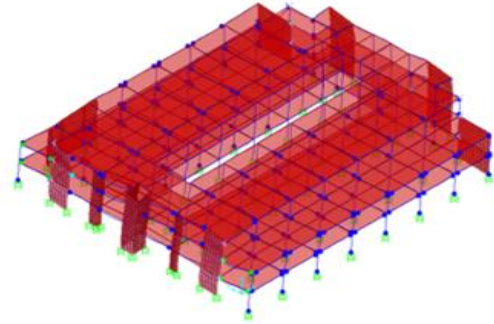
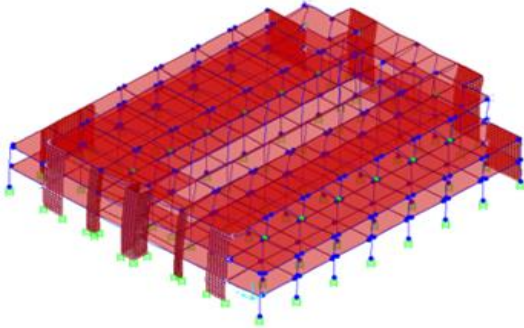


Şekil 67. Born-Iran deprem kaydı sonuçları



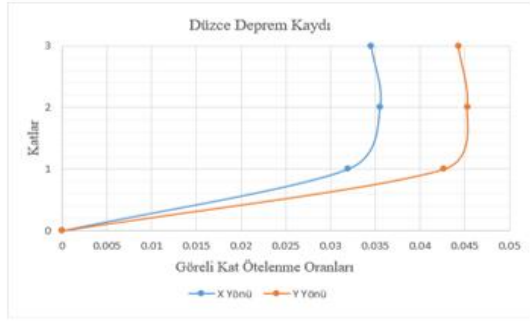
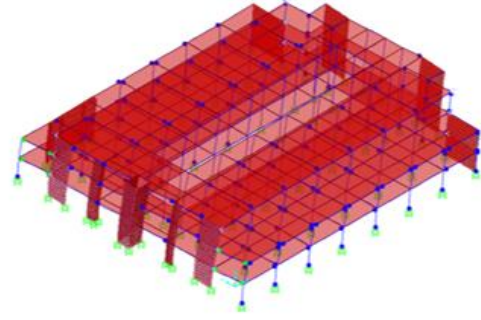
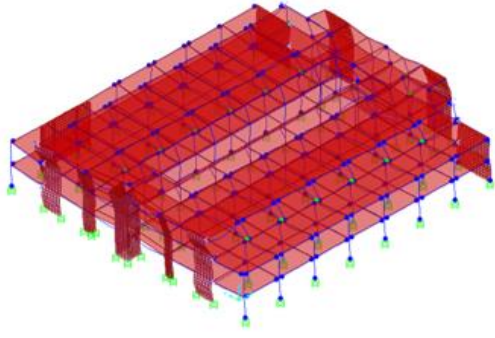
	EW	NS
$Vt(X,max)$	35789	11189
$Vt(Y,max)$	13362	46726
$Ut(X,max)$	0.0178475	0.00245
$Ut(Y,max)$	0.00561	0.0303295

Şekil 68. Darfield 6891 deprem kaydı sonuçları



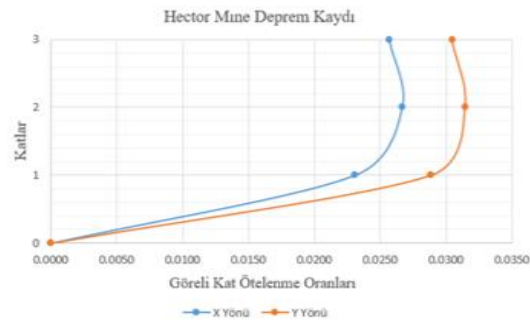
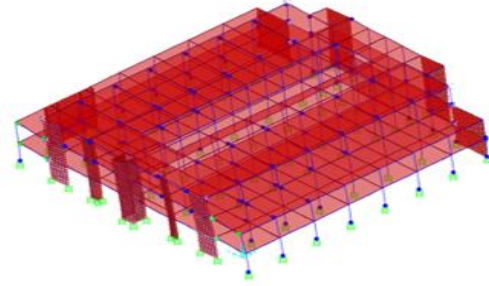
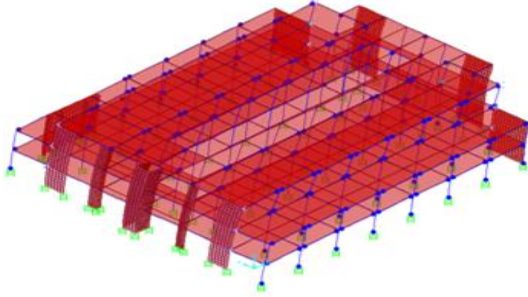
	EW	NS
$Vt(X,max)$	32637	12261
$Vt(Y,max)$	12605	41552
$Ut(X,max)$	0.0336	0.0183
$Ut(Y,max)$	0.0171	0.0457

Şekil 69. Darfield 6891 deprem kaydı sonuçları



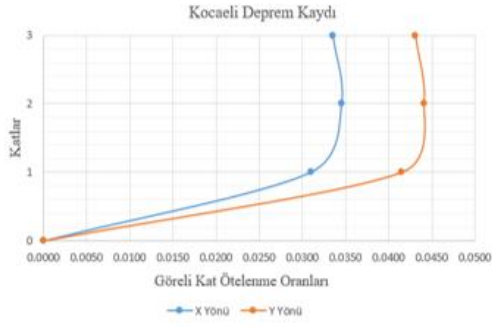
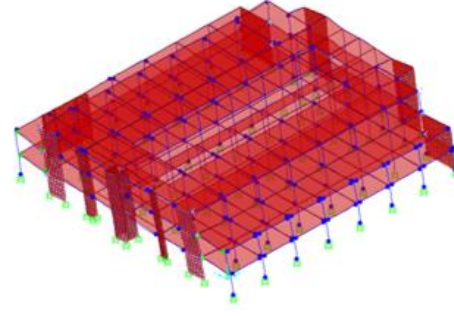
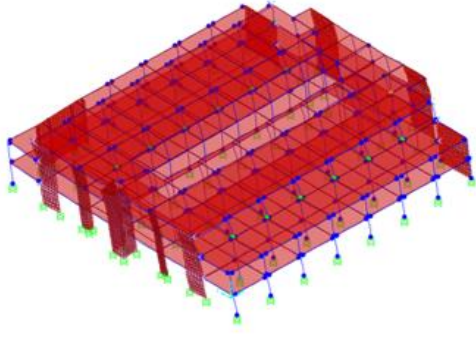
	EW	NS
$V_t(X,max)$	38009	10291
$V_t(Y,max)$	10457	35450
$U_t(X,max)$	0.0345	0.0136
$U_t(Y,max)$	0.0118	0.0443

Şekil 70. Düzce deprem kaydı sonuçları



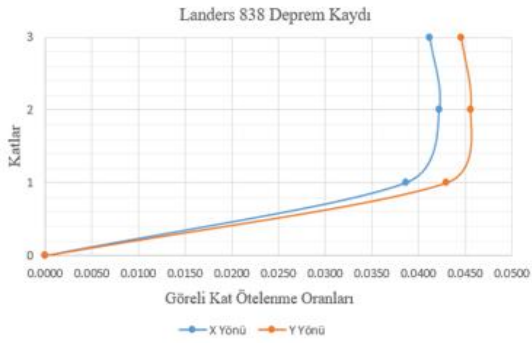
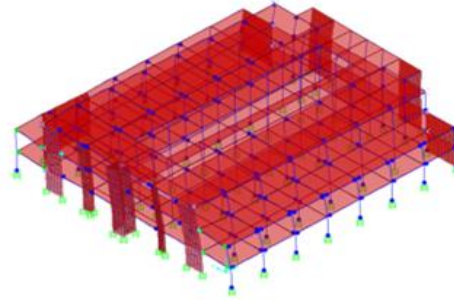
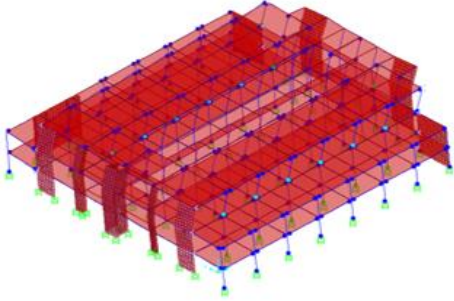
	EW	NS
$V_t(X,max)$	30006	5837
$V_t(Y,max)$	8372	34329
$U_t(X,max)$	0.0257	0.0102
$U_t(Y,max)$	0.0117	0.0304

Şekil 71. Hector Mine deprem kaydı sonuçları



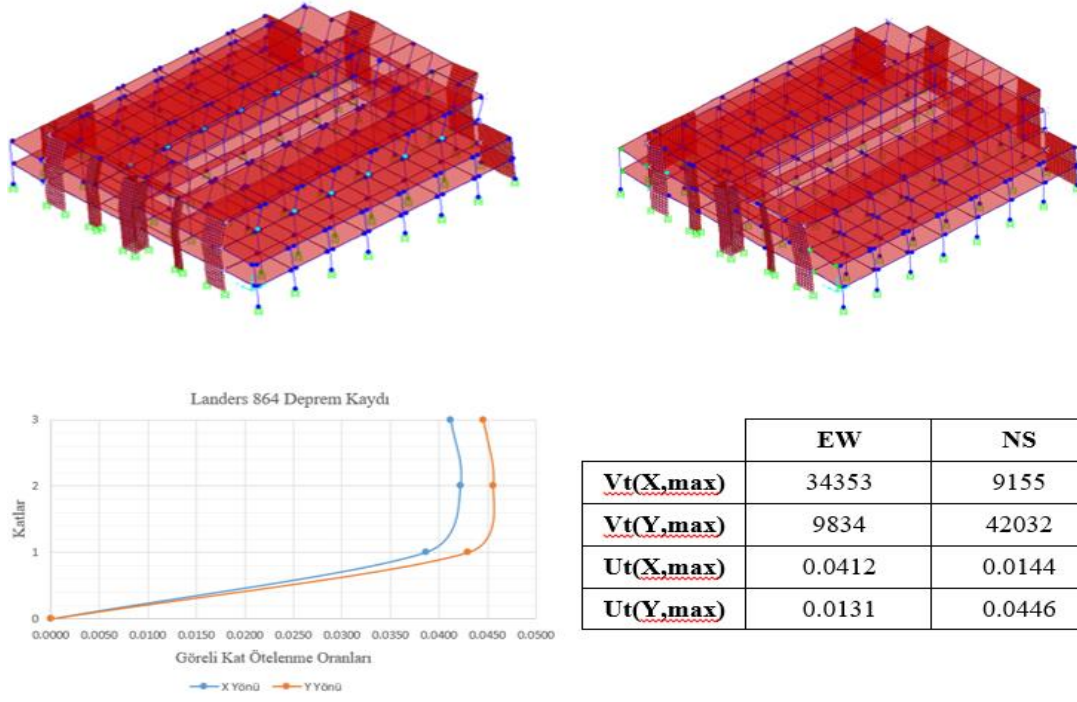
	EW	NS
<u>Vt(X,max)</u>	31132	12327
<u>Vt(Y,max)</u>	13064	38538
<u>Ut(X,max)</u>	0.0335	0.0175
<u>Ut(Y,max)</u>	0.0153	0.0431

Şekil 72. Kocaeli deprem kaydı sonuçları

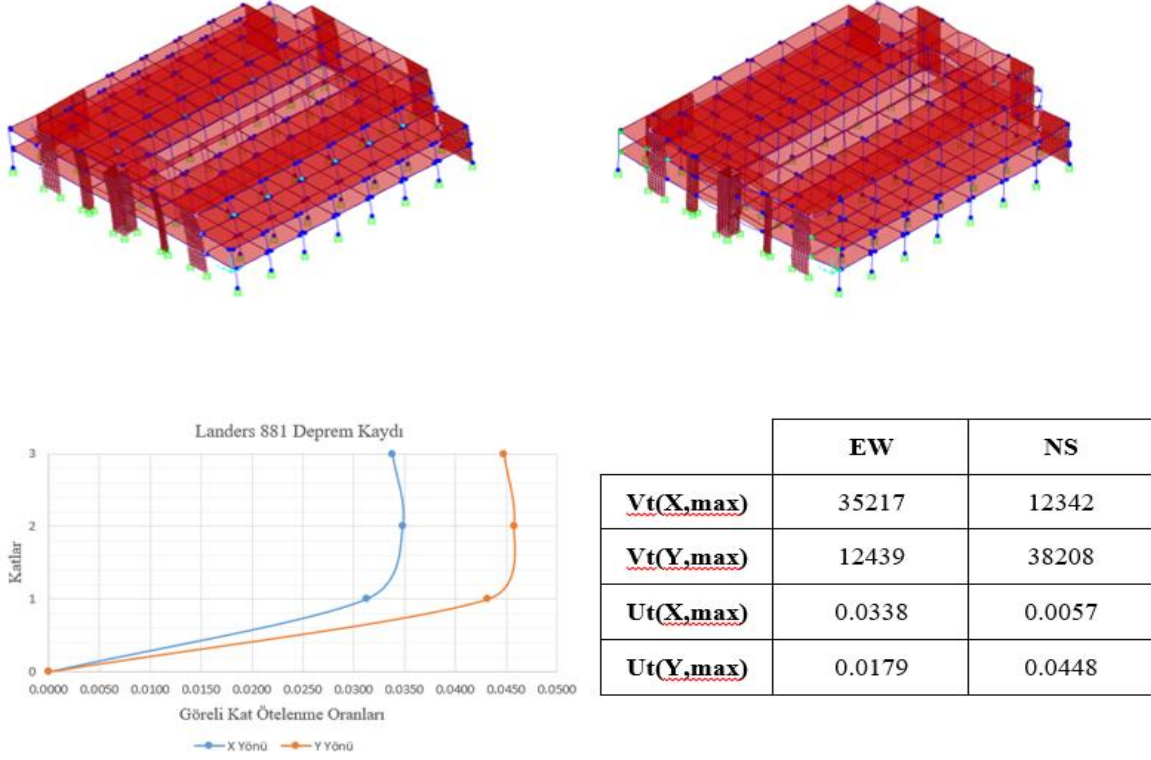


	EW	NS
<u>Vt(X,max)</u>	34353	9155
<u>Vt(Y,max)</u>	9834	42032
<u>Ut(X,max)</u>	0.0412	0.0175
<u>Ut(Y,max)</u>	0.0153	0.0446

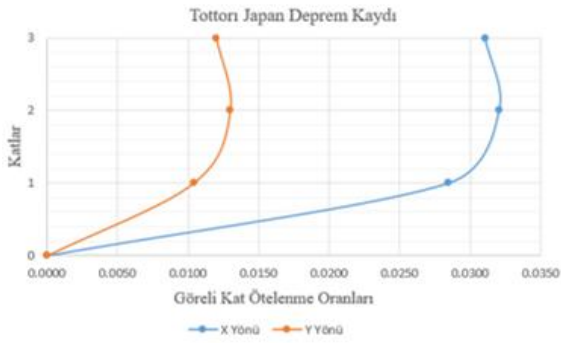
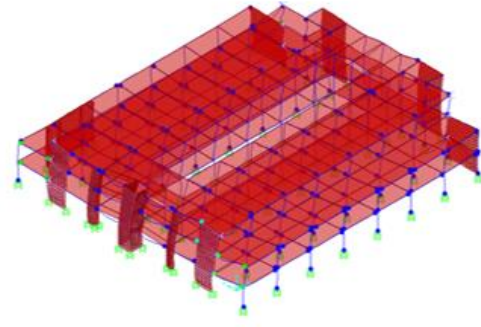
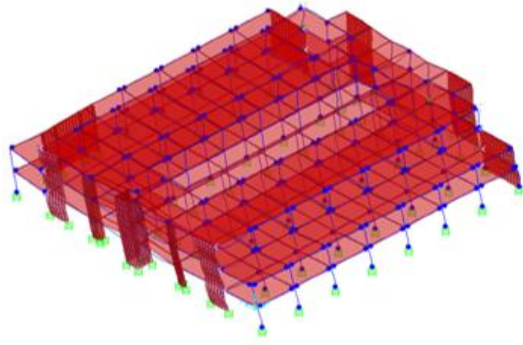
Şekil 73. Landers 838 deprem kaydı sonuçları



Şekil 74. Landers 864 deprem kaydı sonuçları

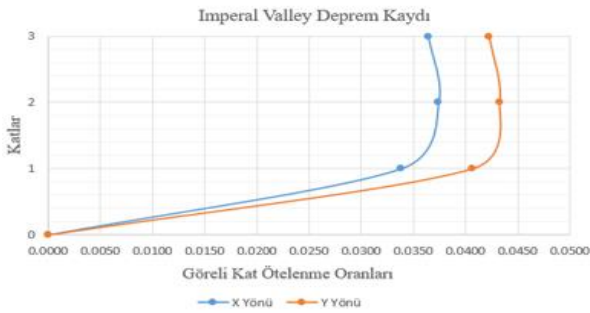
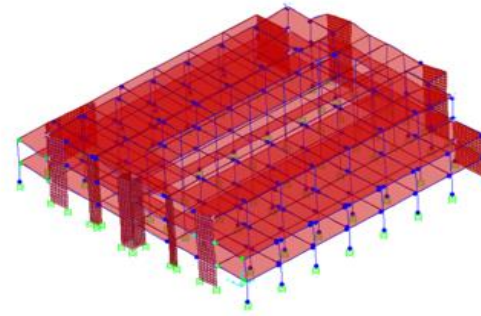
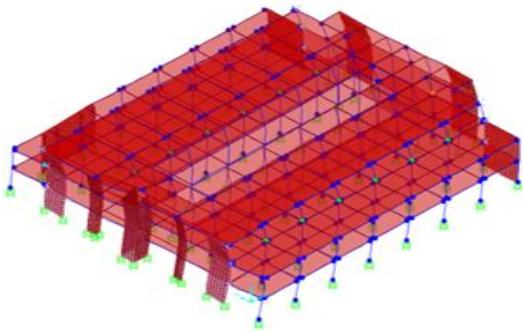


Şekil 75. Landers 881 deprem kaydı sonuçları



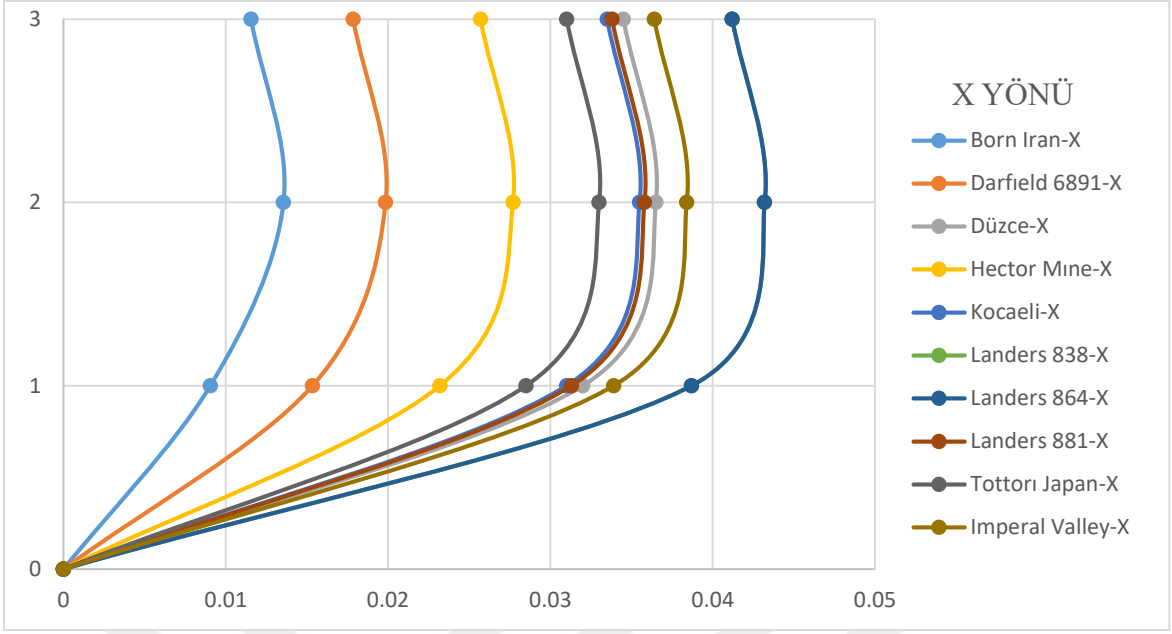
	EW	NS
<b><u>Vt(X,max)</u></b>	28442	11733
<b><u>Vt(Y,max)</u></b>	12248	44996
<b><u>Ut(X,max)</u></b>	0.0310	0.0144
<b><u>Ut(Y,max)</u></b>	0.0179	0.0120

Şekil 76. Tottori Japan deprem kaydı sonuçları

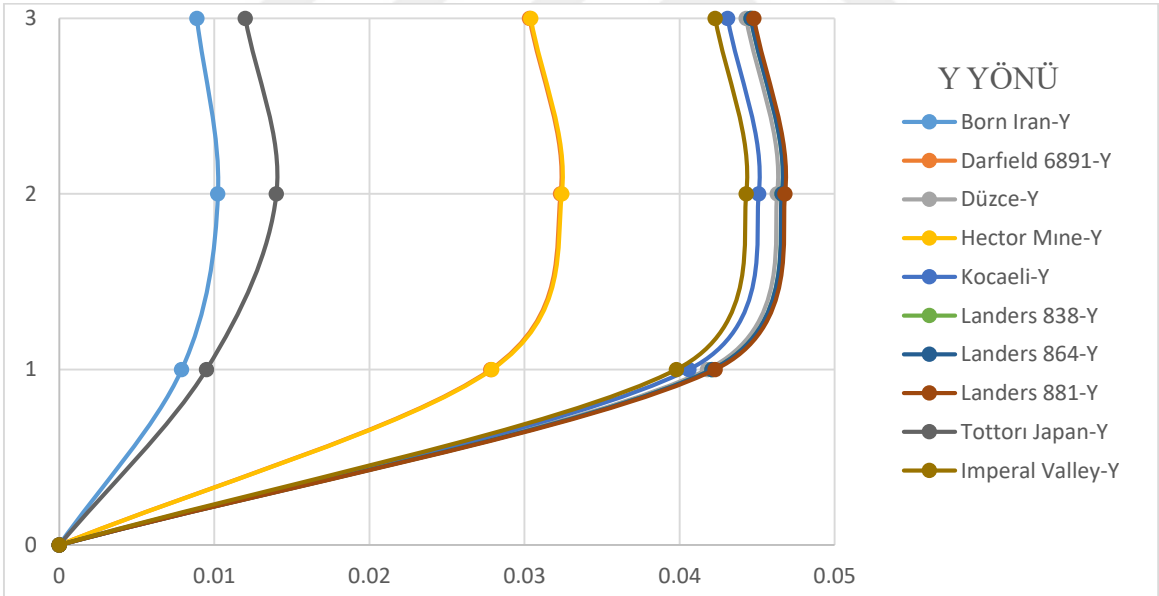


	EW	NS
<b><u>Vt(X,max)</u></b>	43369	12622
<b><u>Vt(Y,max)</u></b>	9587	36881
<b><u>Ut(X,max)</u></b>	0.0364	0.0222
<b><u>Ut(Y,max)</u></b>	0.0105	0.0423

Şekil 77. Imperial Valley deprem kaydı sonuçları



Şekil 78. 11 adet kaydın X yönlü görece kat ötelenme oranları



Şekil 79. 11 adet kaydın Y yönlü görece kat ötelenme oranları

Şekil 78-79'da deprem kayıtlarına ait verilen ötelenmelerin hem X yönü için hem de Y yönü için durumları gösterilmektedir.

Belirlenen deprem kayıtlarına ait çözümlene sonrası yapılan analizde yapıda kolon ve kirişlerde göçmeler meydana gelmiştir. Teker teker kayıtların X ve Y yönündeki mutlak değerce maksimum taban kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirme değerleri incelenmiştir. 11 adet kayıt gözönünde bulundurulmuş yapıda sonuçların birbirine çok yakın değerler göstermiş olması seçilen deprem kayıtlarının yapı içinde uygunluğunu göstermektedir. Yapıdaki en büyük taban kesme kuvveti X deprem kuvvetleri için Imperial Valley deprem kaydının sonuçlarından elde edilmiştir. Y deprem kuvveti yönündeki en büyük taban kesme kuvveti Darfield 6891 olarak adlandırılan deprem kaydı analizi sonrası elde edilmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları değerlendirmesinde, yapılan analizde 11 adet deprem kaydının mutlak değerce elde edilmiş olan maksimum değerlerinin ortalaması alınarak X yönünde oluşan taban kesme kuvveti 340003 kN, elde edilen yerdeğiştirme değeri 0.02787 m'dir. Y yönü deprem kayıtlarından elde edilen ortalamaya göre; 39919 kN taban kesme kuvveti ve 0.03554 m yerdeğiştirme elde edilmiştir. Yönetmeliğin belirlemiş olduğu etkin görece kat ötelenmelerine ait sınır değeri Denklem 37'de verilmiştir.

$$\lambda \frac{\delta_{i, \max}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad (37)$$

$\lambda$ ; DD-3 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmeye olan oranıdır.

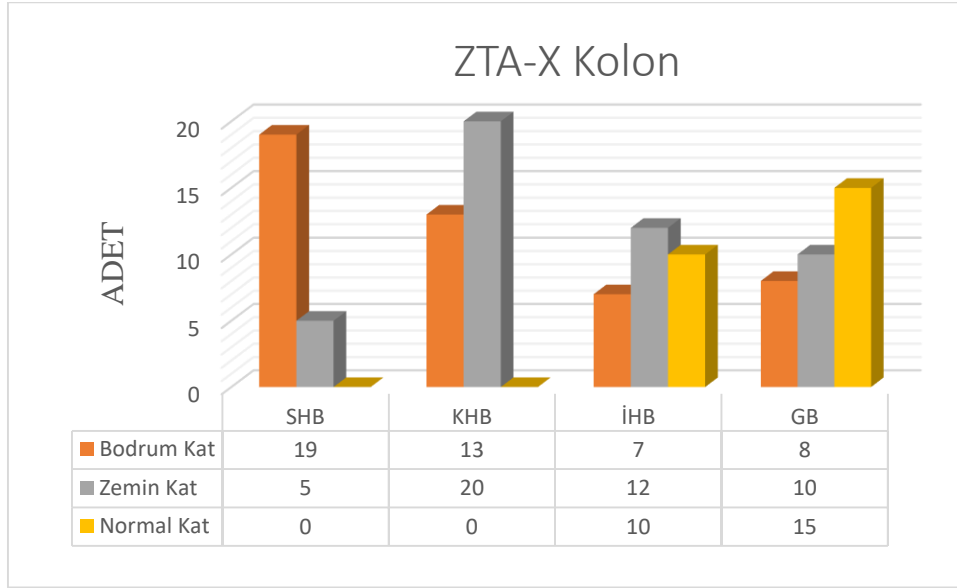
$\kappa$ ; betonarme binalarda 1, çelik binalarda 0.5 alınarak kullanılır.

Mevcut yapının deplasman sınır değerini hesaplamak için mevcut yapıya ilişkin bilgiler denklemde yerlerine yazıldığında aşağıda verilen değer elde edilir:

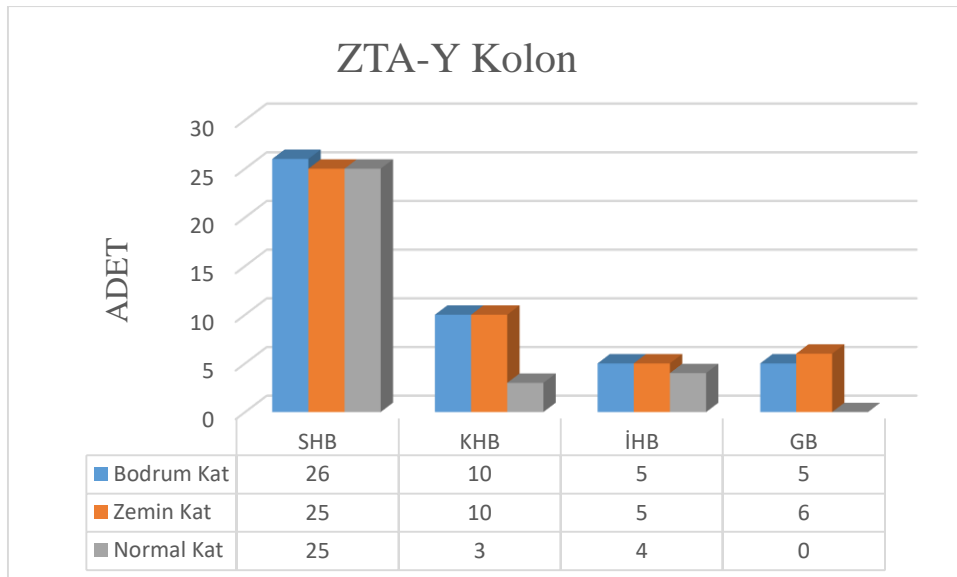
$$\delta_{i, \max} \leq (0.008 \times \kappa \times h_i) / \lambda = (0.008 \times 1 \times 3.36) \times (0.257 / 0.621) = 0.0649 \text{ elde edilir.}$$

Mevcut yapıda sınır değeri aşan ötelenme görülmemiştir. Ancak göçme bölgesine geçen taşıyıcı eleman olduğu için DD-1 deprem düzeyinin KH bölgesinin sağlanmadığı görülmektedir. Gerekli olan kısımlarda yapıda güçlendirme yapılması gerekmektedir.

Zaman tanım alanında analizi gerçekleştirilen mevcut yapının 11 adet deprem ivme kaydı için sonuçlarına bakıldığında yapının taşıyıcı elemanlarında göçmelerin meydana geldiğini yapılan analizler sonucu belirlemiş olduk. 11 adet kaydın ayrı ayrı X ve Y yönleri için kombinasyonlar oluşturularak, ZTA-X ve ZTA-Y kombinasyonları altındaki durumu Şekil 80 ve Şekil 81 görülmektedir.



Şekil 80. 11 Adet kaydın X yönlü kombinasyon sonuçları



Şekil 81. 11 Adet kaydın Y yönlü kombinasyon sonuçları

Mevcut yapıda kolonlara ait verilmiş olan plastik mafsal sonuçlarında X yönlü kombinasyon 124 adet kolonun 24 adedi SHB (%19.4), 38 adedi KHB (%30.6), 29 adedi İHB (%23.4), 33 adedi GB (%26.6) kalmaktadır. Y yönlü deprem kombinasyonu için 124 adet kolonun 76 adedi SHB (%61.3), 23 adedi KHB (%18.5), 14 adedi İHB (%11.3), 11 adedi GB (%8.9) kalmaktadır.

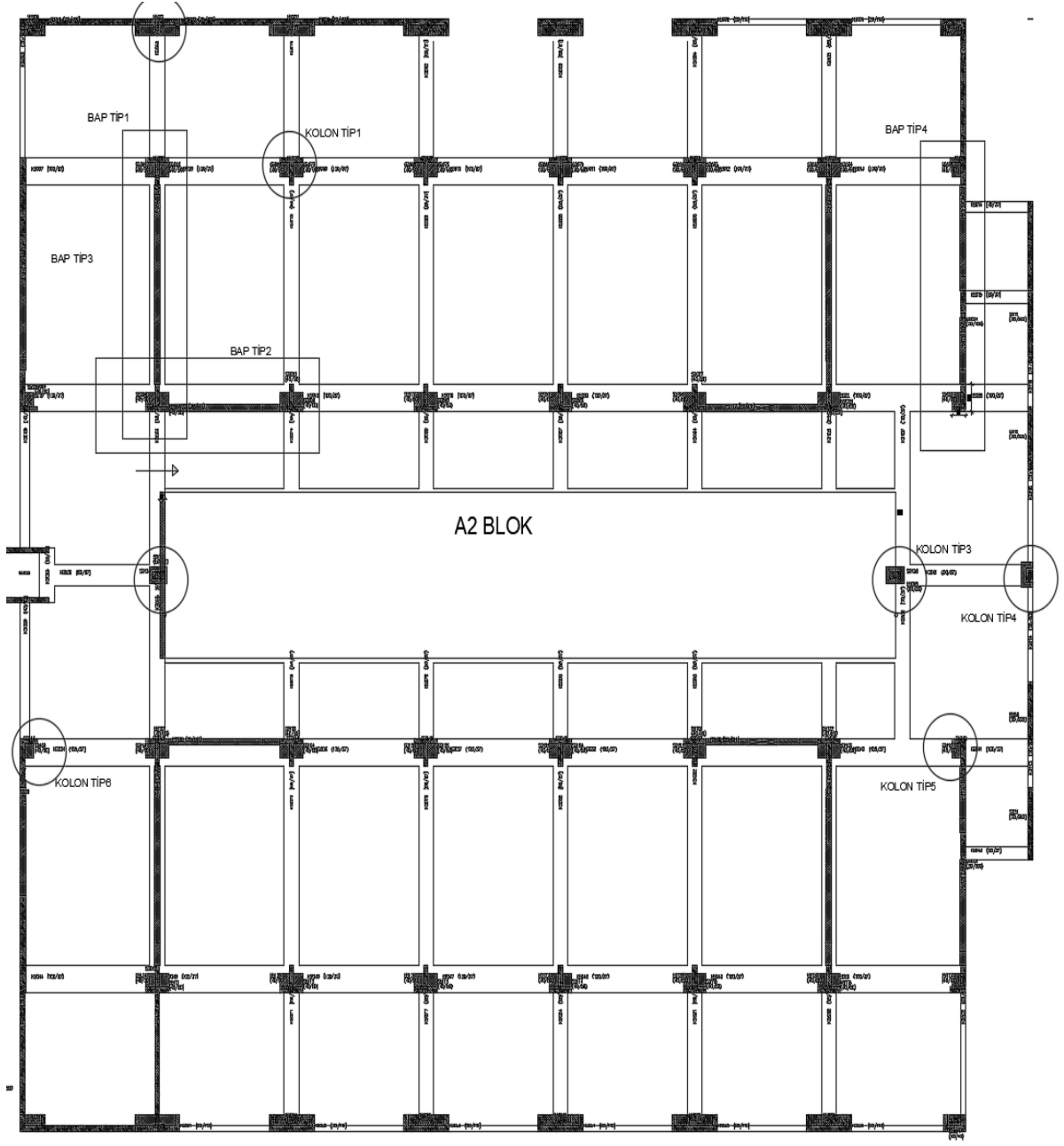
### **3.4. Güçlendirilmiş Yapıya İlişkin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz**

#### **Adımları**

#### **3.4.1. Genel Bilgiler**

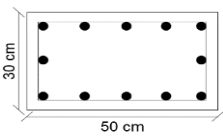
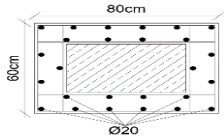
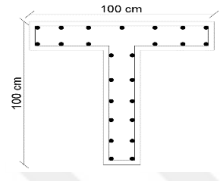
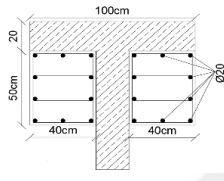
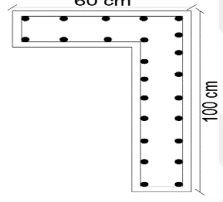
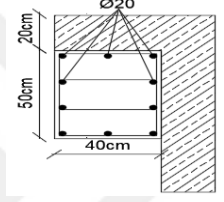
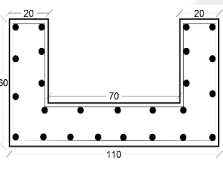
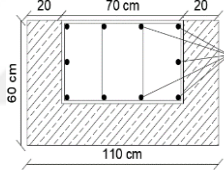
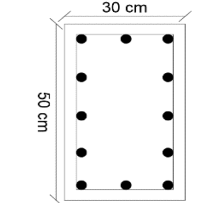
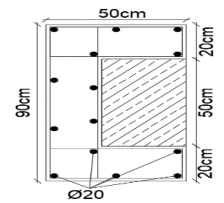
Mevcut yapılarda meydana gelen hasarlar yapıları yıkıp yeniden inşa etmek gibi maliyetli yollar yerine onların onarılması veya güçlendirilmesi gibi daha ucuz yollu çalışmaları beraberinde getirmiştir.

Eğitim kurumunun mevcut halde doğrusal ve doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiş, güçlendirme çalışması yapılan yapının değerlendirmesi bu bölümde gerçekleştirilecektir. T ve L kesitli kolonlarda ve 30\*50, 50\*30 cm ebatlarında olan mevcut kolonlarda mantolama işlemleri yapılmış ve gerekli görülen taşıyıcı elemanların yetersiz olduğu yerlerde perde ilaveleri yapılmıştır. Şekil 82’de yerleştirilen perde detayları ve mantolama uygulanan kolon detayları görülmektedir. Güçlendirilmiş elemanlarda beton sınıfı olarak C30 betonu kullanılan taşıyıcı elemanlarda S420 sınıfı tercih edilmiştir. Güçlendirme yapılan kolonlarda Ø20 donatı çapı kullanılmıştır. Etriye donatısı Ø10 mm kullanılmıştır Epoksi yardımıyla kolon aralarına yerleştirilen perdelerde Ø16 donatı çapı kullanılmıştır. Tevzi donatısı olarak ise Ø12/15 tercih edilmiştir. Tablo 26’da güçlendirme çalışması gerçekleştirilmiş kolon detayları gösterilmektedir. Mevcut kolon detayları ve güçlendirme çalışmasının nerede yapıldığı görülmektedir.

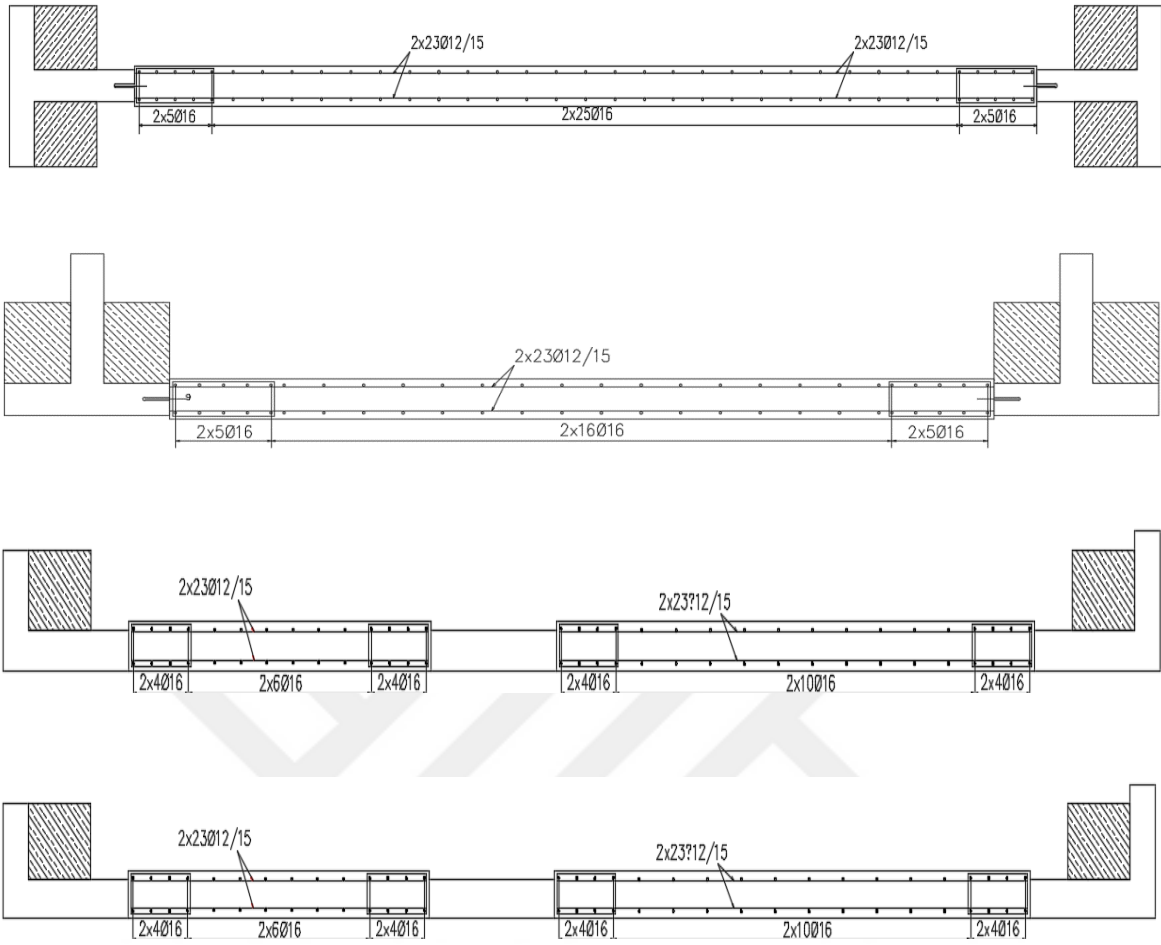


Şekil 82. Güçlendirme yapılan çalışmaların gösterildiği kalıp planı

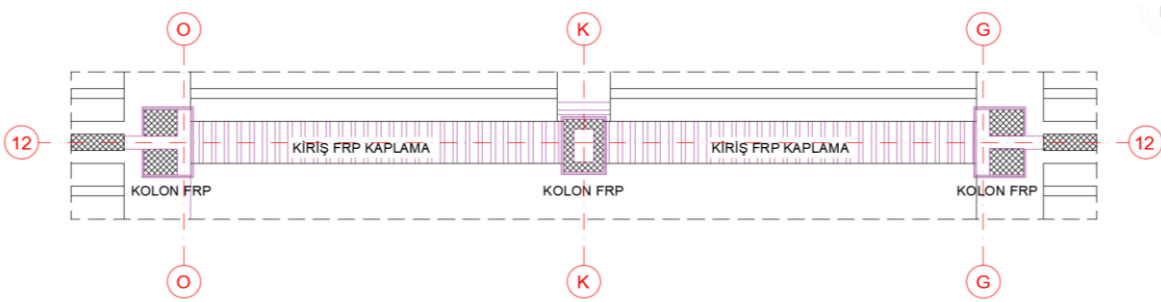
Tablo 26. Güçlendirme çalışması gerçekleştirilen kolon detayları

Mevcut Kolon Kesitleri	Güçlendirilmiş Kolon Kesitleri	Mevcut Kolon Boyutları (m)	Güçlendir. Çalışmalar	Mevcut Boyuna Donatı	Güçl. Boyuna Donatı
		S(50*30)	S(80*60)	12Ø16	Ø20
		T Kesit S(100*100)	S(40*50)	25Ø16	Ø20
		L Kesit S(60*100)	S(40*50)	25Ø16	Ø20
		U Kesit S(110*60)	S(70*40)	25Ø16	Ø20
		S(30*50)	S(50*90)	12Ø16	Ø20

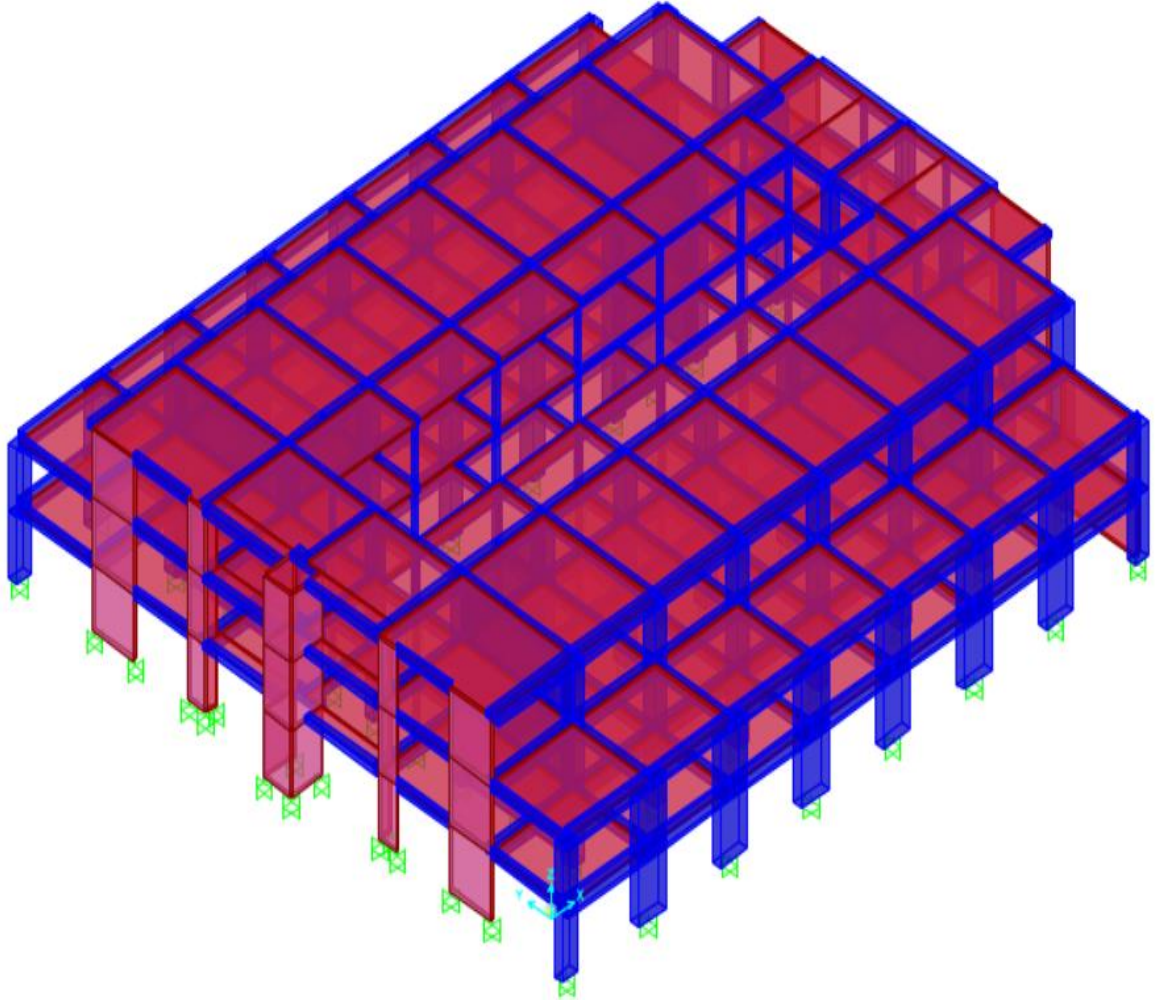
Mevcut yapıda yetersiz kalan kolonlarda gerçekleştirilen bir diğer güçlendirme çalışması da perde ilavesidir. Genellikle bu yetersizlik durumu T ve L kesitli kolonların orta kısımlarına perde yerleştirilmesiyle dayanım sağlanmaya çalışılmıştır. Perde donatıları Ø16 mm, perdelerine ait tevzi donatıları ise Ø12 mm olarak güçlendirme yapılmıştır. Şekil 83'te güçlendirme durumunda ilave perde detayları gösterilmektedir. Şekil 84'te FRP uygulanmış örnek bir kiriş detayı görülmektedir.



Şekil 83. Güçlendirme esnasında ilave edilen perde detayları



Şekil 84. FRP uygulaması yapılan kiriş gösterimi



Şekil 85. Güçlendirilen okul binasının 3D sonlu elemanlar modeli

Projeye uygun olarak gerekli yerlere perde ilavesi yapılan güçlendirme binasının 3 boyutlu modeli Şekil 85'te verilmiştir. Kolonlara mantolama işlemide güçlendirme yapısında projeye uygun olarak ilave edilmiştir. Tablo 27'de güçlendirilen okul binasının periyot değerleri görülmektedir. Güçlendirilmiş yapının mevcut yapıya oranla daha rijit bir davranış sergilediği tablodan okunan periyot değerlerinden görülmektedir.

Tablo 27. Mevcut binanın periyot değerleri ve kütle katılım oranları

Mod sayısı	Periyot	X yönü kütle katılım oranı (UX)	Y yönü kütle katılım oranı (UY)	Toplam UX	Toplam UY
Mod 1	0.105	<b>0.712</b>	0.00004341	0.71192	0.0000434
Mod 2	0.089	0.032	0.01075	0.74402	0.01079
Mod 3	0.084	2.1-04	<b>0.73029</b>	0.74422	0.74108
Mod 4	0.079	8.5-06	0.00003539	0.74423	0.74112
.....	.....	.....	.....	.....	.....
Mod 18	9.263E-08	1.6-06	1.119E-05	0.74427	0.7493
Mod 19	6.639E-08	3.2-05	1.827E-09	0.74427	0.74933
Mod 20	1.964-06	0.00135	1.432E-09	0.74428	0.75068

### 3.4.2. Güçlendirilmiş Yapıda Düzensizlik Kontrolleri

Mevcut yapıda verildiği gibi Sta4cadden elde edilen düzensizlik kontrolleri aynı şekilde güçlendirilmiş yapı içinde analiz edilmiş sonuçları X ve Y için Tablo 28-29'da verilmektedir. Mevcut yapıda oluşmuş olan düzensizlik ilave taşıyıcı elemanların yapıda oluşturduğu rijitlikle beraber ortadan kalkmıştır.

Tablo 28. X yönü düzensizlik kontrolleri

Kat	$\Delta X_{düst}$ (m)	$\Delta X_{dalt}$ (m)	$\Delta X_{ort.}$	nbi	nki	$R/I \times \Delta x/h$	$\theta_i$
Normal Kat	0.002139	0.002182	0.002161	1.01	0	0.00260 (✓)	0.00224 (✓)
Zemin Kat	0.002014	0.002159	0.002087	1.03	0.97	0.00257 (✓)	0.00274 (✓)
Bodrum Kat	0.001056	0.001229	0.001143	1.08	0.55	0.00146 (✓)	0.00188 (✓)

Tablo 29. Y yönü düzensizlik kontrolleri

Kat	$\Delta Y$ düst (m)	$\Delta Y$ dalt (m)	$\Delta Y$ ort.	nbi	nki	R/I $\times$ $\Delta y$ /h	$\theta_i$
Normal Kat	0.000845	0.0007881	0.000817	1.03	0	0.00101 (✓)	0.00087 (✓)
Zemin Kat	0.000948	0.0007083	0.000828	1.14	1.01	0.00113 (✓)	0.00110 (✓)
Bodrum Kat	0.000544	0.0005159	0.000530	1.03	0.6	0.00061 (✓)	0.00081 (✓)

### 3.4.3. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Adımları

Sta4cad programı ile değerlendirilmiş ve güçlendirme çalışması yapılmış olan eğitim kurumunun Sap2000 programı aracılığı ile doğrusal ve doğrusal olmayan deprem analizleri gerçekleştirilmiş taşıyıcı elemanlarda göçmeler meydana geldiği doğrusal olmayan deprem hesabı ile gösterilmiştir. Aynı deprem hesap adımları yetersiz kesitlerde uygulanan güçlendirme çalışmaları sonrası tekrar edilecek taşıyıcı elemanların ve yeni eklenen perde elemanların kesitlerde yeterli olup olmadığı ve yapının genel itibari ile durumu incelenip ne gibi farklılıkların meydana gelmiş olduğu mukayese yapılarak irdelenecektir.

#### 3.4.3.1. Eşdeğer Deprem Yüğü

Yapının mevcut hali için olan değerlendirme de geçerli olan hesap adımları güçlendirilmiş hali içinde aynı şekilde uygulanmıştır. Yapının periyodunun ve ağırlığının göz önünde bulundurularak hesap adımları gerçekleştirilen bu yöntem kat hizalarına etkittirilecek olan deprem kuvvetlerinin doğrusal olmayan tek modlu itme analizinde kullanılarak taşıyıcı eleman uç bölgelerinde mafsallaşma oluşup oluşmadığına bakılmıştır. Mevcut durum ile yeni durum kıyas edilmiştir. Mevcut yapıda analiz adımları gerçekleştirilirken R=1 alınmıştır. Güçlendirme elemanlarda R=4 alınarak analizler yapılmıştır.

$$V_t E^{(X)} = m_t \times S_a R(T) \geq 0.0.4 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g$$

$$= 7143 \times 0.543 \times 9.81 = 38050 \text{ kN}$$

$$S_a e(T) = S_{DS} = 1.412$$

$$(T_A = 0.7 \leq T = 0.10511 \leq T_B = 0.348)$$

$$R_a(T) = D + ((R/I) - D) \times (T/T_B)$$

$$(T = 0.10511 \leq T_B = 0.348)$$

$$R_a(T) = 2 + ((4/1) - 2) \times (0.10511/0.348) = 2.60$$

$$SaR(T)=1.412/2.60 = 0.543$$

$$VtE^{(Y)} = mt \times SaR(T) \geq 0.0.4 \times mt \times I \times S_{DS} \times g$$

$$=7143 \times 0.569 \times 9.81=39871 \text{ kN}$$

$$Sae(T)=S_{DS} = 1.412$$

$$(T_A=0.7 \leq T=0.08383 \leq T_B=0.348)$$

$$R_a(T)=D+((R/I)-D) \times (T/T_B)$$

$$(T=0.08383 \leq T_B=0.348)$$

$$R_a(T)=2+((4/1)-2) \times (0.08383/0.348)=2.48$$

$$SaR(T)=1.412/2.48=0.569$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 \times 3 \times 38050=856$$

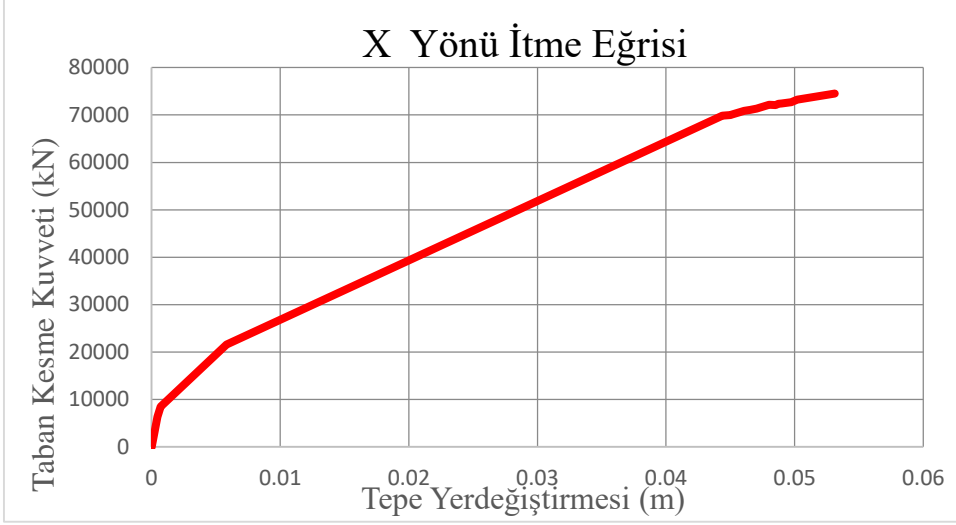
$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0.0075 \times 3 \times 75600=897$$

Tablo 30. Güçlendirilmiş yapı eşdeğer deprem yükü hesabı

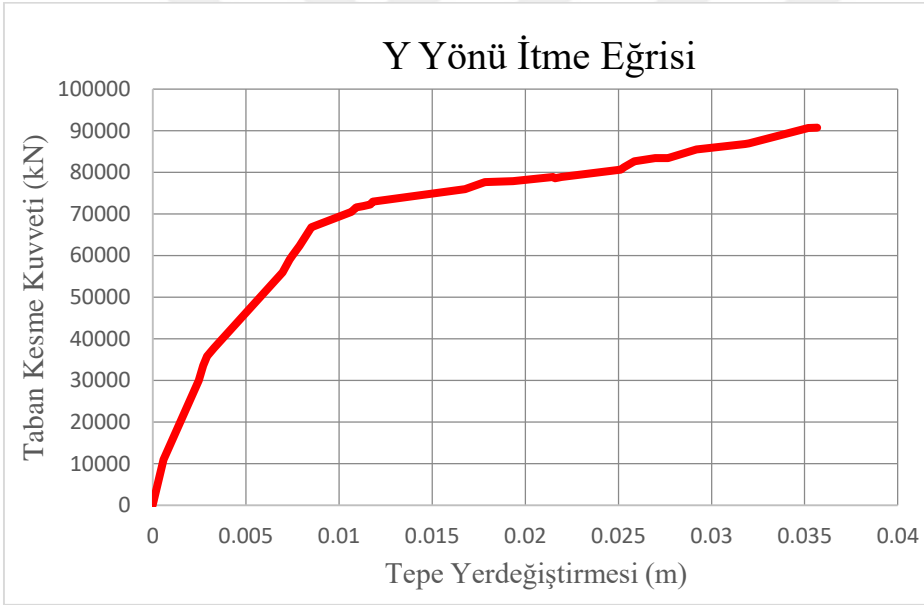
Kat	hi	Hi	M	Wi	Wi*Hi	Oran	FiX	FiY
Normal Kat	3.36	10.08	1791	17570	177103	0.401419	15786	16542
Zemin Kat	3.36	6.72	2660	26095	175356	0.397460	14783	15491
Bodrum Kat	3.36	3.36	2692	26409	88733	0.201121	7480	7838
			<b>7143.0</b>	<b>70072.8</b>	<b>441191.0</b>	<b>1.000000</b>		
							38050	39871

### 3.4.3.2. Tek Modlu İtme Analizi

Mevcut yapı için gerçekleştirilen itme analizi taşıyıcı elemanlara plastik mafsalların tanımlanması ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut yapıda olduğu gibi aynı işlem adımları güçlendirilmiş yapı içinde gerçekleştirilmiştir. Modal kapasite eğrisi (itme eğrisi) X ve Y için Şekil 86-87’de gösterilmektedir.



Şekil 86. Güçlendirilmiş yapı X yönü itme eğrisi



Şekil 87. Güçlendirilmiş yapı Y yönü itme eğrisi

Şekil 86-87'de anlaşılacağı üzere yapının güçlendirilmesi ile yapı daha rijit davranış göstermektedir. Oluşturulan itme eğrilerinde mevcut yapıda daha fazla bir deplasman söz konusuken güçlendirilmiş yapıda oluşan deplasman mevcut yapıya kıyasla daha azdır. Çünkü yapılan güçlendirme çalışmaları sonrası yapı daha rijit oluşan periyot değerleri daha azdır.

İtme eğrisi ile ilgili bilgilerin verildiği analiz adımlarının bir sonraki adımında güçlendirilmiş yapıya ilişkin modal kapasite diyagramlarına ilişkin bilgiler verilecektir. Tablo 30-31 X ve Y yönü için modaal kapasite diyagramlarına ait koordinatlar görülmektedir.

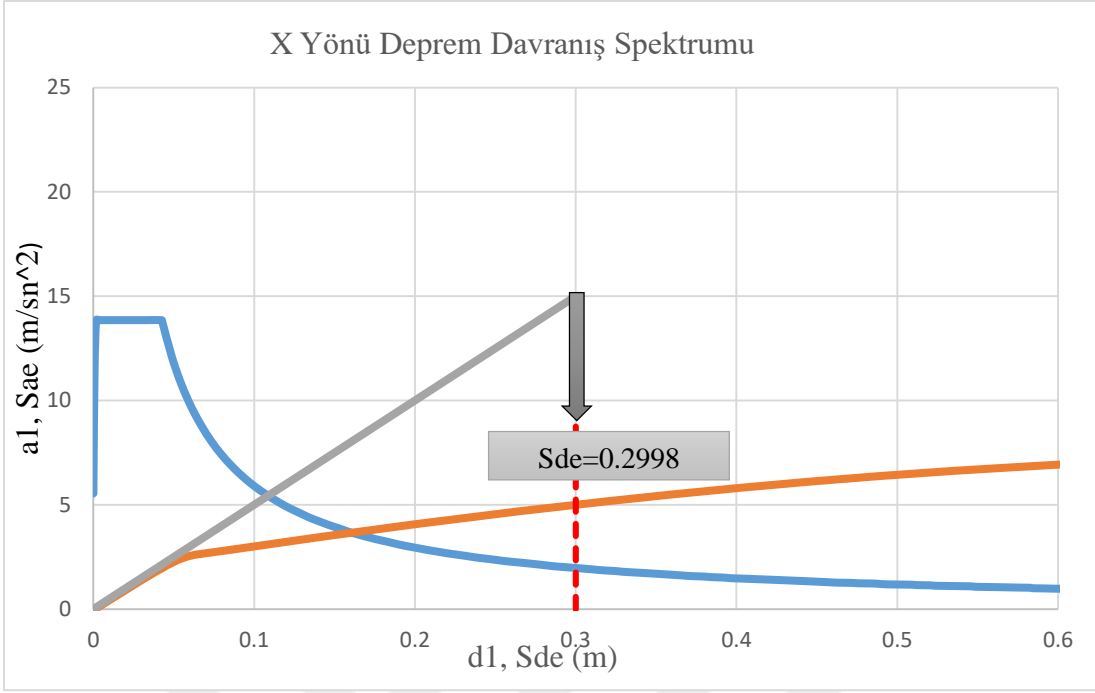
Tablo 31. X Yönü deprem doğrultusu modal kapasite diyagramının koordinatları

Yerdeğiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Etkili Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1. modun katılım çarpanı	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
$u^{(i)}_{xN1}$ (m)	$V^{(i)}_{x1}$ (kN)	$M^*x1$	$\Phi_{xN1}$	$\Gamma_{x1}$	$d^{(i)}_1$ (m)	$a^{(i)}_1$ (m/sn <sup>2</sup> )
0.000011	0	3212	0.0216	0.48	0.001	0.000
0.000452	6355.6	3212	0.0216	0.48	0.043	1.979
0.000690	8467.5	3212	0.0216	0.48	0.066	2.636
0.005832	21625.0	3212	0.0216	0.48	0.558	6.732
0.044374	69841.6	3212	0.0216	0.48	4.244	21.744
0.044375	69862.6	3212	0.0216	0.48	4.244	21.750
0.044390	69863.5	3212	0.0216	0.48	4.245	21.750
0.044394	69866.0	3212	0.0216	0.48	4.246	21.751
0.044419	69867.8	3212	0.0216	0.48	4.248	21.752
0.045028	70018.0	3212	0.0216	0.48	4.306	21.798
0.045081	70059.0	3212	0.0216	0.48	4.311	21.811
0.046083	70865.0	3212	0.0216	0.48	4.407	22.062
0.046557	71078.6	3212	0.0216	0.48	4.452	22.129
0.047047	71336.5	3212	0.0216	0.48	4.499	22.209
0.048021	72131.6	3212	0.0216	0.48	4.592	22.456
0.048510	72119.7	3212	0.0216	0.48	4.639	22.453
0.048747	72387.3	3212	0.0216	0.48	4.662	22.536
0.048991	72438.0	3212	0.0216	0.48	4.685	22.552
0.049732	72717.8	3212	0.0216	0.48	4.756	22.639
0.050210	73261.3	3212	0.0216	0.48	4.802	22.808
0.053115	74555.9	3212	0.0216	0.48	5.080	23.211

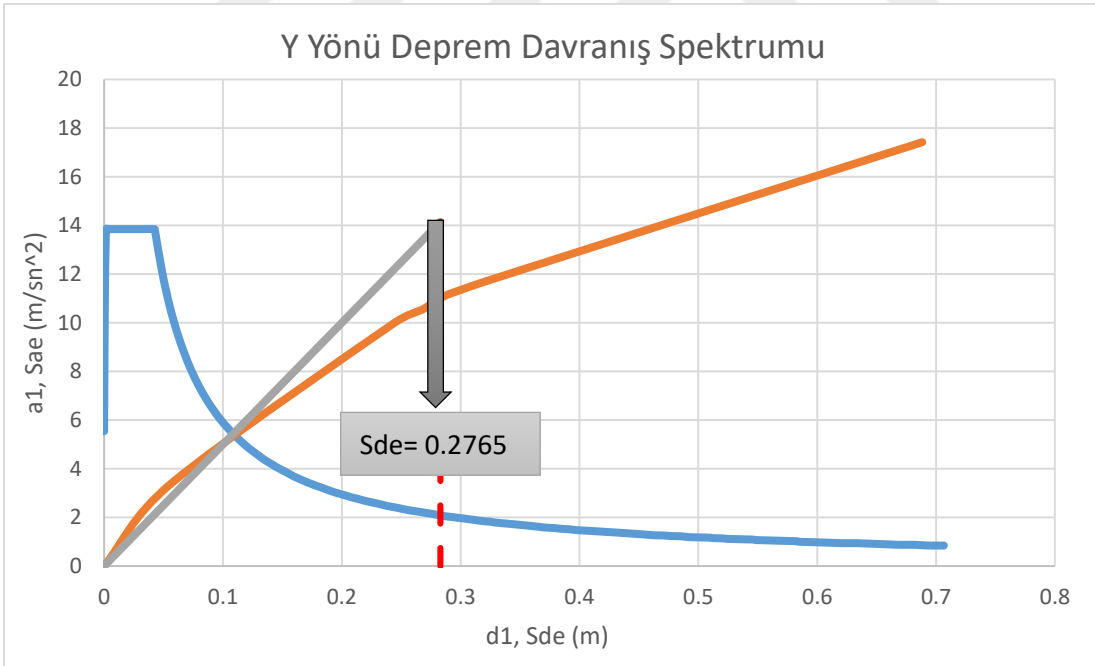
Tablo 32. Yönü deprem doğrultusu modal kapasite diyagramının koordinatları

Yerdeğiştirme	Taban Kesme Kuvveti	Etkili Modal Kütle	Tepe Noktası Genliği	1. modun katılım çarpanı	Modal Yerdeğiştirme	Modal İvme
$u^{(i)}_{xN1}$ (m)	$V^{(i)}_{x1}$ (kN)	$M^*x1$	$\Phi_{xn1}$	$\Gamma_{x1}$	$d^{(i)}_1$ (m)	$a^{(i)}_1$ (m/sn <sup>2</sup> )
7.66E-07	0	3212.02	0.0209	0.4841	0.000	0.000
0.000572	10913.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.057	3.398
0.002472	29908.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.244	9.311
0.002707	33563.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.268	10.449
0.002914	35768.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.288	11.136
0.003288	37796.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.325	11.767
0.006965	55968.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.688	17.425
0.007354	59008.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.727	18.371
0.007497	60008.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.741	18.683
0.007887	62345.6	3212.02	0.0209	0.4841	0.780	19.410
0.008524	66769.2	3212.02	0.0209	0.4841	0.842	20.787
0.010672	70499.2	3212.02	0.0209	0.4841	1.055	21.949
0.010932	71569.2	3212.02	0.0209	0.4841	1.080	22.282
0.011299	71899.1	3212.02	0.0209	0.4841	1.117	22.384
0.011688	72305.1	3212.02	0.0209	0.4841	1.155	22.511
0.011821	72995.1	3212.02	0.0209	0.4841	1.168	22.726
0.016763	75995.1	3212.02	0.0209	0.4841	1.657	23.660
0.017835	77695.1	3212.02	0.0209	0.4841	1.763	24.189
0.019347	77895.1	3212.02	0.0209	0.4841	1.912	24.251
0.021486	78895.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.124	24.562
0.021604	78595.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.135	24.469
0.021945	78895.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.169	24.562
0.025131	80695.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.484	25.123
0.02529	81195.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.500	25.279
0.02586	82678.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.556	25.740
0.026971	83395.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.666	25.963
0.02766	83395.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.734	25.963
0.029196	85495.1	3212.02	0.0209	0.4841	2.886	26.617
0.031799	86795.1	3212.02	0.0209	0.4841	3.143	27.022
0.032009	86995.1	3212.02	0.0209	0.4841	3.164	27.084
0.035189	90695.1	3212.02	0.0209	0.4841	3.478	28.236
0.035669	90705.1	3212.02	0.0209	0.4841	3.525	28.239

Güçlendirilmiş durumda modal kapasite eğrisi ve yapı davranış spektrumunun çakıştırılması ile elde edilen tepe yerdeğiştirme ile yapının hem X hem de Y yönü performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Çakıştırmaya dair işlem adımlarının gösterilmiş olduğu şekiller Şekil 88-89'da gösterilmektedir.



Şekil 88. X Yönu davranış spektrumu

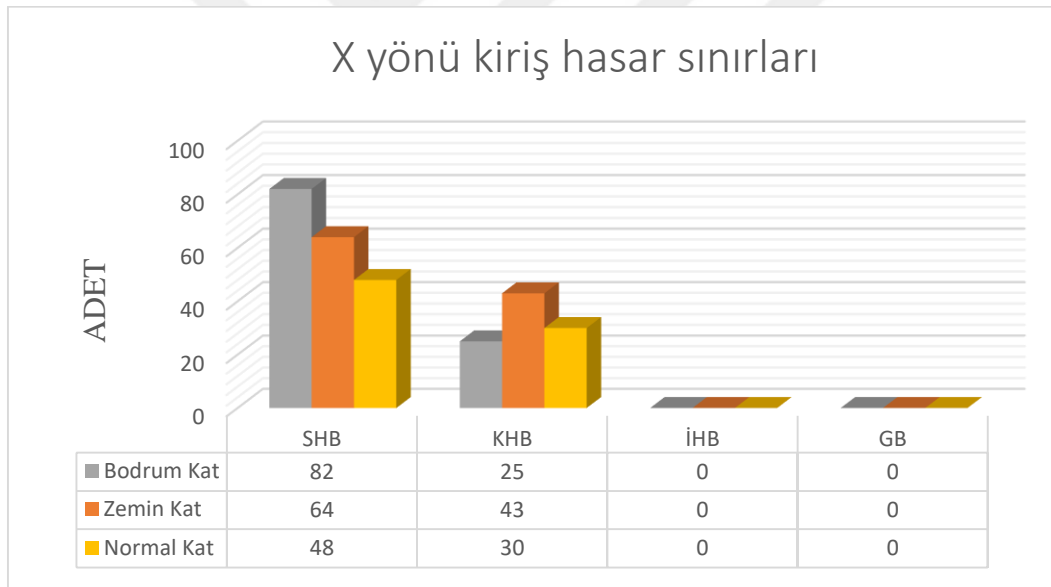


Şekil 89. Y Yönu davranış spektrumu

### 3.4.3.2.1. Kirişlere Ait Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Mevcut yapı sonrası değerlendirilmesi yapılan güçlendirilmiş yapının kirişlere ait olan değerlendirilmesinde Tablo 18 değerleri göz önünde bulunudurularak kıyas edilen plastik mafsal oluşumları aşağıda verilmektedir. Mevcut yapıya kıyasla plastik mafsallaşmanın KHB bölgesinde kaldığı güçlendirilmiş yapıda, yapının rijitliğinin artmasına bağlı olarak yanal ötelenmelerde sınırlanmıştır. FRP uygulaması gerçekleştirilen kirişler gerekli görülen yerlere perde taşıyıcı elemanlarında eklenmesi ile yapının gelebilecek büyük depremlere karşı dayanımının artırılması sağlanmıştır.

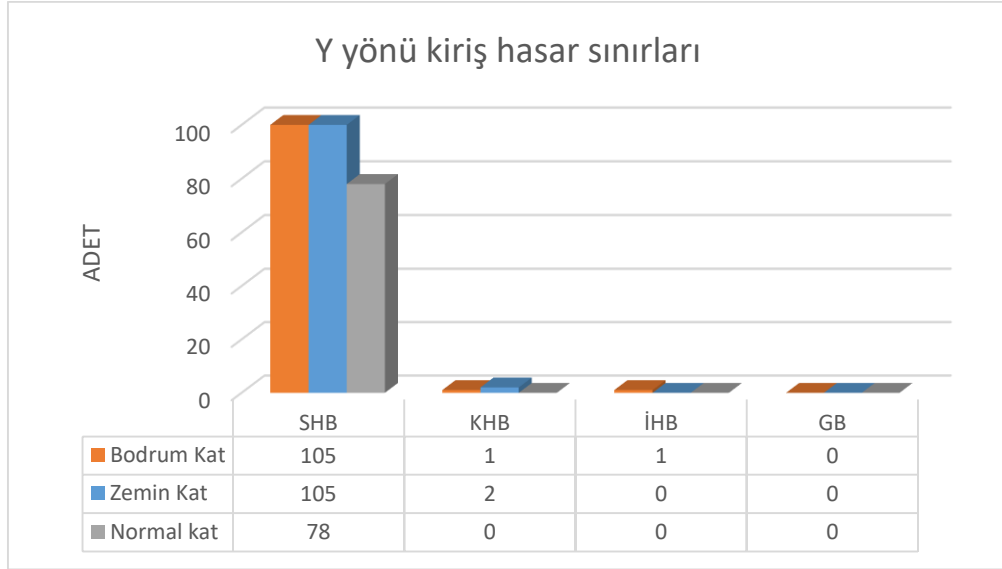
Bodrum kat, zemin kat ve normal katlardaki plastik mafsallaşma sonuçları Şekil 90 ve Şekil 91 gösterilmektedir. Mevcut yapıdan farklı olarak görüleceği üzere; göçmelerin meydana geldiği kirişler perde eleman ilavesi ile yanal ötelenmeler sınırlandırılmış ve göçmeler önlenmiştir. Ayrıca kirişlerde FRP uygulaması yapılmıştır.



Şekil 90. Güçlendirilmiş yapıya ait X yönü kiriş hasar sınırları

Bodrum katta 107 adet kirişin 82 adedi SHB (%76.6), 25 adedi KHB (%23.4) kalmıştır. Zemin katta 107 adet kirişin 64 adedi SHB (%59.8), 43 adedi KHB (%40.2) bölgesinde kalmıştır. Normal katta ise 78 adet kirişin 48 adedi SHB (%61.5), 30 adedi KHB (%38.5) kalmıştır. TBDY-2018 yönetmeliğinin belirlemiş olduğu KH standartlarına göre kirişlerin en fazla %35'i İHB bölgesine geçebilir. Güçlendirilmiş yapıdan elde edilen plastik

mafsallaşma noktalarına bakıldığında Bodrum kat, zemin kat ve normal katlarda kirişlerin hiçbiri İHB geçmemiş, KHB bölgesinde kalmıştır. DD-1 deprem düzeyinde KH yapılan güçlendirme çalışması sonrası sağlanmıştır.



Şekil 91. Güçlendirilmiş yapıya ait Y yönü kiriş hasar sınırları

Bodrum katta 107 adet kirişin 105 adedi SHB (%98), 1 adedi KHB (%1), 1 adedi (%1) İHB bölgesinde kalmıştır. Zemin katta 107 adet kirişin 105 adedi SHB (%98), 2 adedi KHB (%2) bölgesinde kalmıştır. Normal katta ise 78 adet kirişin 78 adedi SHB (%100) kalmıştır. TBDY-2018 yönetmeliğinin belirlemiş olduğu KH standartlarına göre kirişlerin en fazla %35'i İHB bölgesine geçebilir. Güçlendirilmiş yapıdan elde edilen plastik mafsallaşma noktalarına bakıldığında Bodrum katta 1 adet kolon İHB geçmiştir. Bu değer %35'i aşmadığı için DD-1 deprem düzeyinin KH sınır şartını sağladığı görülmüştür.

Tablo 33'te X yönü analizi için 3. Kat kirişlere ait plastik mafsal değerleri gösterilmektedir. Tasarlanan kirişlerin donatı ve beton sınıfına göre elde edilen akma ve maksimum momentlerinin analiz sonrası elde edilen plastik mafsal değerleri ile toplanarak elde edilen toplam akma eğriliği değerine karşılık gelen beton ve çeliğe ait sınır değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler mevcut yapıda Tablo 33 değerleri ile kıyas edilerek hangi hasar sınırı bölgesinde kaldığı belirlenmiştir ve aşağıdaki tablo elde edilmiştir.

Tablo 33. Güçlendirilmiş yapıya ait kiriş hasar sınırları

Kiriş Adı	Lp (m)	R3 (rad)	ϑp (rad/m)	ϑy (rad/m)	ϑt (rad/m)	εc	εs	Hasar Durum
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0008	0.0041	0.00892	0.01305	0.00423	0.00689	
K(20/60)	0.185	0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	SHB
K(20/60)		0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0021	0.0111	0.00892	0.02004	0.004125	0.0075	
K(100/37)	0.185	0.0018	0.0095	0.00892	0.01845	0.00382	0.0056	KHB
K(100/37)		0.0011	0.0062	0.00892	0.01507	0.004128	0.00546	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0017	0.0090	0.00892	0.01793	0.00363	0.0062	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	SHB
K(100/37)		0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	
K(100/37)	0.185	0.0020	0.0107	0.00892	0.01964	0.003122	0.0069	KHB
K(100/37)		0.0005	0.0027	0.00892	0.01159	0.002827	0.0056	
K(20/60)	0.185	0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	SHB
K(20/60)		0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	
K(20/60)	0.185	0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	SHB
K(20/60)		0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	
K(20/60)	0.185	0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	SHB
K(20/60)		0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0020	0.0110	0.00892	0.01992	0.003122	0.007	
K(100/37)	0.185	0.0018	0.0096	0.00892	0.01855	0.00382	0.0064	KHB
K(100/37)		0.0011	0.0062	0.00892	0.01510	0.00413	0.00546	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0017	0.0091	0.00892	0.01803	0.00351	0.0056	
K(100/37)	0.185	0.0020	0.0109	0.00892	0.01984	0.00352	0.0069	KHB
K(100/37)		0.0005	0.0027	0.00892	0.01162	0.00326	0.0071	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.0024	0.0071	KHB
K(100/37)		0.0008	0.0043	0.01124	0.01553	0.0027	0.0076	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00906	0.00906	0.00229	0.0065	SHB
K(100/37)		0	0	0.00906	0.00906	0.00229	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	

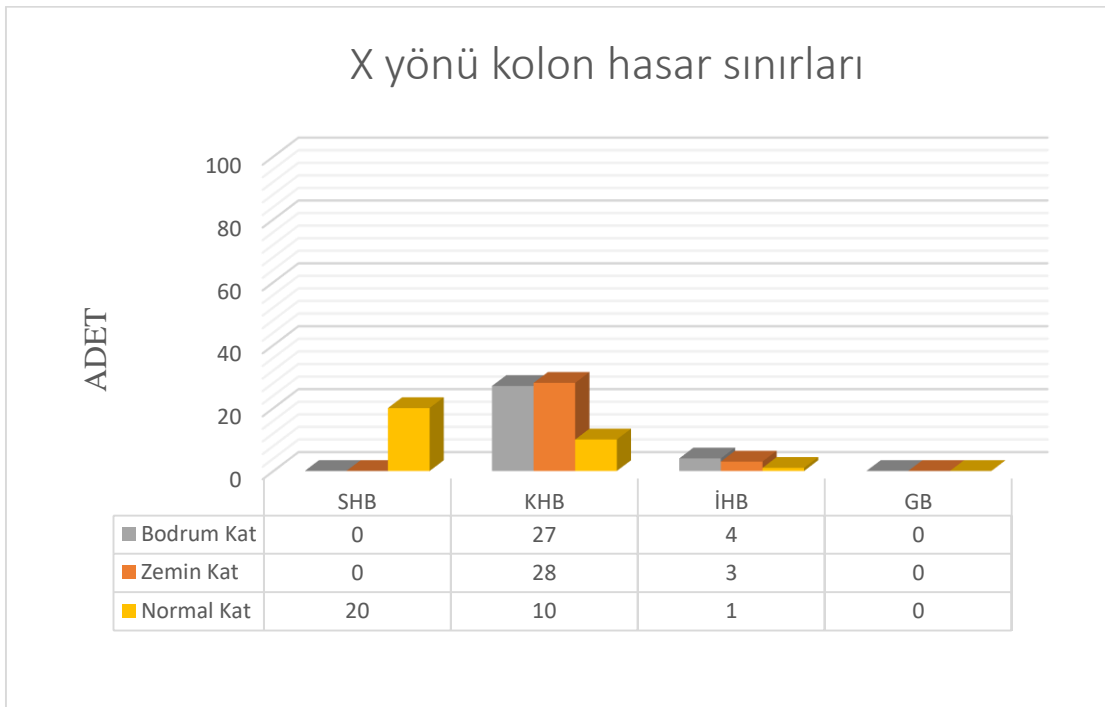
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0017	0.0091	0.00892	0.01797	0.00326	0.0071	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0030	0.0160	0.00892	0.02496	0.00375	0.007	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0030	0.0161	0.00892	0.02497	0.00375	0.007	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0030	0.0160	0.00892	0.02494	0.00375	0.007	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0029	0.0159	0.00892	0.02480	0.00375	0.007	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0030	0.0161	0.00892	0.02499	0.00375	0.007	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0030	0.0161	0.00892	0.02499	0.00375	0.007	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	SHB
K(100/37)		0	0	0.00892	0.00892	0.00089	0.0073	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00940	0.00940	0.00069	0.0073	KHB
K(100/37)		0.0029	0.0159	0.00940	0.02531	0.00377	0.0071	
K(100/37)	0.185	0	0	0.00940	0.00940	0.00096	0.0054	SHB
K(100/37)		0	0	0.00940	0.00940	0.00096	0.0054	
K(15/37)	0.185	0	0	0.01124	0.01124	0.00306	0.0068	SHB
K(15/37)		0	0	0.01124	0.01124	0.00306	0.0068	
K(80/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	KHB
K(80/37)		0.0035	0.0192	0.00919	0.02837	0.00379	0.0069	
K(80/37)	0.185	0.0000	0.0000	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	KHB
K(80/37)		0.0014	0.0075	0.00919	0.01668	0.00356	0.0068	
K(15/37)	0.185	0	0	0.01124	0.01124	0.00306	0.0068	SHB
K(15/37)		0	0	0.01124	0.01124	0.00306	0.0068	



K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.3	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.3	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.3	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.3	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.3	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(20/60)	0.185	0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	SHB
K(20/60)		0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	
K(20/60)	0.185	0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	SHB
K(20/60)		0	0	0.00494	0.00494	0.00089	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00172	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(65/37)	0.185	0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	SHB
K(65/37)		0	0	0.00919	0.00919	0.00239	0.0065	
K(100/37)	0.185	0.0009	0.0050	0.00919	0.01424	0.00205	0.0065	KHB
K(100/37)		0.0013	0.0071	0.00919	0.01624	0.00225	0.0065	
K(100/37)	0.185	0.0009	0.0050	0.00919	0.01422	0.00207	0.0065	KHB
K(100/37)		0.0013	0.0070	0.00919	0.01622	0.00214	0.0065	

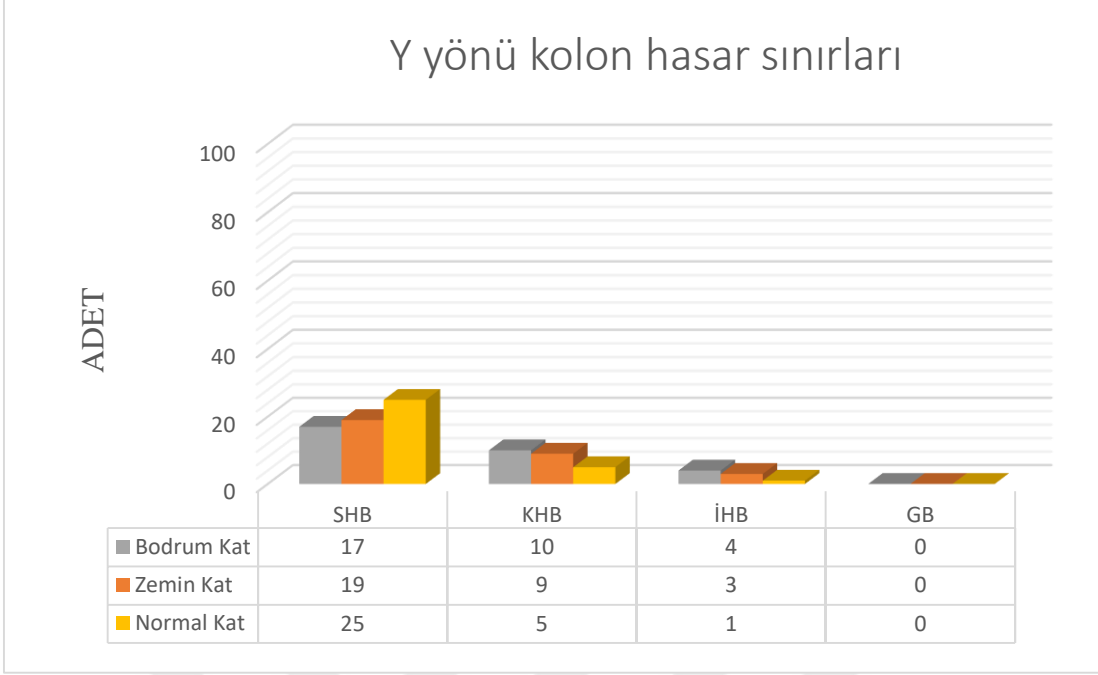
### 3.4.3.2.2. Kolonlara Ait Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

En fazla göçmenin olduğu kolonlara yapılan mantolama çalışması sonrası bakıldığında kolonların çok az miktarının İHB kaldığı görülmüş, hiçbir kolonda göçme meydana gelmemiştir. T ve L kesitli kolonlar arasına yapılan perde ilavesi ile depreme karşı dayanıklılık artırılmış, kolonlarda meydana gelen ötelenme hareketleri sınırlandırılarak taşıyıcı elemanlardaki yük aktarımı ilave edilen taşıyıcı elemanlar ile daha iyi paylaştırılmıştır. Yapı depreme karşı daha güvenli hale getirilmiştir. Şekil 92-93 'te katlarda oluşan plastik mafsallaşmaların adetleri görülmektedir.



Şekil 92. Güçlendirilmiş yapıya ait X yönü kolon hasar sınırları

Mevcut kolonlar dışında değerlendirilmesi yapılan güçlendirilmiş elemanların hasar sınırlarına ait durum grafiklerde görülmektedir. X yönüne ait değerlendirilmesi yapılmış tüm kolonlarda, 93 adet kolonun 20 adedi SHB (%21.5), 65 adedi KHB (%69.9), 8 adedi İHB (%8.6) kalmıştır.



Şekil 93. Güçlendirilmiş yapıya ait Y yönü kolon hasar sınırları

Mevcut kolonlar dışında değerlendirilmesi yapılan güçlendirilmiş elemanların hasar sınırlarına ait durum grafiklerde görülmektedir. Y yönüne ait değerlendirilmesi yapılmış tüm kolonlarda, 93 adet kolonun 61 adedi SHB (%65.6), 24 adedi KHB (%25.8), 8 adedi İHB (%8.6) kalmıştır.

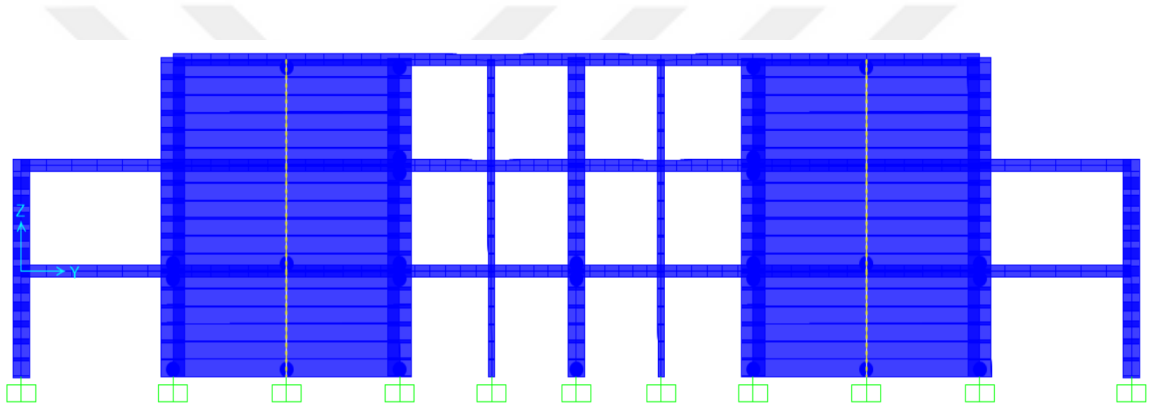
Tablo 34. Güçlendirilmiş kolona ait değerler

Kolon Adı	R3 Plastik (rad)	Lp (m)	$\vartheta_p$ (rad/m)	$\vartheta_y$ (rad/m)	$\vartheta_t$ (rad/m)	$\epsilon_c$	$\epsilon_s$	Hasar Durum
S(TT)3.kat	0.001463	0.5	0.00293	0.00438	0.03162	0.0276	0.0074	KHB
S(TT)3.kat	0.002084		0.00417	0.00436	0.01594	0.0312	0.0089	
S(DT)3.kat	0.001054	0.5	0.00211	0.00295	0.03204	0.0255	0.0072	KHB
S(DT)3.kat	0.001377		0.00275	0.00294	0.04028	0.0382	0.0081	
S(50/30)	0.013299	0.25	0.05320	0.00823	0.06142	0.0470	0.0060	İHB
S(50/30)	0.016539		0.06616	0.00819	0.07434	0.0625	0.0097	
S(TT)3.kat	0.000931	0.5	0.00186	0.00481	0.03598	0.0254	0.0036	KHB
S(TT)3.kat	0.002941		0.00588	0.00477	0.03720	0.0259	0.0074	
S(DT)3.kat	0.001033	0.5	0.00207	0.00282	0.03132	0.0251	0.0070	KHB
S(DT)3.kat	0.000794		0.00159	0.00484	0.02637	0.0654	0.0087	
S(TT)3.kat	0.001261	0.5	0.00252	0.00440	0.00693	0.0031	0.0054	KHB
S(TT)3.kat	0.001738		0.00348	0.00438	0.00785	0.0035	0.0060	
S(DT)3.kat	0.000957	0.5	0.00191	0.00288	0.02928	0.0635	0.0244	İHB
S(DT)3.kat	0.00089		0.00178	0.00287	0.02699	0.0675	0.0225	
S(TT)3.kat	0.000938	0.5	0.00188	0.00451	0.00638	0.0257	0.0031	KHB
S(TT)3.kat	0.00262		0.00524	0.00447	0.00971	0.0044	0.0049	
S(DT)3.kat	0.001027	0.5	0.00205	0.00282	0.03117	0.0035	0.0087	KHB
S(DT)3.kat	0.000558		0.00112	0.00282	0.01794	0.0022	0.0147	
S(TT)3.kat	0.001142	0.5	0.00228	0.00440	0.00669	0.0032	0.0346	KHB
S(TT)3.kat	0.001741		0.00348	0.00438	0.00786	0.0036	0.0041	
S(DT)3.kat	0.000961	0.5	0.00192	0.00288	0.02939	0.0035	0.0244	İHB
S(DT)3.kat	0.000922		0.00184	0.00287	0.02788	0.0032	0.0225	
S(TT)3.kat	0.000867	0.5	0.00173	0.00452	0.00626	0.0030	0.0029 88	KHB
S(TT)3.kat	0.002605		0.00521	0.00449	0.00970	0.0044	0.0049 36	
S(DT)3.kat	0.001034	0.5	0.00207	0.00283	0.03137	0.0034	0.0252	KHB
S(DT)3.kat	0.000586		0.00117	0.00496	0.02085	0.0025	0.0171	
S(TT)3.kat	0.001021	0.5	0.00204	0.00440	0.00644	0.0030	0.0032 03	KHB
S(TT)3.kat	0.00166		0.00332	0.00437	0.00769	0.0034	0.0039 64	
S(DT)3.kat	0.000964	0.5	0.00193	0.00288	0.02947	0.0035	0.0244	İHB
S(DT)3.kat	0.000935		0.00187	0.00287	0.02821	0.0033	0.0229	

S(TT)3.kat	0.000803	0.5	0.00161	0.00463	0.00624	0.0276	0.0029	KHB
S(TT)3.kat	0.00209		0.00418	0.00450	0.00868	0.0312	0.0043	
S(DT)3.kat	0.001037	0.5	0.00207	0.00283	0.03144	0.0255	0.0261	KHB
S(DT)3.kat	0.000594		0.00119	0.00496	0.02107	0.0382	0.0175	
S(TT)3.kat	0.000941	0.5	0.00188	0.00440	0.00628	0.0470	0.0032	KHB
S(TT)3.kat	0.001424		0.00285	0.00437	0.00722	0.0625	0.0040	
S(DT)3.kat	0.000963	0.5	0.00193	0.00288	0.02944	0.0254	0.0235	İHB
S(DT)3.kat	0.000891		0.00178	0.00287	0.02701	0.0276	0.0225	
S(TT)3.kat	0.000726	0.5	0.00145	0.00454	0.00599	0.0312	0.3396	KHB
S(TT)3.kat	0.00168		0.00336	0.00451	0.00787	0.0255	0.3873	
S(DT)3.kat	0.00105	0.5	0.0021	0.00283	0.03181	0.0382	0.0265	KHB
S(DT)3.kat	0.000536		0.00107	0.00282	0.01734	0.0470	0.0142	
S(TT)3.kat	0.000825	0.5	0.00165	0.00440	0.00605	0.0625	0.0032	KHB
S(TT)3.kat	0.001479		0.00296	0.00437	0.00733	0.0254	0.0040	
S(DT)3.kat	0.001237	0.5	0.00247	0.00281	0.03694	0.0259	0.0303	KHB
S(DT)3.kat	0.001635		0.00327	0.00280	0.04712	0.0251	0.039	
S(TT)3.kat	0.000548	0.5	0.00110	0.00435	0.00544	0.0276	0.0027	KHB
S(TT)3.kat	0.001917		0.00383	0.00432	0.00816	0.0312	0.0043	
S(DT)3.kat	0.001091	0.5	0.00218	0.00283	0.03294	0.0255	0.0276	KHB
S(DT)3.kat	0.000875		0.00175	0.00282	0.02654	0.0382	0.0224	
S(50/30)	0.016225	0.25	0.0649	0.00721	0.07211	0.0470	0.0219	KHB
S(50/30)	0.021736		0.08694	0.00718	0.09412	0.0625	0.0283	
S(AL)	0.001327	0.5	0.00265	0.002858	0.02978	0.0254	0.0247	KHB
S(AL)	0.002422		0.00484	0.002849	0.01581	0.0259	0.0129	
S(20/100)	0.023208	0.1	0.23208	0.0221	0.25418	0.0251	0.0238	KHB
S(20/100)	0.021021		0.21021	0.0222	0.23241	0.0276	0.0218	
S(YL)	0.000641	0.5	0.00128	0.003987	0.00527	0.0276	0.0029	KHB
S(YL)	0.001367		0.00273	0.003971	0.00671	0.0312	0.0038	
S(AL)	0.001571	0.5	0.00314	0.002757	0.06323	0.0255	0.0535	KHB
S(AL)	0.000466		0.00093	0.002748	0.06387	0.0382	0.0542	
S(20/100)	0.021479	0.1	0.21479	0.022	0.23679	0.0470	0.0224	KHB
S(20/100)	0.017438		0.17438	0.022	0.19638	0.0625	0.0186	
S(YL)	0.001818	0.5	0.00364	0.004153	0.03147	0.0254	0.0185	KHB
S(YL)	0.002306		0.00461	0.004131	0.00922	0.0036	0.0052	
S(30/50)	0.012514	0.15	0.08343	0.0144	0.09783	0.0056	0.0153	KHB
S(30/50)	0.015985		0.10657	0.0142	0.12077	0.0071	0.0195	

### 3.4.3.2.3. İlave Edilen Perdelere Ait Plastik Mafsall Değerlendirilmesi

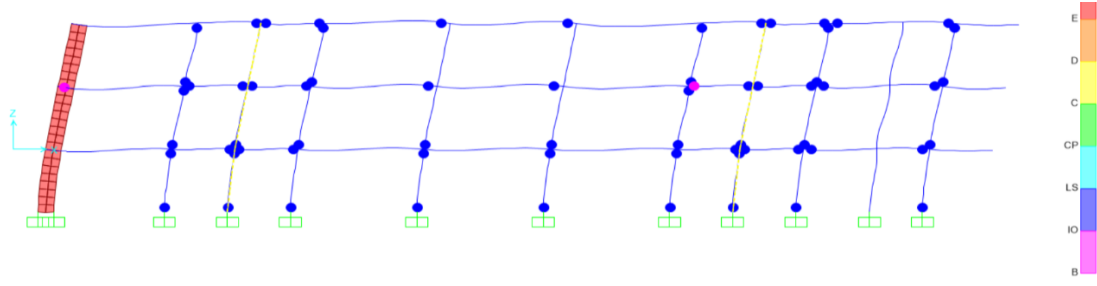
Güçlendirme çalışmalarında X ve Y doğrultusunda çalışan perde ilaveleri T ve L kesitli kolonlar arasına yerleştirilmiştir. Perde kalınlıkları 20 cm, beton sınıfı C30 ve S420 çelik sınıfı alınmıştır. Perdelere ait donatı detayları Şekil 83'te görülmektedir. Güçlendirilmiş projeye uygun olarak perdeler tanımlanmış ve projeye uygun şekilde yerleştirilmiş analiz yapılmıştır. Güçlendirme perdeleri programa giriş orta noktalarından çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Tablo 4'de taşıyıcı sistem elemanlarına ait verilmiş olan etkin kesit rijitlikleri çarpanlarından perde çubuk elemanlara ait olan değerlerde perde taşıyıcı elemanlar için tanımlanmıştır. Şekil 94'te çubuk elemana ait olan perde taşıyıcı eleman için bir adet örnek görülmektedir.



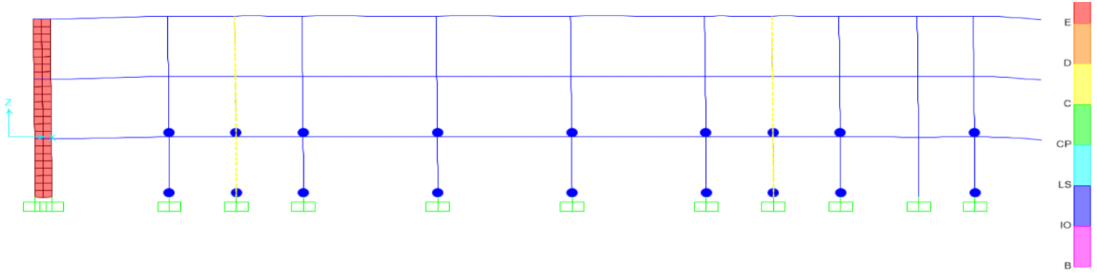
Şekil 94. Çubuk perde elemana ait örnek bir model

Plastik mafsallaşma durumu kolon ve kirişler için detaylı olarak incelenmiştir. Yeni perde elemanlar için de bu durum incelenmiş ve perdelerin hangi sınırlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Tablo 33'de güçlendirme perdelerinin POX yönü deprem kuvveti için oluşan hasar sınırları verilmiştir. Bodrum kat, zemin kat ve normal katlara ait verilmiş olan hasar sınırların hiçbirinde İHB ve GB oluşmamıştır.

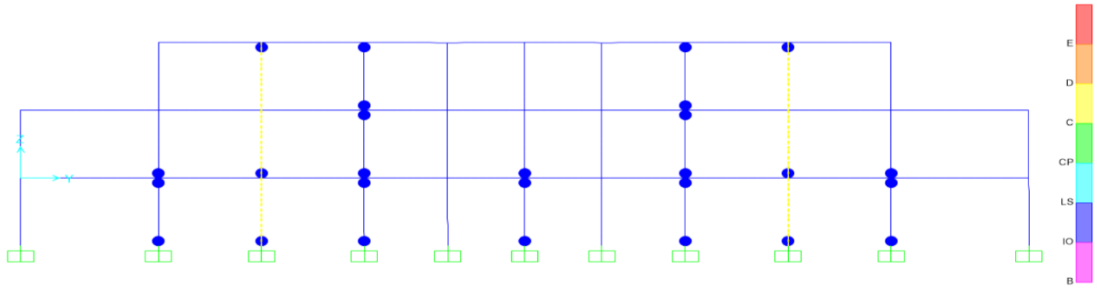
Şekil 95-96'da mevcut yapıda güçlendirme yapılırken ilave edilen perde taşıyıcı elemanların POX deprem kuvvetine ait oluşan plastik mafsallar görülmektedir. Şekil 97-98'de aynı perdelere ait POY deprem kuvvetine ait plastik mafsall bölgeleri görülmektedir. PERDE3 ve PERDE 4 detayları görsellerde işaretlenmiş olarak görülmektedir.



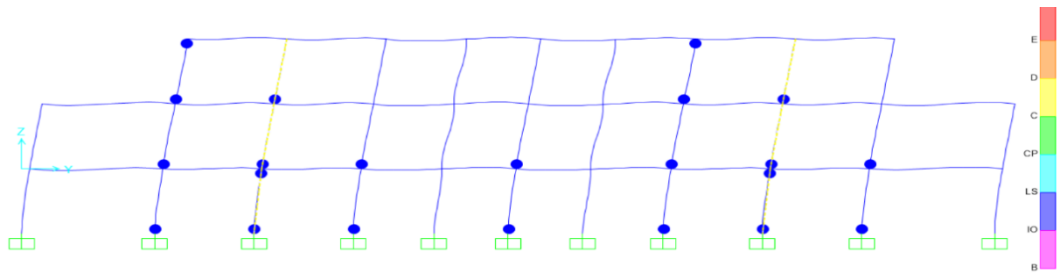
Şekil 95. PERDE 3 POX yönü perde hasar bölgeleri



Şekil 96. PERDE 3 POY yönü perde hasar bölgeleri



Şekil 97. PERDE 4 POX yönü perde hasar bölgeleri



Şekil 98. PERDE 4 POY yönü perde hasar bölgeleri

Güçlendirilmiş yapıda PERDE 3 ve PERDE 4 detaylarına ait sonuçları değerlendirildiğinde POX deprem kuvveti yönünde bodrum kat, zemin kat ve normal katlarda yapılan değerlendirmede toplamda 12 adet olan PERDE 3'ün 4 adedi (%33.3) SHB, 8 adedi (%66.7) KHB bölgesinde bulunmaktadır. PERDE 4'e ait sonuçlara bakılacak olursa 12 adet plastik mafsal bölgesinin 12 adedi (%100) KHB bulunmaktadır.

POY deprem kuvveti yönünde 12 adet taşıyıcı elemana ait plastik mafsal bölgesinin 4 adedi (%33.3) SHB, 8 adedi (%66.7) KHB bulunmaktadır. PERDE 4 ilave perdesine ait plastik mafsallaşma durumuna bakacak olursak 1 adedi (%8.3) SHB, 11 adedi (%91.7) KHB bölgesinde bulunmaktadır.

İlave PERDE 3 ve PERDE 4'e ait 11 adet deprem ivme kaydının EW ve NS yönlü taban sap2000 programının Base Reactions opsiyonundan elde edilen taban kesme ve toplam taban kesme kuvveti değerlerine ait yüzdelik oran Tablo 35'te gösterilmektedir. Gelen deprem kuvvetlerinin çubuk eleman olarak tanımlanmış perdenin yüzde kaçını tarafından karşılandığı görülmektedir.

Tablo 35. PERDE 3 ve PERDE 4 taban kesme kuvvetlerine ait yüzdelikler

Deprem Adı	İstasyon Adı	EW			NS		
		$\sum Vd(t)$ (kN)	VtE(t) (kN)	%	$\sum Vd(t)$ (kN)	VtE(t) (kN)	%
Bam_Iran	M. Abad-Madkoon	59958	74323	81	60587	74247	82
Darfield_Zealand	CSHS	54898	74055	74	55727	74248	75
Darfield Zealand	SPFS	57450	74115	75	57993	74248	78
Duzce Turkey	Lamont 1061	60166	74092	81	61377	74250	83
Hector Mine	Amboy	56267	74417	76	57437	74247	77
Imperial Valley 06	Cerro Prieto	50835	74065	69	45464	74256	61
Landers	Barstow	48353	74343	65	52224	74247	70
Landers	Joshua Tree	58353	74343	78	58884	74244	79
Landers	Morongo Valley Fire	58643	74136	79	60125	74264	81
Tottori Japan	SMNH03	58162	74443	78	62256	74268	84
Kocaeli Turkey	Iznic	56041	74385	75	59442	74262	80

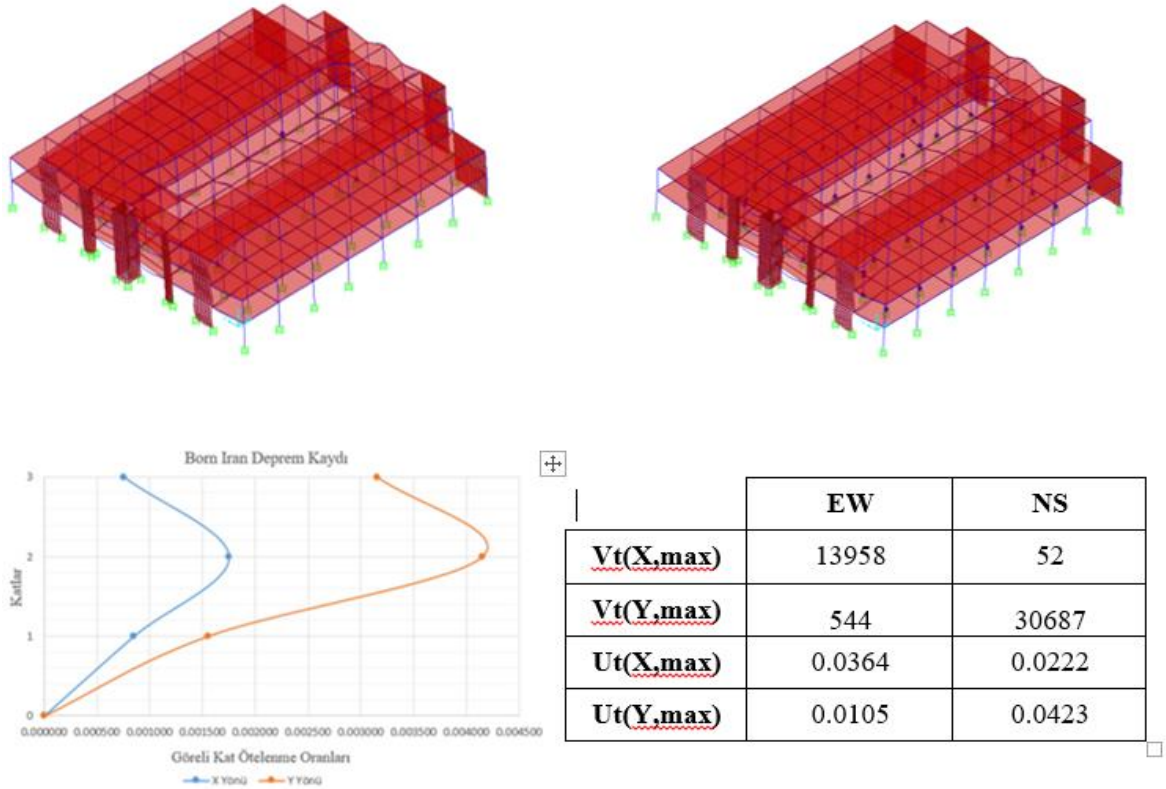
Tablo 36. Güçlendirilmiş yapıda ilave perdelere ait X deprem yönlü hasar sınırları

Perde Adı	Plast. Maf. Adı	R3 Plastik (rad)	Lp (m)	$\vartheta_p$ rad/m	$\vartheta_y$ rad/m	$\vartheta_t$ rad/m	$\epsilon_c$	$\epsilon_s$	Hasar Durum
PERDE 3	218H1	0	3	0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	SHB
PERDE 3	218H2	0		0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	
PERDE 3	222H1	0	3	0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	SHB
PERDE 3	222H2	0		0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	
PERDE 3	225H1	0	3	0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	KHB
PERDE 3	225H2	0.0025		0.0008	0.0005	0.0013	0.00256	0.0071	
PERDE 3	258H1	0	3	0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	KHB
PERDE 3	258H2	0.0025		0.0008	0.0005	0.0013	0.00256	0.0071	
PERDE 3	261H1	0.0000	3	6E-06	0.0005	0.0015	0.00353	0.0261	KHB
PERDE 3	261H2	0.0036		0.0012	0.0005	0.0017	0.00307	0.0224	
PERDE 3	263H1	0.0000	3	6E-06	0.0005	0.0015	0.00314	0.0069	KHB
PERDE 3	263H2	0.0036		0.0012	0.0005	0.0017	0.00347	0.0040	
PERDE 3	290H1	0	3	0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	SHB
PERDE 3	290H2	0		0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	
PERDE 3	291H1	0	3	0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	SHB
PERDE 3	291H2	0		0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	
PERDE 3	293H1	0	3	0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	KHB
PERDE 3	293H2	0.0024		0.0008	0.0005	0.0013	0.00220	0.0065	
PERDE 3	295H1	0	3	0	0.0005	0.0005	0.00087	0.0054	KHB
PERDE 3	295H2	0.0024		0.0008	0.0005	0.0013	0.00220	0.0065	
PERDE 3	296H1	0.0001	3	5E-05	0.0005	0.0015	0.00349	0.0045	KHB
PERDE 3	296H2	0.0035		0.0012	0.0005	0.0016	0.00323	0.0063	
PERDE 3	297H1	0.0002	3	6E-05	0.0005	0.0015	0.00349	0.0045	KHB
PERDE 3	297H2	0.0035		0.0012	0.0005	0.0016	0.00449	0.0045	
PERDE 4	342H1	0.0021	0.1	0.0210	0.0005	0.0215	0.00568	0.0075	KHB
PERDE 4	342H2	0		0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	
PERDE 4	343H1	0	0.1	0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	KHB
PERDE 4	343H2	0.0013		0.0132	0.0005	0.0137	0.00468	0.0070	
PERDE 4	345H1	0.0021	0.1	0.0211	0.0005	0.0216	0.00568	0.0072	KHB
PERDE 4	345H2	0		0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	
PERDE 4	346H1	0	0.1	0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	KHB
PERDE 4	346H2	0.0016		0.0156	0.0005	0.0161	0.00668	0.0075	
PERDE 4	347H1	0	0.1	0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	KHB

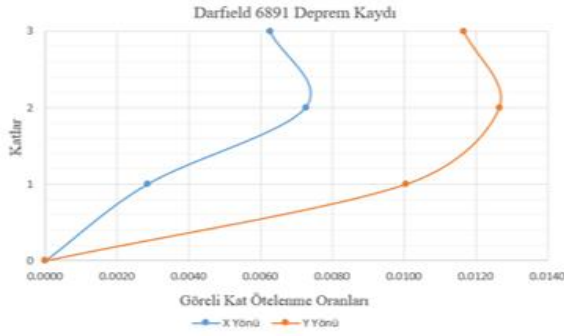
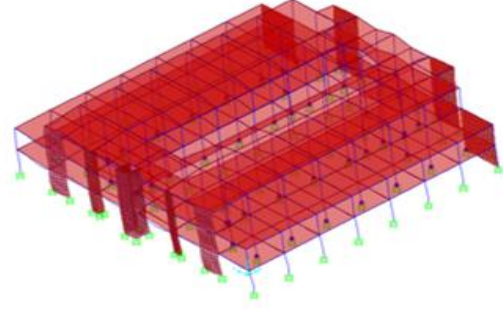
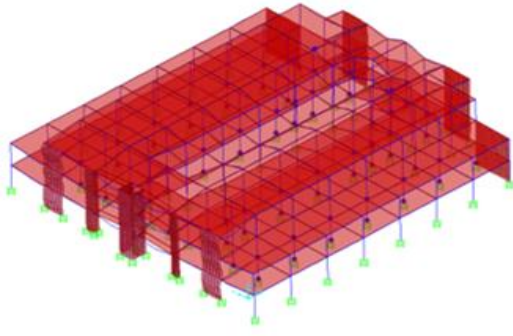
PERDE 4	347H2	0.0028		0.0280	0.0005	0.0285	0.00570	0.0072	
PERDE 4	348H1	0	0.1	0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	KHB
PERDE 4	348H2	0.0028		0.0282	0.0005	0.0287	0.00573	0.0071	
PERDE 4	363H1	0.0009	0.1	0.0094	0.0005	0.0099	0.00373	0.0072	KHB
PERDE 4	363H2	0		0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	
PERDE 4	364H1	0	0.1	0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	KHB
PERDE 4	364H2	0.0011		0.0110	0.0005	0.0116	0.00398	0.0067	
PERDE 4	365H1	0.0007	0.1	0.0067	0.0005	0.0072	0.00373	0.0071	KHB
PERDE 4	365H2	0		0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	
PERDE 4	366H1	0	0.1	0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	KHB
PERDE 4	366H2	0.0012		0.0115	0.0005	0.0120	0.00368	0.0067	
PERDE 4	367H1	0	0.1	0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	KHB
PERDE 4	367H2	0.0027		0.0273	0.0005	0.0278	0.00673	0.0076	
PERDE 4	368H1	0	0.1	0	0.0005	0.0005	0.00097	0.0054	KHB
PERDE 4	368H2	0.0027		0.0271	0.0005	0.0276	0.00673	0.0075	

### 3.4.4. Güçlendirilmiş Yapıda Zaman Tanım Alanında Gerçekleştirilen Analiz Sonuçları

Mevcut yapı için zaman tanım alanı değerlendirilmesi yapılan yapıda göçmelerin meydana geldiği görülmüş, sınır şartları aşmayan yerdeğiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri verilmiştir. İlave edilen perdeler ve mantolanan kolonlar sonrası yapıda oluşan rijitlik 11 adet deprem kaydının hem X yönlü hem de Y yönlü olmak üzere toplamda 22 adet olmak üzere analiz gerçekleştirilmiştir. Periyodun yapının rijitliğinin artması ile birlikte oluşan iç kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri büyük oranda azalmıştır..deprem kuvvetlerini taşımada büyük görevi olan perde taşıyıcı elemanların yapının rijitliğine olan katkısı gözle görülebilir ölçüdedir. Mevcut yapıda en büyük problem T ve L kesitli kolonlarda mevcuttu. Köşe kısımlara yapılan mantolama çalışması ve gerekli olan kısımlara eklenen perde ilavesi ile yapı daha güvenli hale getirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda bu yöndedir. Şekil 99-109'a güçlendirilmiş yapıya ait elde edilen sonuçlar görülmektedir.

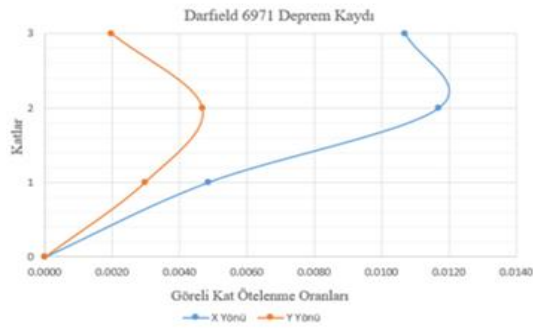
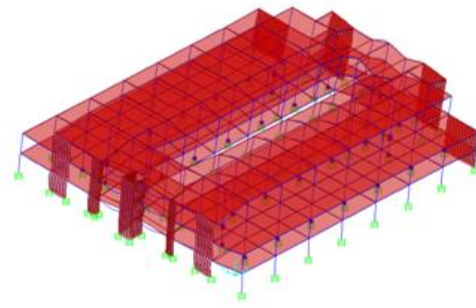
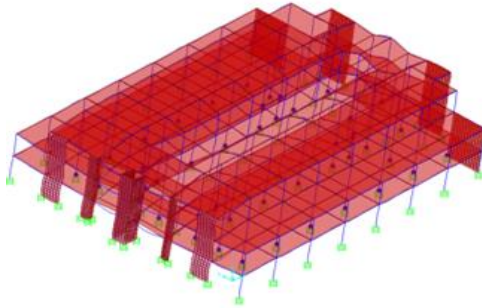


Şekil 99. Güçlendirilmiş yapı Born Iran deprem sonuçları



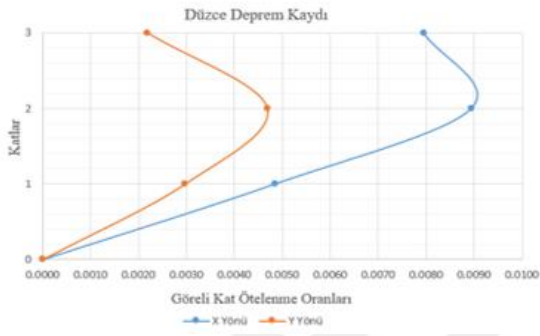
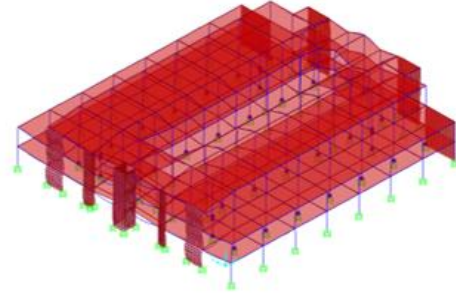
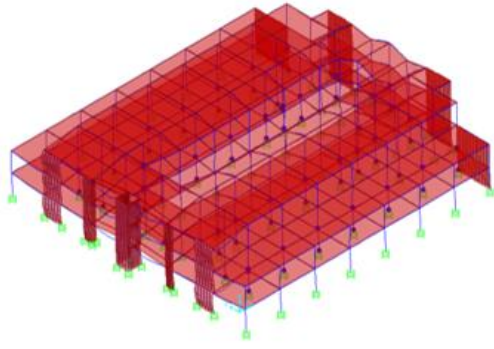
	EW	NS
$Vt(X,max)$	44898	250
$Vt(Y,max)$	712	45727
$Ut(X,max)$	0.0063	0.0222
$Ut(Y,max)$	0.0003	0.0117

Şekil 100. Güçlendirilmiş yapı Darfield 6891 deprem sonuçları



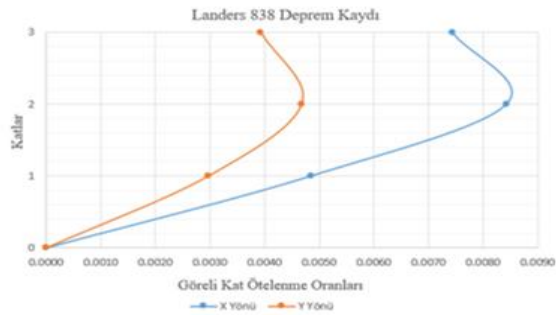
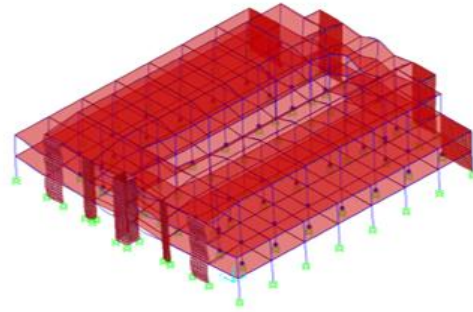
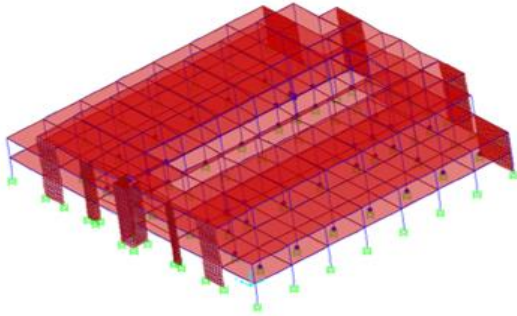
	EW	NS
$Vt(X,max)$	37450	87
$Vt(Y,max)$	749	37993
$Ut(X,max)$	0.0107	0.0002
$Ut(Y,max)$	0.000004	0.001974

Şekil 101. Güçlendirilmiş yapı Darfield 6971 deprem sonuçları



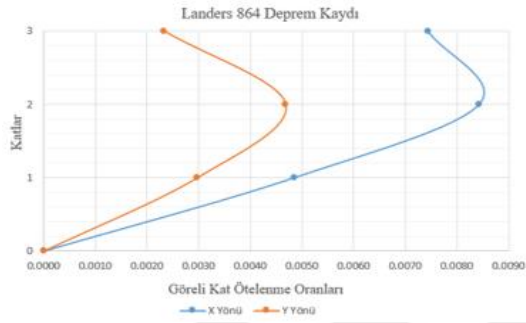
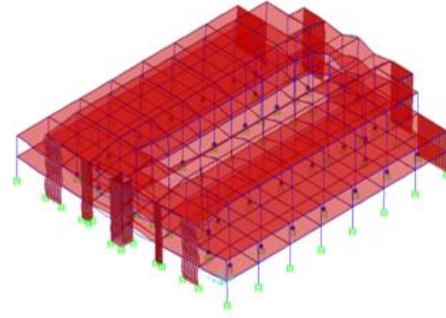
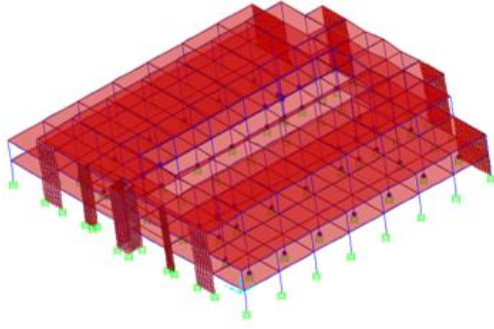
	EW	NS
$V_t(X,max)$	49166	157
$V_t(Y,max)$	575	41377
$U_t(X,max)$	0.0079	0.0001
$U_t(Y,max)$	0.0003	0.0022

Şekil 102. Güçlendirilmiş yapı Düzce deprem sonuçları



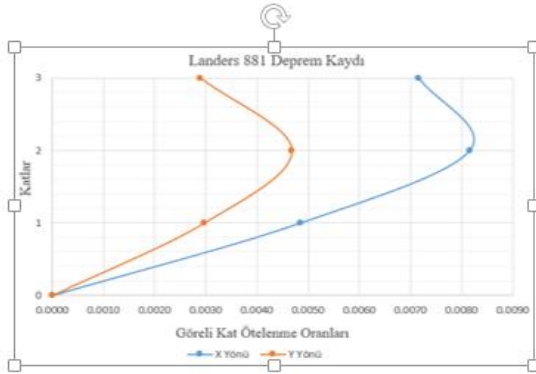
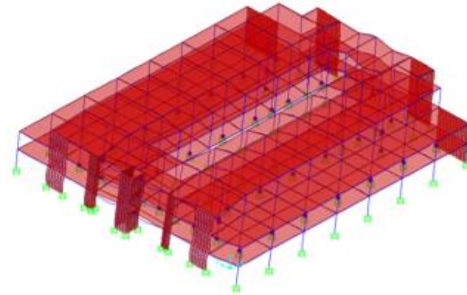
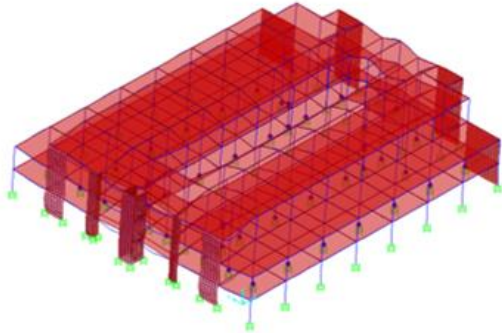
	EW	NS
$V_t(X,max)$	38353	554
$V_t(Y,max)$	273	52224
$U_t(X,max)$	0.0074	0.0002
$U_t(Y,max)$	0.0006	0.0039

Şekil 103. Güçlendirilmiş yapı Landers 838 deprem sonuçları



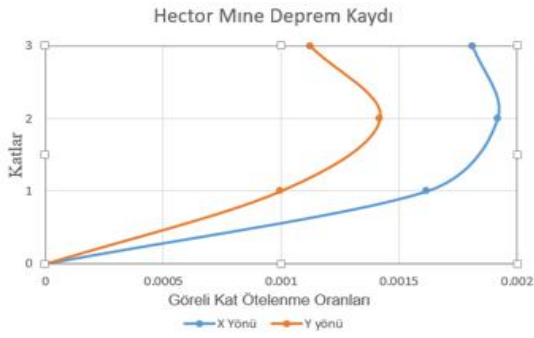
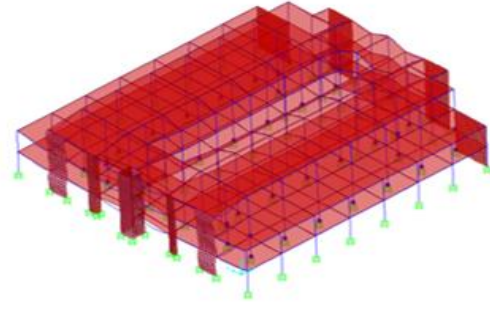
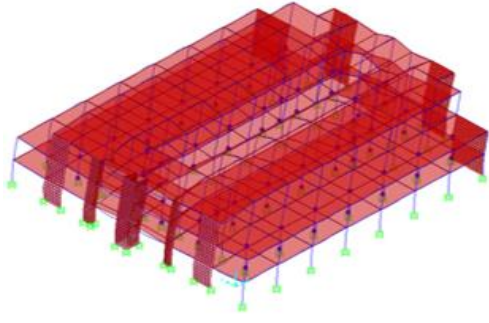
	EW	NS
<b><u>Vt(X,max)</u></b>	38353	554
<b><u>Vt(Y,max)</u></b>	430	34884
<b><u>Ut(X,max)</u></b>	0.0074	0.0002
<b><u>Ut(Y,max)</u></b>	0.0003	0.0023

Şekil 104. Güçlendirilmiş yapı Landers 864 deprem sonuçları



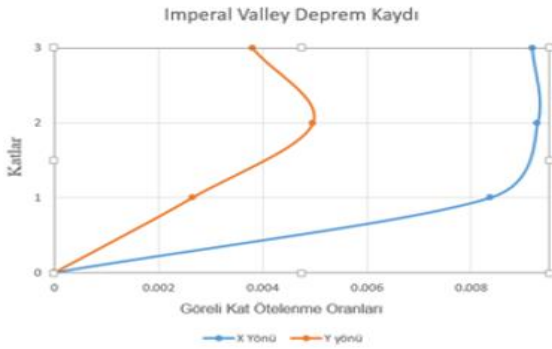
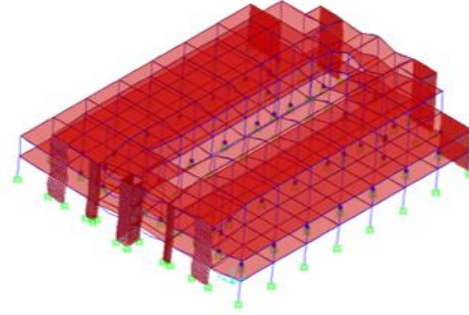
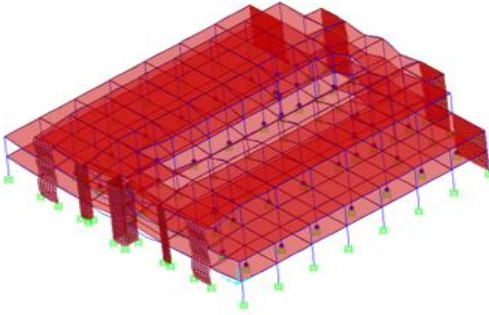
	EW	NS
<b><u>Vt(X,max)</u></b>	32643	94
<b><u>Vt(Y,max)</u></b>	615	40126
<b><u>Ut(X,max)</u></b>	0.0072	0.0001
<b><u>Ut(Y,max)</u></b>	0.0001	0.0029

Şekil 105. Güçlendirilmiş yapı Landers 881 deprem sonuçları



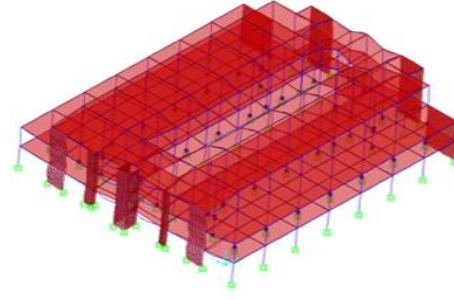
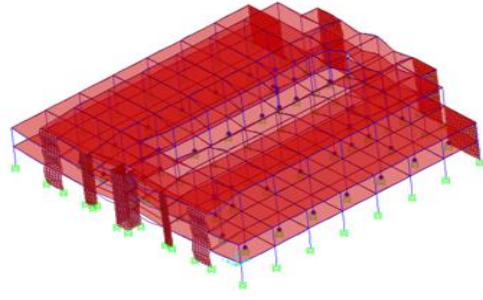
	EW	NS
<b>Vt(X,max)</b>	46267	105
<b>Vt(Y,max)</b>	279	47437
<b>Ut(X,max)</b>	0.00181	0.000082
<b>Ut(Y,max)</b>	0.00008	0.001123

Şekil 106. Güçlendirilmiş yapı Hector Mine deprem sonuçları



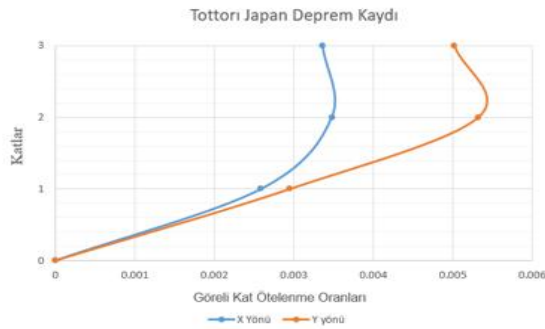
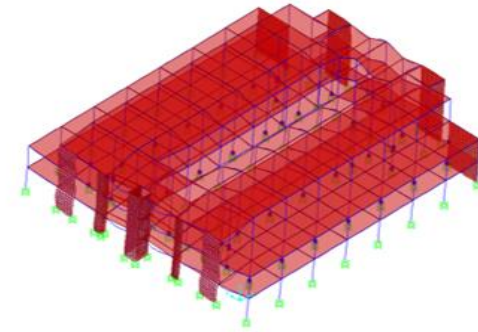
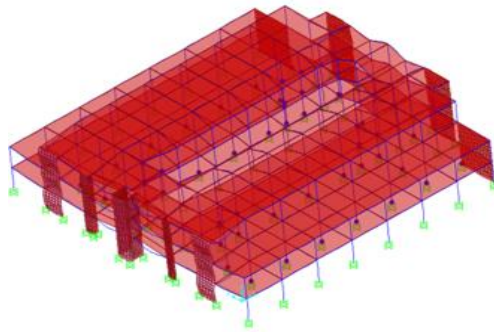
	EW	NS
<b>Vt(X,max)</b>	42451	76
<b>Vt(Y,max)</b>	22	20465
<b>Ut(X,max)</b>	0.009176	0.003636
<b>Ut(Y,max)</b>	0	0.003841

Şekil 107. Güçlendirilmiş yapı Imperial Valley deprem sonuçları



	EW	NS
<b>Vt(X,max)</b>	36041	112
<b>Vt(Y,max)</b>	822	39442
<b>Ut(X,max)</b>	0.007064	0.003636
<b>Ut(Y,max)</b>	0.0049	0.005503

Şekil 108. Güçlendirilmiş yapı Kocaeli deprem sonuçları



	EW	NS
<b>Vt(X,max)</b>	38163	88
<b>Vt(Y,max)</b>	1011	52256
<b>Ut(X,max)</b>	0.003366	0.000079
<b>Ut(Y,max)</b>	0.000524	0.00502

Şekil 109. Güçlendirilmiş yapı Tottori Japan deprem sonuçları

Belirlenen deprem kayıtlarına ait çözümlene sonrası yapılan analizde mevcut yapıda kolon ve kirişlerde meydana gelen göçmelerde yapılan güçlendirme çalışmaları sonrası ortadan kalktığı görülmüştür. Teker teker kayıtların X ve Y yönündeki mutlak değerce maksimum taban kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirme değerleri incelenmiştir. 11 adet kayıt gözönünde bulundurulduğu yapıda taban kesme kuvvetlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüş, yer değıştirmelerin ise mevcut yapıya kıyasla daha küçük deplasmanların olduğu ve bunun sonucunda oluşan göçmelerin güçlendirilmiş yapıda oluşmadığı elde edilmiştir. Yapıdaki en büyük taban kesme kuvveti X deprem kuvvetleri için Düzce deprem kaydına ait olduğu görülmektedir. Y deprem kuvveti yönündeki en büyük taban kesme kuvveti Tottori Japan olarak adlandırılan deprem kaydı analizi sonrası elde edilmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları değıerlendirmesinde, yapılan analizde 11 adet deprem kaydının mutlak değerce elde edilmiş olan maksimum değıerlerinin ortalaması alınarak X yönünde oluşan taban kesme kuvveti 37977 kN, elde edilen yerdeğiştirme değeri 0.00952 m'dir. Y yönü deprem kayıtlarından elde edilen ortalamaya göre; 40238 kN taban kesme kuvveti ve 0.007524 m yerdeğiştirme elde edilmiştir. Yönetmeliğin belirlemiş olduğu etkin görece kat ötelenmelerine ait sınır değeri Denklem 37'de verilmiştir.

$$\lambda \frac{\delta_{i, \max}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad (37)$$

$\lambda$ ; DD-3 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmeye olan oranıdır.

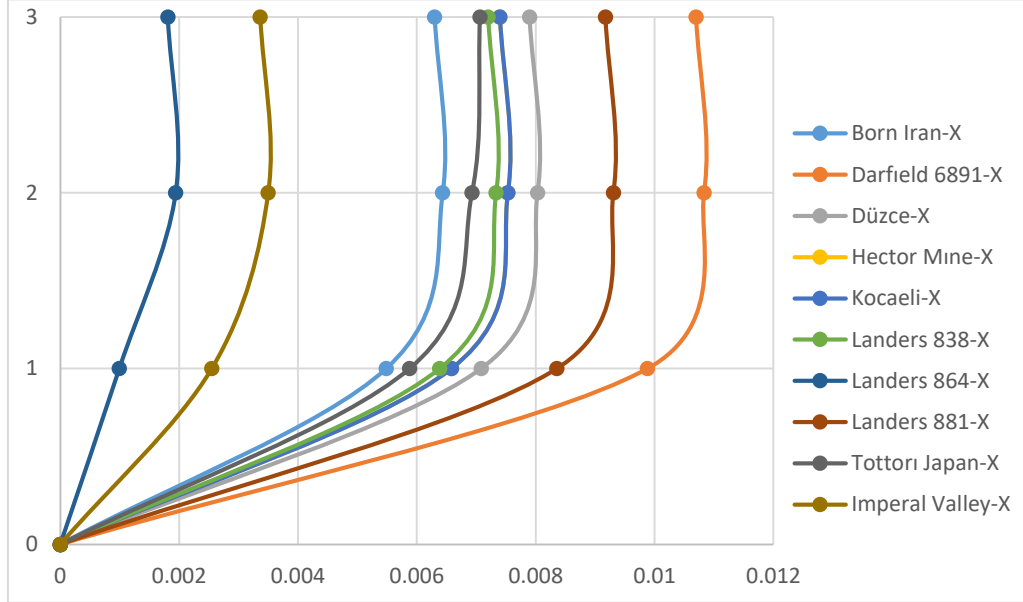
$\kappa$ ; betonarme binalarda 1, çelik binalarda 0.5 alınarak kullanılır.

Mevcut yapının deplasman sınır değıerini hesaplamak için mevcut yapıya ilişkin bilgiler denklemde yerlerine yazıldığında aşağıda verilen değeri elde edilir:

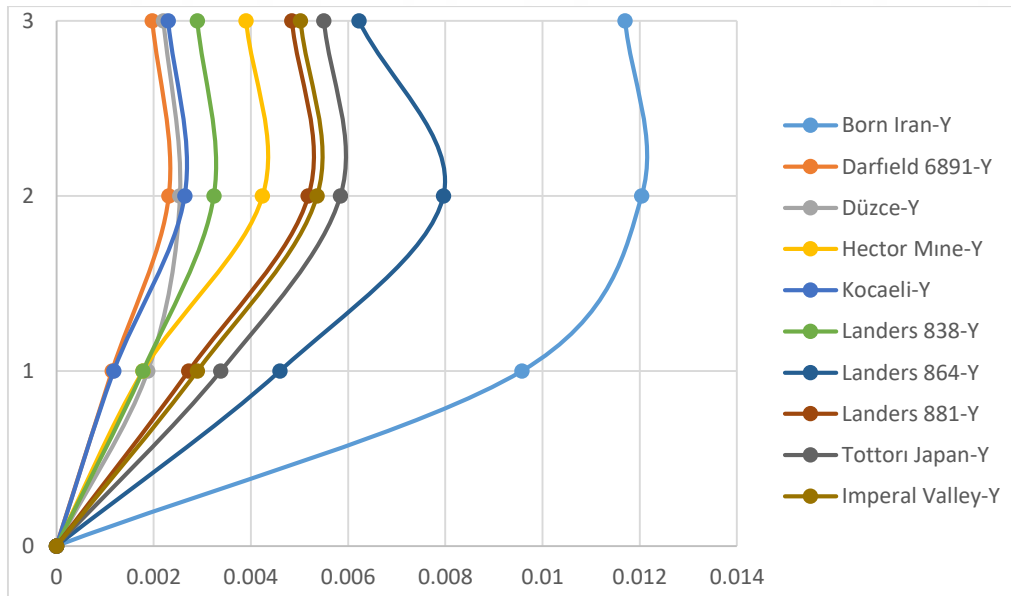
$$\delta_{i, \max} \leq (0.008 \times \kappa \times h_i) / \lambda = (0.008 \times 1 \times 3.36) \times (0.322 / 0.802) = 0.0108 \text{ elde edilir.}$$

Mevcut yapı gibi güçlendirilmiş yapıda da sınır değeri aşan ötelenmeler görülmemiştir. Ancak göçme bölgesine geçen taşıyıcı eleman olduğu için DD-1 deprem düzeyinin KH bölgesinin sağlanmadığı görülmektedir. Gerekli olan kısımlarda yapıda

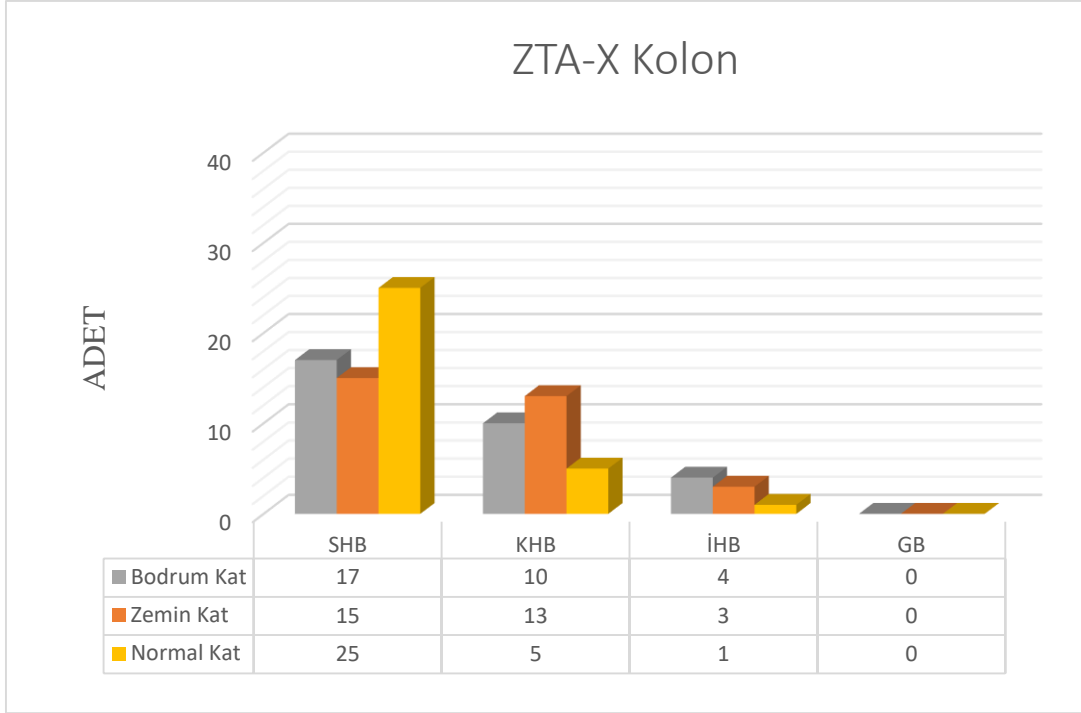
güçlendirme yapılması gerekmektedir. Şekil 110-111’de güçlendirilmiş yapıya ait görelî kat öteleme oranları görülmektedir.



Şekil 110. Güçlendirilmiş yapı 11 adet kaydın X yönlü görelî kat öteleme oranları

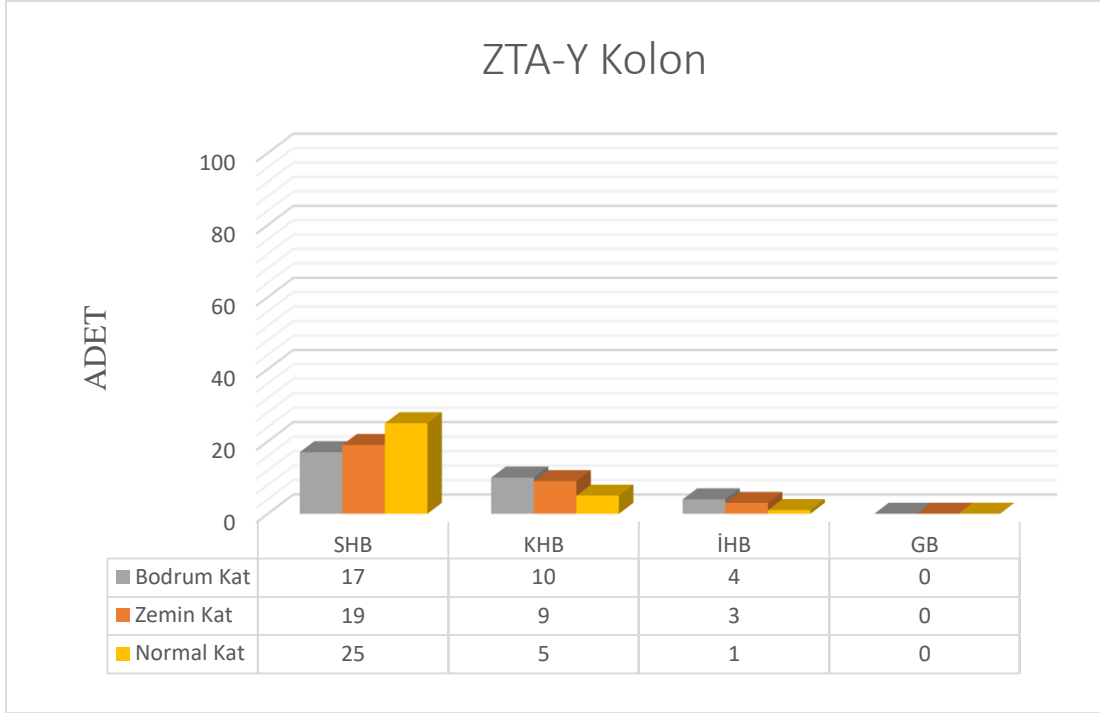


Şekil 111. Güçlendirilmiş yapı 11 adet kaydın Y yönlü görelî kat öteleme oranları



Şekil 112. Güçlendirilmiş yapı ZTA-X yönü

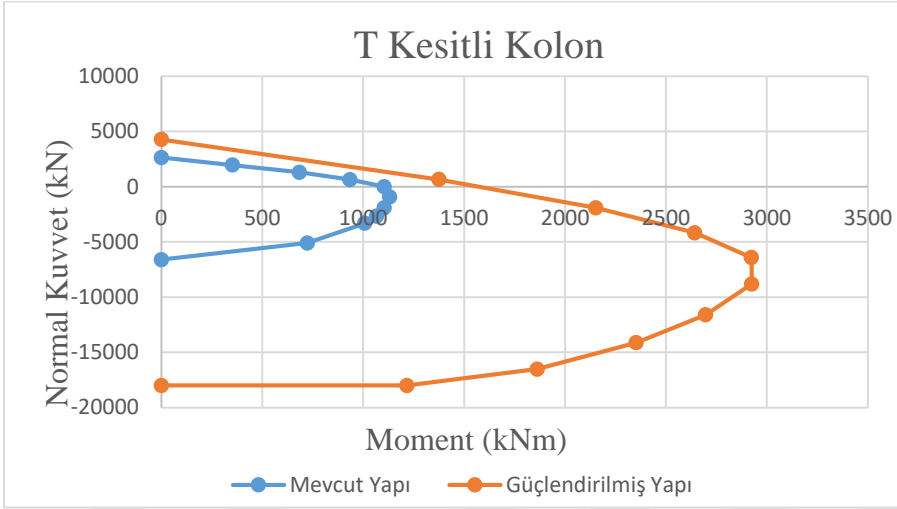
Şekil 112’de güçlendirilmiş yapıya ait zaman tanım alanı analiz sonrası 11 adet deprem kaydının analizi sonrası oluşturulan ZTA X yönlü kombinasyonundan elde edilen sonuçlara göre 93 adet kolonun 57 adedi SHB (%61.3), 28 adedi KHB (%30.1), 8 adedi İHB (%8.6) kalmıştır. Güçlendirilmiş yapı 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1) ŞGDT’ye göre kontrollü hasar (KH) performans düzeyini sağladığı görülmektedir. İHB bölgesine geçen elemanların kesme kuvveti oranı o kattaki toplam kesme kuvvetine oranı %35’i aşmadığı görülmektedir GB kalan taşıyıcı eleman görülmemektedir.



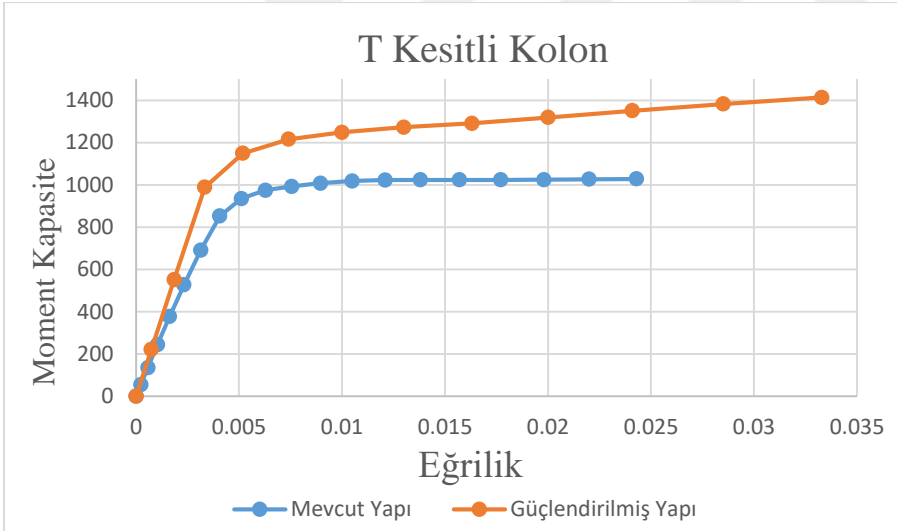
Şekil 113. Güçlendirilmiş yapı ZTA-Y yönü

Şekil 113’de güçlendirilmiş yapıya ait zaman tanım alanı analiz sonrası 11 adet deprem kaydının analizi sonrası oluşturulan ZTA Y yönlü kombinasyonundan elde edilen sonuçlara göre 93 adet kolonun 61 adedi SHB (%65.6), 24 adedi KHB (%25.8), 8 adedi İHB (%8.6) kalmıştır. Güçlendirilmiş yapı 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1) ŞGDT’ye göre kontrollü hasar (KH) performans düzeyini sağladığı görülmektedir. İHB bölgesine geçen elemanların kesme kuvveti oranı o kattaki toplam kesme kuvvetine oranı %35’i aşmadığı görülmektedir. GB kalan taşıyıcı eleman görülmemektedir.

### 3.4.5. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapıda Kapasite Durumları

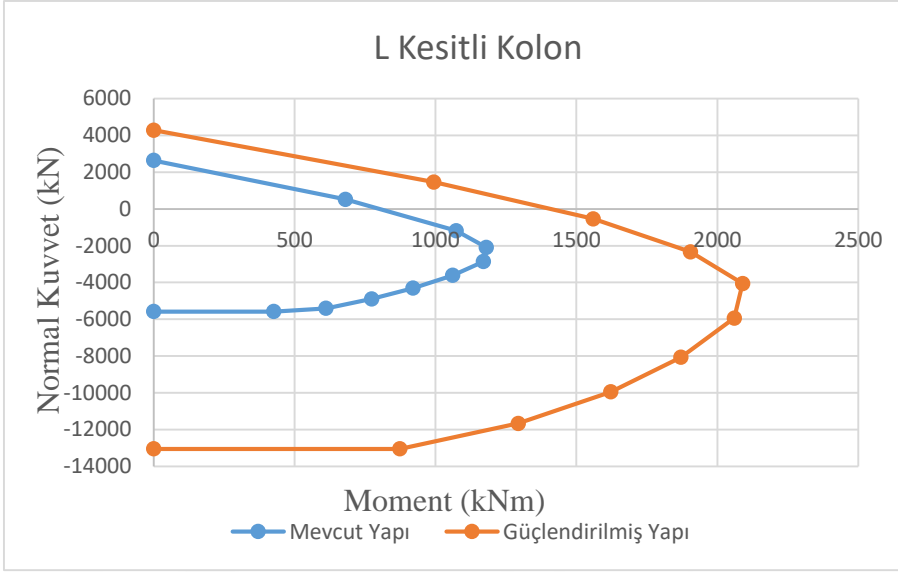


Şekil 114. T kesitli kolona ait normal kuvvet-moment kapasite eğrisi

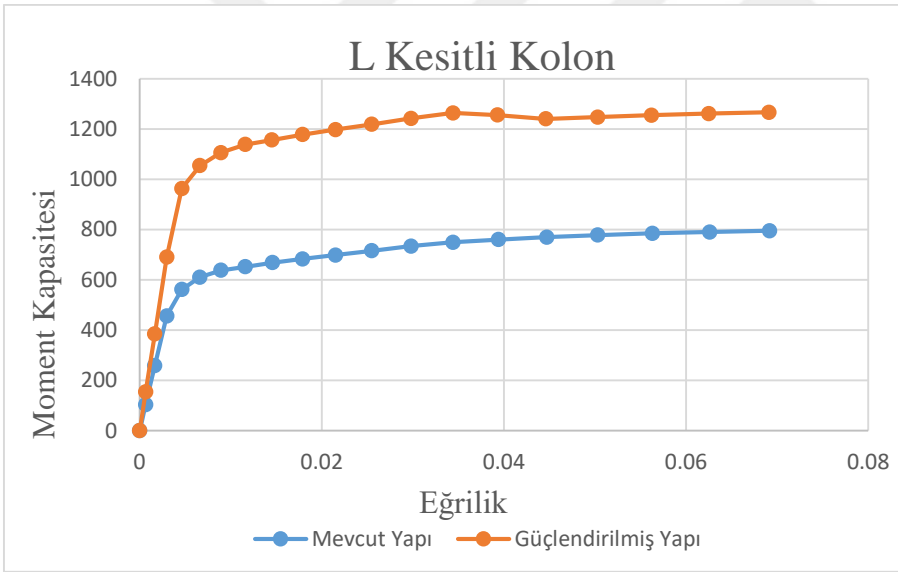


Şekil 115. T kesitli kolona ait moment-eğrilik ilişkisi

Şekil 114 ve Şekil 115'te gösterilen T kesitli kolonların mevcut ve güçlendirilmiş halde ki kapasitelerini değerlendirecek olursak, normal kuvvet-moment diyagramında %62'lik bir kapasite artışı görülmektedir. Moment-eğrilik diyagramında ise %71'lik bir kapasite artışı görülmektedir. Yapılan mantolama çalışması ve kullanılan C30 betonu kolonun daha rijit olmasını ve depreme karşı dayanıklılığının fazla olmasını sağlar.



Şekil 116. T kesitli kolona ait normal kuvvet-moment kapasite eğrisi



Şekil 117. L kesitli kolona ait moment-eğrilik ilişkisi

Şekil 116 ve Şekil 117’de gösterilen L kesitli kolonların mevcut ve güçlendirilmiş halde ki kapasitelerini değerlendirecek olursak, normal kuvvet-moment diyagramında %62’lik bir kapasite artışı görülmektedir. Moment-eğrilik diyagramında ise %59’luk bir kapasite artışı görülmektedir. Yapılan mantolama çalışması ve kullanılan C30 betonu kolonun daha rijit olmasını ve depreme karşı dayanıklılığının fazla olmasını sağlar

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, İstanbul ili Eyüp ilçesinde yer alan ABYYHY-1975 göre yapım aşaması gerçekleşen eğitim kurumunun, TBDY-2018'e göre deprem performansı değerlendirilmesi yapılmıştır. Hala kullanımda olan eğitim binasının durumunu değerlendirmek için SAP 2000 yazılım programı kullanılarak eğitim kurumunun hem mevcut halinin hem de güçlendirilmiş halinin doğrusal ve doğrusal olmayan analiz adımları TBDY-2018'e göre gerçekleştirilmiştir.

Yapılan güçlendirme çalışmaları dikkate alındığında yapının beton dayanımı C19/20 (18.6 MPa) beton sınıfı kullanıldığı ve elde yapıya dair projelerin olmasından kaynaklı bilgi düzeyi kapsamlı olarak belirlenmiş ve malzeme dayanımlarında hiçbir şekilde azaltma yapılmamıştır.

Yapı 3 katlı bir eğitim kurumudur. Yapının ilk olarak mevcut hali deprem analizi yönünden değerlendirilmiş ve T ve L kesitli kolonların uç bölgelerinde göçmelerin meydana geldiği görülmüştür. Mevcut yapının doğrusal analizi sonucunda Y doğrultusunda burulma düzensizliği olduğu belirlenmiştir. Yapılan güçlendirme sonrası bu durum ortadan kalkmıştır. Mevcut yapıda yerdeğiştirmelerin çok daha büyük olduğu güçlendirme ile yapının periyodunun küçülmesi, eklenen ilave taşıyıcı elemanlar ile daha rijit davrandığı görülmüştür. Yerdeğiştirmeler büyük oranda azalmıştır.

Yapının doğrusal olmayan davranışta değerlendirilmesi kolon ve kiriş taşıyıcı elemanların uç bölgelerinde oluşan plastikleşme durumları dikkate alınmıştır. Güçlendirme durumu için ise ilave perde elemanların kiriş orta bölgelerine gerekli donatı ve beton sınıfının girilmesiyle çubuk eleman olarak modellenmiş, doğrusal olmayan analiz adımlarında ilave edilen perde detaylarında durumu incelenmiştir. İlave edilen perdelerde mafsallaşma kontrollü hasar bölgesinde kalmış ve X doğrultusunda gelen deprem kuvvetlerini %72, Y doğrultusunda gelen deprem kuvvetlerinin %83'ü bu perdeler tarafından taşındığı tespit edilmiştir.

Mevcut yapıda ötelenmeler Y doğrultusunda fazla iken güçlendirilmiş yapıda X doğrultusundaki ötelenmeler birbirine yakındır. Elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın olduğu için yapılan hesapların doğruluğu ve seçilen deprem ivme kayıtlarında doğru olduğunu gösterir.

Yapılan itme analizi sonrası mevcut yapıyı değerlendirildiğinde hem kirişlerde hem de kolonlarda göçme bölgesine geçen elemanların olduğu bu durumun güçlendirme çalışmaları sonrası KHB’de kaldığı görülmüştür.

Mevcut eğitim kurumunda gerçekleştirilen tek modlu itme analizine göre; T ve L kesitlerde yetersizlik görülmüş GB’de kalan elemanlar elde edilmiştir. Mevcut yapının hem X doğrultusunda hem Y doğrultusunda gerçekleştirilen analizlerde kolon ve kirişlerde %25 oranında göçmeler meydana gelmiştir. Güçlendirme çalışmaları sonrası bu durum ortadan kalkmıştır. Aynı durum güçlendirme çalışması yapılmış kenardan epoksi ile bağlanan kolon yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut halde GB kalan kolonlar belirgin hasar bölgesine geçmiştir.

Güçlendirilmiş yapıya daha sonradan dahil edilen perdeler yapıyı daha rijit hale getirmiş buna bağlı olarak yapının periyot değeride o oranda azalmıştır.

Mevcut yapıda yönetmeliğin sınırlamış olduğu DD-1 deprem düzeyi için KH sınırının sağlanamadığı, güçlendirilmiş yapıda DD-1 deprem düzeyi için gerekli olan sınır şartın sağlandığı görülmüştür.

Yeni yönetmeliğin titizlikle üzerinde durduğu güçlendirme çalışmalarında birçok noktaya dikkat edilmesi gerekmektedir. Kolonların mantolanması, gerekli yerlere perde ilavesi sonrasında oluşan plastik mafsallar daha makul hasar bölgelerinde kalmıştır. Bu durumda yapıya gelecek herhangi bir sismik etki de can güvenliğini koruyacak ve yapıların zararını en aza indireyecektir.

Bu çalışmanın haricinde daha ileriki çalışmalarda mevcut yapıların temel durumuda dikkate alınarak analizler gerçekleştirilebilir. Yapılan analizler sonucunda yapının temelinde herhangi bir güçlendirme çalışması gerekli olup olmadığı belirlenebilir. Bina taşıyıcı sisteminin deprem performansının incelendiği bu çalışmadan elde edilen performans analizi ve değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar, Eurocode 8 (EC-8) ve American Society of Civil Engineers 41 (ASCE-41) standartları için kolaylıkla uygulanarak çalışmanın kapsamı genişletilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Afzali, M.F., 2018. Mevcut bir betonarme okul binasının betonarme perdelerle güçlendirme alternatiflerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 105s.
- Arısoy, B. ve Arel, H.Ş., 2010. Yapısal Özellikleri Farklı Betonarme Binaların Performansa Dayalı Analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, 25, 3, 431 – 439.
- Atay, H., 2010. depremde hasar görmüş yapıların güçlendirme yöntemleri ve güçlendirmede kullanılan malzemeler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 115s.
- ASCE. (2007). ASCE/SEI 41-06: Seismic rehabilitation of existing buildings. American Society of Civil Engineers.
- Bommer, J.J. ve Ruggeri, C., 2002. The specification of acceleration time-histories in seismic design codes. *European Earthquake Engineering*, 16, 1, 3–17.
- Celep, Z., 2007. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Yayıncılık, İstanbul, 237s.
- Celep Z., 2019. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Yayıncılık, İstanbul, 710s.
- Çavdar, Ö. ve Bayraktar, A., 2014. Pushover and nonlinear time history analysis evaluation of a RC building collapsed during the Van (Turkey) earthquake on October 23, 2011. *Natural Hazards*, 70, pp. 657-673, (DOI 10.1007/s11069-013-0835-3).
- Çavdar, Ö. ve Bayraktar, E., and Çavdar, A., 2018. Earthquake Performance of Reinforced-Concrete Shear-Wall Structure Using Nonlinear Methods. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32 (1), pp. 4017122, (Doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001117).
- Elbakry, HM.F., ve Tarabia, A.M., 2016. Factors affecting bond strength of RC column jackets. *Alexandria Engineering Journal*, 55, 57–67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2016.01.014>.
- Fahjan, Y. M., Vatansever S. ve Özdemir Z., 2011. “Ölçeklenmiş Deprem Kayıtları ile Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analizleri”, ODTU Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara.

- FEMA 440, 2005. Improvement Of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Agency, Washington, D.C.
- Hassan, A., F., and Sözen, M. A., 1997. “Seismic Vulnerability Assessment of Low-Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes”, ACI Structural Journal, 94, 1: 31 - 39.
- İnel, M., Bilgin, H. ve Özmen, H. B., 2007. Mevcut kamu yapılarının performans değerlendirmesi Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı/444-445-2006/4-5.
- Jianguo, N., Kai, Q., Yan, X. (2006). Push-Over analysis of seismic behavior of a concrete-filled rectangular tubular frame structure Tsinghua Science and Technology, 1007-0214 20/21 pp. 124-130.
- Karabulut, A., 2011. TDY2007 Yönetmeliği ve FEMA 440 Raporunda Tanımlanan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Mevcut Betonarme Binalar İçin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 331s.
- Kuşu, A., 2019. Eşlenik Yapı da Çok Katlı Betonarme ve Karma Yapıların Zaman Tanım Alanında Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 139s.
- Murugan, K., Sengupta, A. K., 2020. “Seismic performance of strengthened reinforced concrete columns”, Structural Engineering Division, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600036, Tamil Nadu, India, Structures 27, 487–505.)
- Öztürk, M., 2018. “2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile İlgili İç Anadolu Bölgesi Bazında Bir Değerlendirme”, Selçuk-Teknik Dergisi, 17, 2, 32-33.
- PEER (2014) “Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Ground Motion Database”, <http://ngawest2.berkeley.edu/>
- Sakr, M. A., H., Korany T. M., Osama, B., 2020. “Analysis of RC columns strengthened with ultra-high performance fiber reinforced concrete jackets under eccentric loading”, Department of Structural Engineering, Faculty of Engineering, Tanta University, Tanta, Egypt.
- SAP 2000, 2011. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.

- Shin, J., Scott D. W., Stewart, L. K., Yhang, C., Wright, T. R., Desroches R., 2016. Dynamic response of a full-scale reinforced concrete building frame retrofitted with FRP column jackets. School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA, Engineering Structures, 125, 244–253.
- Soycan, C., 2019. Depremde Betonarme Bina Performansının Türk Deprem Yönetmelikleri 2007 ve 2018'e Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 266s.
- Şahin, Y., 2019. Mevcut Bir Betonarme Binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Zaman Tanım Alanında Analizinin Yapılarak Performansının Belirlenmesi ve Çelik Güçlendirme Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 121s.
- TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tezel, M. 2019. Betonarme Bir Binanın Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz ile Elde Edilen Ötelenme Taleplerinin İstatistiksel Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 145s.
- TS-500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS-498, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç, G., ve Tanfener, T., 2016. 2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi, 3.Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişebilirlik, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Tutkal, V., 2018. Kat Adetleri Farklı Bina Türü Yapıların Deprem Performanslarının Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri ile İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 84s.
- Türkay, A., Güler, K., 2013. Bir Okul Binasının Tasarımı ve Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 257s.
- Uçar, B., 2019. Betonarme Bir Hastane Binasının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Kapsamında Deprem Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 163s.

- Uzun, S., 2018. Beton Dolgulu Kompozit Kolonlu Bir Okul Binasının TBDY 2018 Esas Alınarak Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 217s.
- Ürünveren, M. F., 2010. Çok Katlı Betonarme Yapılarda Deprem Performansının Belirlenmesi Yöntemleri ve Güçlendirme Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 172s.
- Youssef, M. A., Ghaffarzadeh, H., Nehdi, M. “Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing”, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario, London, Ontario N6A 5B9, Canada, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Shiraz University, Shiraz 71345-1676, Iran, Engineering Structures 29 (2007) 1561–1568.
- Zayas, V., Low, S. and Mahin, S., A., 1987. The FPS Earthquake Resisting System Experimental Report, EERC Technical Report, UBC/EERC, 87-01.
- Zolmaz, Y., 2019. Mevcut Betonarme Bir Binanın Perdelerle Güçlendirilmesi ve Yapısal Performansının TBDY 2018'E Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 149s.

## **EKLER**

**EK A :** Kirişlerin plastik mafsal zellikleri

**EK B :** Kolonların plastik mafsal zellikleri

**EK C :** Kirişlerin plastik mafsal zelliklerinin SAP 2000 programında tanımlanması

**EK D :** Kolonların plastik mafsal zelliklerinin SAP 2000 programında tanımlanması

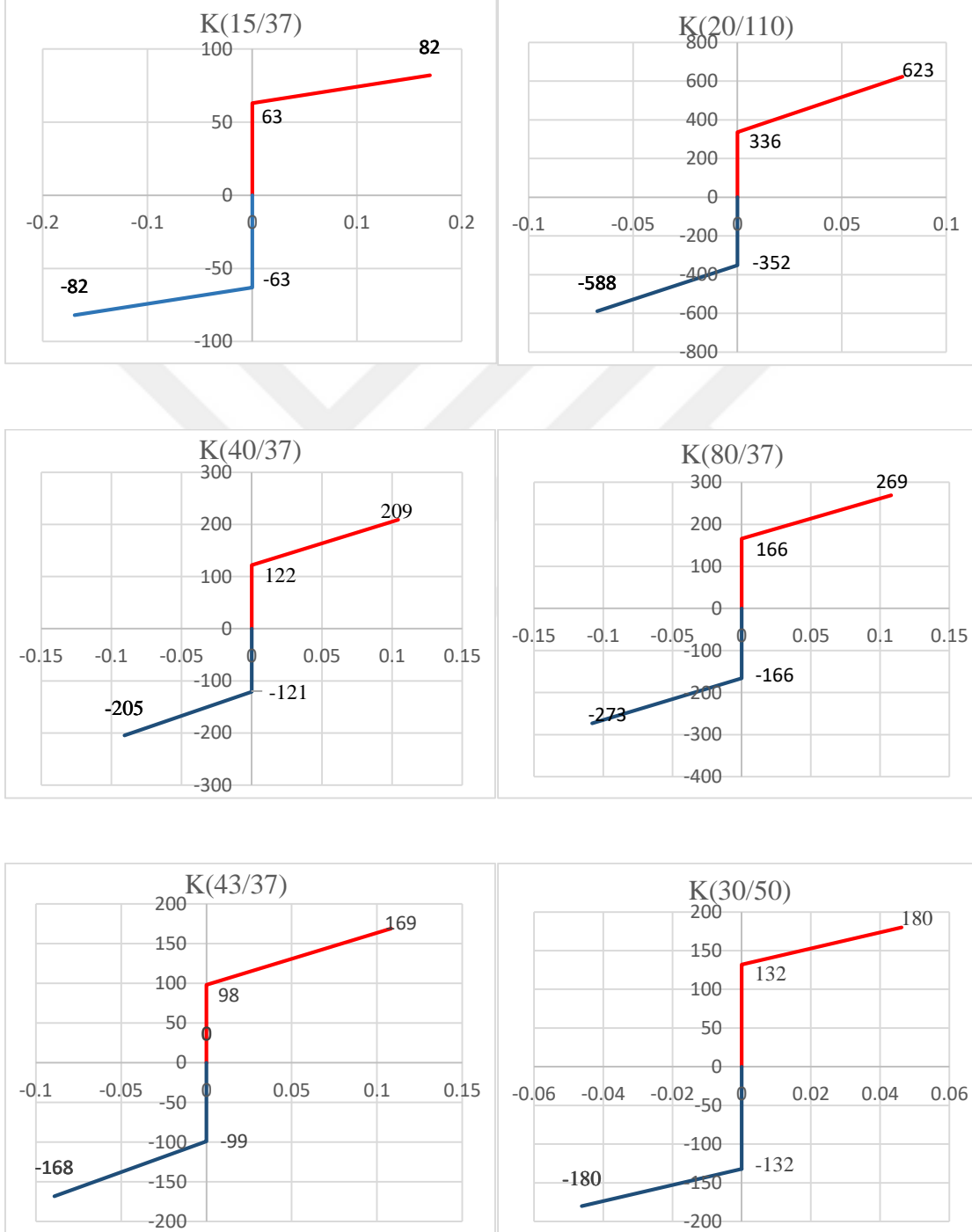


## EK A

Mevcut yapı ve güçlendirilmiş yapıya ait kirişlerin plastik mafsal özellikleri Tablo 37'de gösterilmiştir. Sütunlara ait gerekli açıklamalar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- ✓ 1.Sütun : Kiriş Tipi, plastik mafsal özelliği gösterilen kirişin adıdır.
- ✓ 2.Sütun : Mesnet Bölgesi, kirişlerin sağ ve sol (pozitif ve negatif) olmak üzere 2 adet mesnet bölgesi vardır.
- ✓ 3.Sütun : Plastik Mafsal Uzunluğu ( $L_p$ ), plastik mafsal özelliği belirlenen kirişin deprem doğrultusunda çalışan kesit boyutunun yarısı alınan uzunluğudur. Alınan kirişlere göre farklılık göstermektedir.
- ✓ 4.Sütun : Efektif Akma Momenti ( $M_y, kNm$ ), elastik davranıştan elasto-plastik davranışa geçişin meydana geldiği moment değeridir.
- ✓ 5.Sütun : Efektif Akma Eğriliği ( $rad/m$ ), efektif akma eğriliği bilineer duruma getirilmiş moment-eğrilik ilişkisinde elastik davranıştan elasto-plastik davranışa geçiş yapılan noktadaki eğrilik değerine karşılık gelen noktadır.
- ✓ 6.Sütun : Efektif Akma Dönmesi ( $rad$ ), efektif akma eğriliğinin plastik mafsal boyu ile çarpılarak elde edilen bir değerdir.
- ✓ 7.Sütun : Maksimum Moment ( $M_u, kNm$ ), taşıyıcı sistemlerin belirli özelliklerine bağlı olarak (kiriş tipine, mesnet durumuna ve plastik mafsal uzunluğuna bağlı olarak), harcanan enerjinin oluştuğu ve en büyük eğrilik değerine karşılık gelen moment değeridir.
- ✓ 8.Sütun : En Büyük Eğrilik ( $rad/m$ ), kirişin asıl veya bilineer moment-eğrilik ilişkisindeki güç harcanmasının oluştuğu ve en büyük eğrilığe denk gelen noktadır.
- ✓ 9.Sütun : En Büyük Dönme ( $rad$ ), hesap edilen en büyük eğrilik değerinin plastik mafsal boyu ile çarpılması sonucu elde edilen değerdir.
- ✓ 10.Sütun : Plastik Dönme Değerleri ( $rad$ ), en büyük dönme değerinden efektif akma dönmesi değerinin çıkartılması ile elde edilen dönme değeridir.
- ✓ 11.Sütun : Moment/SF, maksimum moment değeri ile efektif akma momenti değerlerinin oranı olarak ifade edilen değerdir.

Aşağıda Tablo 37’de gösterilen kirişlere ait plastik mafsal özelliklerinin 6 adet kirişe ait detaylı gösterimi Şekil 118’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 118. Adları belirtilmiş olan kirişlere ait detaylı plastik mafsal özellikleri

Tablo 37. Kirişlere ait plastik mafsal değerleri

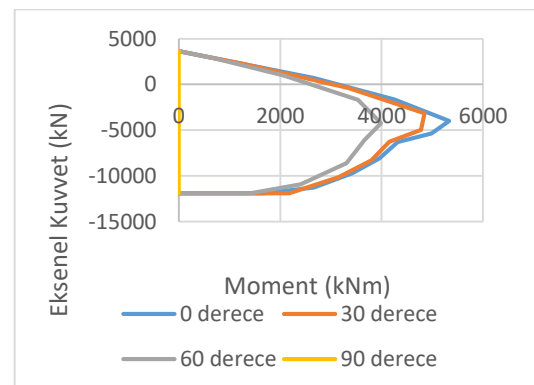
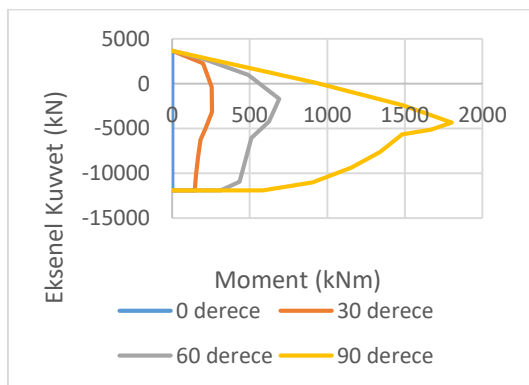
TİP	BÖ L.	Lp mm	My kNm	$\Phi_y$ rad/m	$\theta_y$ rad	Mu kNm	$\Phi_u$ rad/m	$\theta_u$ rad	$\theta_p$ rad	Mome /SF
K15x37	(-)	185	63.0	0.0112	0.0042	82.0	0.46970	0.1738	-0.1696	-1.302
	(+)	185	63.0	0.0112	0.0042	82.0	0.46970	0.1738	0.1696	1.302
K15x50	(-)	250	97.0	0.0076	0.0038	145.0	0.24220	0.1211	-0.1173	-1.495
	(+)	250	97.0	0.0076	0.0038	145.0	0.24220	0.1211	0.1173	1.495
K20x50	(-)	250	118.0	0.0071	0.0035	170.0	0.14360	0.0718	-0.0683	-1.441
	(+)	250	118.0	0.0071	0.0035	170.0	0.14360	0.0718	0.0683	1.441
K20x60	(-)	300	150.0	0.0056	0.0034	215.0	0.11950	0.0717	-0.0684	-1.433
	(+)	300	150.0	0.0056	0.0034	215.0	0.11950	0.0717	0.0684	1.433
K20x110	(-)	550	352.0	0.0027	0.0030	588.0	0.06370	0.0701	-0.0671	-1.670
	(+)	550	336.0	0.0026	0.0028	623.0	0.07440	0.0818	0.0790	1.854
K30x50	(-)	250	132.0	0.0067	0.0033	180.0	0.09900	0.0495	-0.0462	-1.364
	(+)	250	132.0	0.0067	0.0033	180.0	0.09900	0.0495	0.0462	1.364
K33x37	(-)	185	79.0	0.0095	0.0035	104.0	0.21070	0.0780	-0.0745	-1.316
	(+)	185	79.0	0.0095	0.0035	104.0	0.21070	0.0780	0.0745	1.316
K40x37	(-)	185	121.0	0.0087	0.0032	205.0	0.25360	0.0938	-0.0906	-1.694
	(+)	185	122.0	0.0085	0.0031	209.0	0.29040	0.1074	0.1043	1.713
K43x37	(-)	185	99.0	0.0085	0.0032	168.0	0.24970	0.0924	-0.0892	-1.697
	(+)	185	98.0	0.0086	0.0032	169.0	0.30140	0.1115	0.1083	1.724
K50x37	(-)	185	124.0	0.0084	0.0031	212.0	0.28440	0.1052	-0.1021	-1.710
	(+)	185	125.0	0.0081	0.0030	213.0	0.28320	0.1048	0.1018	1.704
K60x80	(-)	400	404.0	0.0036	0.0029	602.0	0.08230	0.0658	-0.0629	-1.490
	(+)	400	404.0	0.0036	0.0029	602.0	0.08230	0.0658	0.0629	1.490
K65x37	(-)	185	143.0	0.0084	0.0031	233.0	0.22190	0.0821	-0.0790	-1.629
	(+)	185	135.0	0.0085	0.0031	236.0	0.30220	0.1118	0.1087	1.748
K68x37	(-)	185	146.0	0.0083	0.0031	238.0	0.24530	0.0908	-0.0877	-1.630
	(+)	185	144.0	0.0084	0.0031	236.0	0.30000	0.1110	0.1079	1.639
K80x37	(-)	185	166.0	0.0083	0.0031	273.0	0.25730	0.0952	-0.0921	-1.645
	(+)	185	166.0	0.0084	0.0031	269.0	0.30000	0.1110	0.1079	1.620
K100x37	(-)	185	160.0	0.0082	0.0030	274.0	0.27270	0.1009	-0.0979	-1.713
	(+)	185	160.0	0.0083	0.0031	268.0	0.30200	0.1117	0.1087	1.675
K1(20x60)	(-)	300	149.0	0.0054	0.0032	250.0	0.09440	0.0566	-0.0534	-1.678
	(+)	300	152.0	0.0049	0.0030	280.0	0.16830	0.1010	0.0980	1.842
K2(20x60)	(-)	300	125.0	0.0052	0.0031	219.0	0.14970	0.0898	-0.0867	-1.752
	(+)	300	130.0	0.0050	0.0030	231.0	0.16630	0.0998	0.0968	1.777

## EK B

Tablo 38 ve Tablo 39’da SAP2000 programından elde edilen S(200/60) ve S(20/100) kolonlarına ait üç boyutlu etkileşim yüzeylerinin oluşturulması esnasında kullanılan iki boyutlu etkileşim eğrileri aşağıda Şekil 119-122’de tablolardan alınan aksinel kuvvet-moment değerleri grafiksel olarak gösterilmektedir.

Tablo 38. S (200/60) kolonu 3 boyutlu olarak gösterilmiş olan etkileşim yüzeyinin oluşturulması için kullanılan 2 boyutlu etkileşim yüzeyi

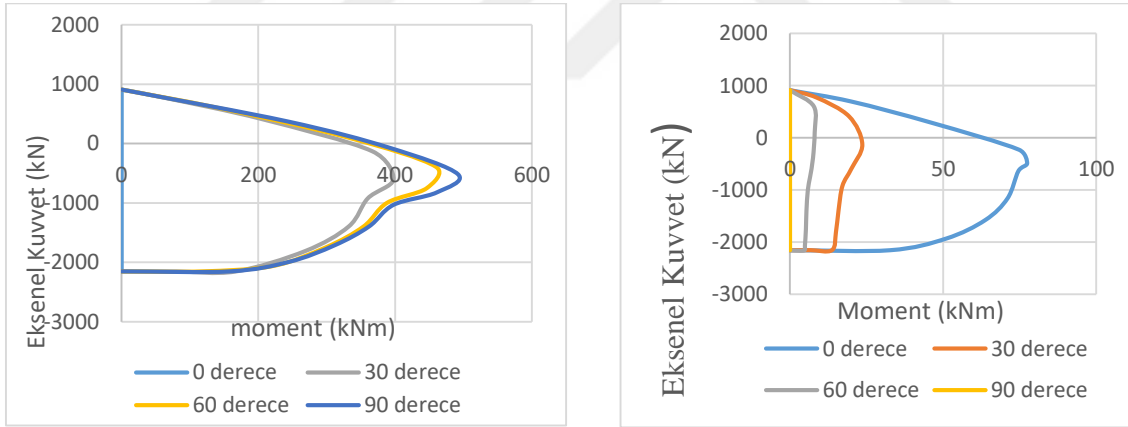
0 Derece			30 Derece			60 Derece			90 Derece		
Eksenel Kuvvet (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)	Eksene Kuvvet (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)	Eksenel Kuvvet (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)	Eksenel Kuvvet (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)
-11909	0	0	-11909	0	0	-11909	0	0	-11909	0	0
-11909	0	1684	-11909	116	977	-11909	155	662	-11909	584	0
-11279	0	2664	-11909	146	2177	-11909	313	1413	-11006	905	0
-9741	0	3416	-10174	154	3149	-10925	435	2401	-9372	1154	0
-8101	0	3957	-8302	166	3799	-8600	471	3307	-7618	1340	0
-6294	0	4313	-6255	182	4154	-6070	512	3668	-5660	1482	0
-5372	0	4988	-4981	216	4776	-4236	625	3986	-5135	1670	0
-4008	0	5334	-3152	256	4848	-1691	691	3531	-4326	1804	0
-1659	0	4256	-398	255	3341	962	489	2069	-2407	1487	0
692	0	2668	2248	199	1279	2799	195	743	112	919	0
3647	0	0	3647	0	0	3647	0	0	3647	0	0



Şekil 119. Aksinel kuvvet (kN)-Mxx (kNm)

Tablo 39. S (20/100) kolonu 3 boyutlu etkileşim yüzeyinin oluşturulması için kullanılan 2 boyutlu etkileşim yüzeyi

0 Derece			30 Derece			60 Derece			90 Derece		
Eksenel Kuvvet (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)	Eksene Kuvve (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)	Eksenel Kuvvet (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)	Eksenel Kuvvet (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)
-2154	0	0	-2154	0	0	-2154	0	0	-2154	0	0
-2154	0	33	-2154	80	7	-2154	116	5	-2154	158	0
-1931	0	51	-2154	166	14	-2063	221	5	-1993	245	0
-1576	0	64	-1811	268	15	-1746	299	5	-1711	312	0
-1160	0	71	-1395	332	16	-1397	354	5	-1398	362	0
-638	0	75	-922	360	17	-997	388	6	-1032	398	0
-487	0	78	-596	398	20	-750	446	7	-823	461	0
-228	0	75	-127	367	24	-389	460	8	-518	492	0
292	0	46	410	207	19	104	331	8	-74	393	0
698	0	19	770	64	9	604	141	8	374	243	0
912	0	0	912	0	0	912	0	0	912	0	0



Şekil 120. Eksenel kuvvet (kN)-Mxx (kNm)

Kolonların kirişlerde tanımlaması yapıldığı gibi kolonlara ait plastik mafsallık özelliklerine ait değerler Tablo 40'da verilmektedir.

- ✓ 1.Sütun : Kolon Tipi, plastik mafsallık özelliği gösterilen kolonun adıdır.
- ✓ 2.Sütun : Kolon Boyutları, plastik mafsallık özellikleri belirlenecek olan kolonların boyutlarının gösterildiği sütundur.
- ✓ 3.Sütun : Plastik Mafsallık Uzunluğu ( $L_p$ ), plastik mafsallık özelliği belirlenen kolonun deprem doğrultusunda çalışacak olan kesit boyutunun yarısı alınarak belirlenen uzunluğudur.
- ✓ 4.Sütun : P Eksenel Yük (kN), kolonların moment-eğrilik analizlerinde kullanılan eksenel yükü göstermektedir.
- ✓ 5.Sütun : Moment-Eğrilik Analiz Adları, seçilen P eksenel yüküne göre yapılan moment-eğrilik analizlerinin adıdır. 0 ve 90 derece için plastik mafsallık değerleri belirlenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir.
- ✓ 6.Sütun : Efektif Akma Momenti ( $M_y$ , kNm), elastik davranıştan elasto-plastik davranışa geçiş olduğu noktadaki moment değeridir.
- ✓ 7.Sütun : Maksimum Moment ( $M_u$ , kNm), taşıyıcı elemanların özellikleri göz önünde bulundurularak (kolon tipine, mesnet durumuna ve plastik mafsallık uzunluğuna bağlı olarak), bilinear moment-eğrilik ilişkisindeki harcanan enerjinin olduğu ve en büyük eğrilik değerine karşılık gelen moment değeridir.
- ✓ 8.Sütun :  $M_u/M_y$ , maksimum moment değeri ile efektif akma momenti değerlerinin oranı olarak ifade edilen değerdir.
- ✓ 9.Sütun : Efektif Akma Eğriliği (rad/m), efektif akma eğriliği bilinear duruma getirilmiş moment-eğrilik ilişkisinde elastik davranıştan elasto-plastik davranışa geçiş yapılan noktadaki eğrilik değerine karşılık gelen noktadır.
- ✓ 10.Sütun : En Büyük Eğrilik (rad/m), kirişin asıl veya bilinear moment-eğrilik ilişkisindeki güç harcanmasının olduğu ve en büyük eğriliğe dengelenen noktadır.
- ✓ 11.Sütun : Süneklik, efektif akma eğriliği ve en büyük eğrilik oranını göstermektedir.
- ✓ 12.Sütun : Efektif Akma Dönmesi (rad), efektif akma eğriliğinin plastik mafsallık boyu ile çarpılması sonucu elde edilen değerdir.
- ✓ 13.Sütun : En Büyük Dönme (rad), en büyük eğriliğin plastik mafsallık boyu ile çarpılması sonucu elde edilen değerdir.

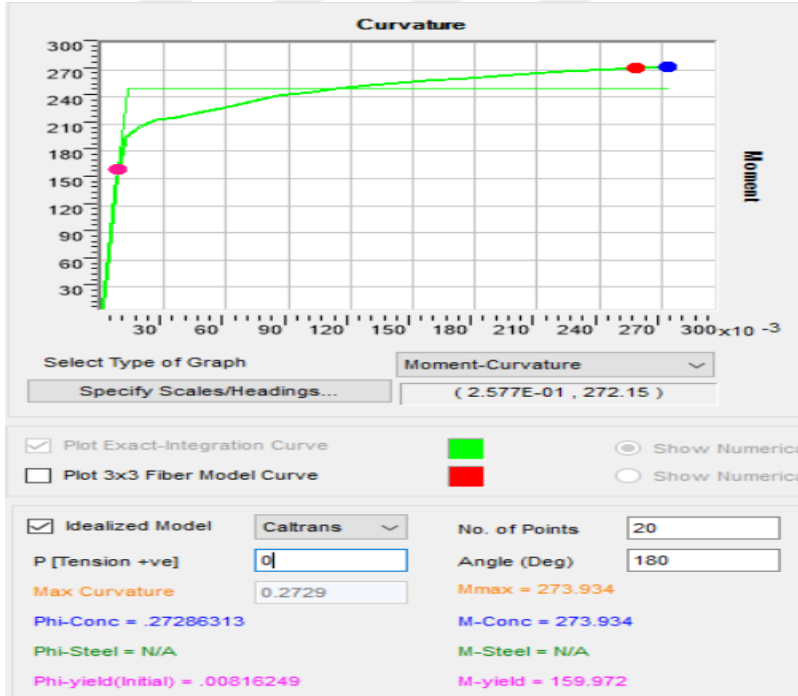
Tablo 40. Kolonlara ait plastik mafsal değerleri

Kolon Adı	Plast mafs Boyu (m)	Eksen. Yükle (kN)	Mom-Eğr Analiz Adları	Efektif Akma Momen. (kNm) My	En Büyük Mome (kNm) Mu	Efektif Akma Eğriliği (rad/m) Qy	En Büyük Eğrilik (rad/m) Qu	Efektif Akma Dönme (rad)	En Büyük Dönme (rad)
S60	0.55	P1=320	P1-0	424.0	587.0	0.00506	0.13410	0.00278	0.0738
			P1-90	687.0	1042.0	0.00263	0.04890	0.00145	0.0269
S(20/100)	0.1	P1=300	P1-0	80.0	88.0	0.02383	0.30200	0.00238	0.0302
			P1-90	368.0	507.0	0.00335	0.02920	0.00033	0.0029
S(30/50)	0.15	P1=400	P1-0	129.0	149.0	0.01520	0.12770	0.00228	0.0192
			P1-90	198.0	250.0	0.00804	0.07560	0.00121	0.0113
S(50/30)	0.25	P1=465	P1-0	206.0	257.0	0.00830	0.09710	0.00207	0.0243
			P1-90	137.0	155.0	0.01580	0.17070	0.00395	0.0427
S(100/60)	0.5	P1=335	P1-0	758.0	1139.0	0.00304	0.05520	0.00152	0.0276
			P1-90	534.0	730.0	0.00531	0.13320	0.00265	0.0666
S(110/60)	0.55	P1=300	P1-0	937.0	1435.0	0.00273	0.05120	0.00150	0.0282
			P1-90	612.0	812.0	0.00530	0.12550	0.00292	0.0690
S(200/60)	1	P1=570	P1-0	2169.0	3385.0	0.00141	0.03510	0.00141	0.0351
			P1-90	742.0	1052.0	0.00504	0.18810	0.00504	0.1881
S(AL)	0.5	P1=450	P1-0	528.0	892.0	0.00296	0.06110	0.00148	0.0306
			P1-90	479.0	542.0	0.00865	0.02390	0.00432	0.0120
S(DT) 1. VE 2.KAT	0.5	P1=1380	P1-0	750.0	1111.0	0.00316	0.05670	0.00158	0.0284
			P1-90	465.0	567.0	0.00575	0.02410	0.00288	0.0120
S(DT) 3.KAT	0.5	P1=500	P1-0	578.0	951.0	0.00286	0.06890	0.00143	0.0344
			P1-90	368.0	527.0	0.00496	0.02630	0.00248	0.0132
S(TT) 1. VE 2.KAT	0.5	P1=1390	P1-0	1204.0	1337.0	0.00505	0.01450	0.00253	0.0072
			P1-90	628.0	758.0	0.00446	0.01980	0.00223	0.0099
S(TT) 3.KAT	0.5	P1=500	P1-0	1009.0	1172.0	0.00448	0.01960	0.00224	0.0098
			P1-90	492.0	718.0	0.00381	0.02160	0.00191	0.0108
S(YL)	0.5	P1=425	P1-0	864.0	1065.0	0.00416	0.02180	0.00208	0.0109
			P1-90	489.0	550.0	0.00864	0.02380	0.00432	0.0119





Şekil 122. K100/37 Kirişin ait pozitif moment akma ve max. moment değerleri



Şekil 123. K100/37 Kirişin ait negatif moment akma ve max. moment değerleri

Yukarıda Şekil 122 ve Şekil 123'te verilen grafik okumaları yapılmış pozitif ve negatif değerlere karşılık efektif akma momenti, efektif akma eğriliği ve maksimum moment değerleri, maksimum eğrilikler belirlenmiş Şekil 124'de verilen plastik mafsallara ilişkin bilgilerin tanımlanması için gerekli olan tablo oluşturulmuştur.

TİP	BÖLGE	$L_p$ (mm)	$M_y$ (kNm)	$\Phi_y$ (rad/m)	$\theta_y$ (rad)	$M_u$ (kNm)	$\Phi_u$ (rad/m)	$\theta_u$ (rad)	$\theta_p$ (rad)	Moment/SF	$\theta_p$ (rad)	Moment/SF
K100x37	Negatif	185	160.0	0.00817	0.00302	274.0	0.27270	0.10090	0.09788	1.713	-0.09788	-1.713
	Pozitif	185	160.0	0.00827	0.00306	268.0	0.30200	0.11174	0.10868	1.675	0.10868	1.675

Şekil 124. K100/37 ait kiriş plastik mafsallara ilişkin değerlerinin belirlenmesi

$$\phi_y = \frac{\theta_y}{L_p}$$

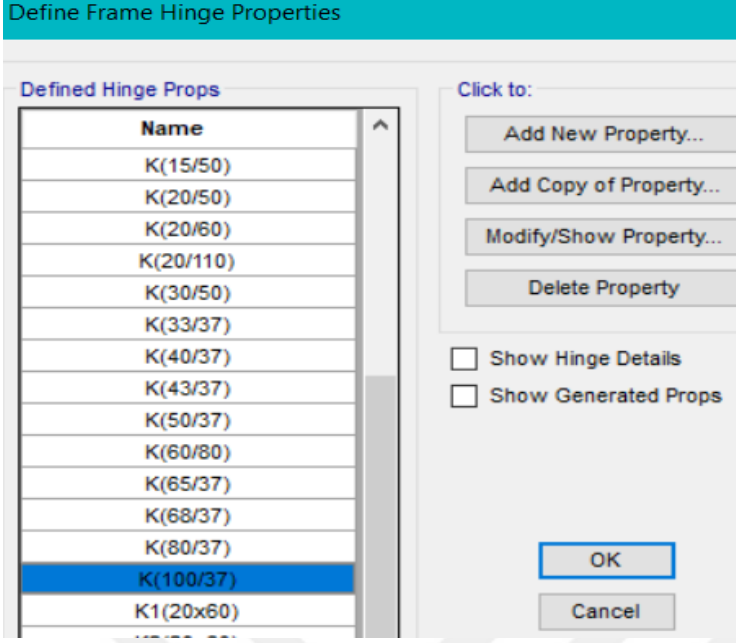
$$\phi_u = \frac{\theta_u}{L_p}$$

$$\theta_u = \theta_y + \theta_p$$

Kiriş mafsalları boyu eğilmeye çalışan kesit yüksekliğinin yarısı ( $L_p$ ) alınarak hesaplarda kullanılmıştır. Yukarıdaki tablo da görüldüğü gibi bütün kirişler için plastik mafsallara ilişkin değerleri hesap edilmiştir. Diğer hesap edilen değerler EK A'da Tablo 34'de verilmiştir.

Plastik mafsallara ilişkin değerleri belirlediğimiz kirişin SAP 2000 programında tanımlanması aşağıda şekillerde gösterildiği gibidir.

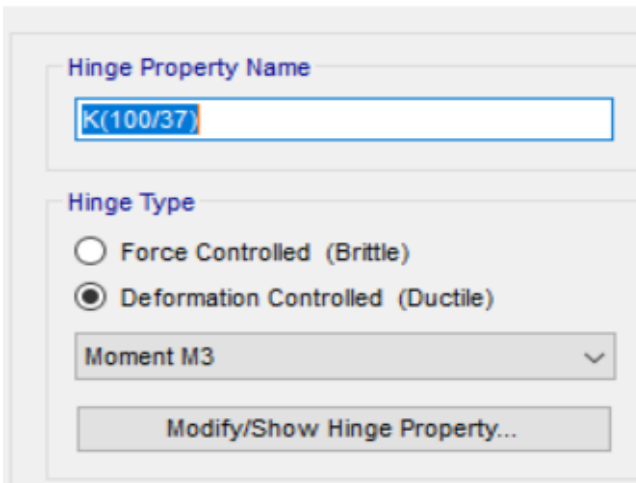
SAP 2000 programında plastik mafsallara ilişkin tanımlamak için Define > Section Properties > Hinge Properties adımları takip edilerek Şekil 127'de ki diyalog kutusu açılır.



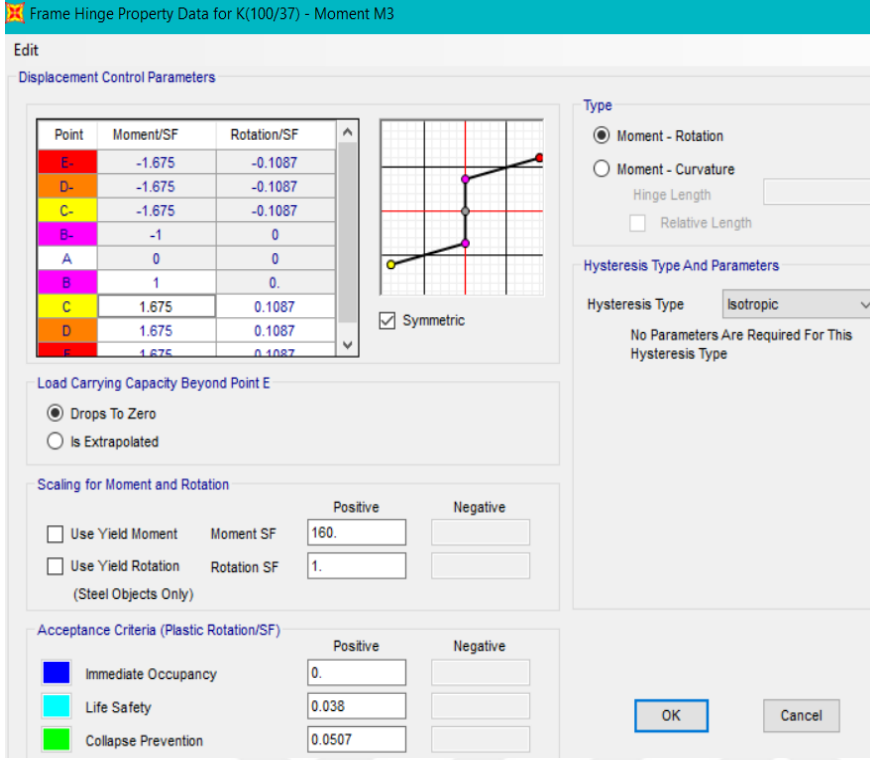
Şekil 125. Adım 1 plastik mafsal SAP 2000 tanımlaması

Şekil 125'te açılan diyalog kutusunda Add New Property butonuna basılarak yeni plastik mafsal tanımlaması yapılır. Açılan Frame Hinge Property Data kutucuğunda K(100/37) kirişinin Moment M3 işaretlemesi yapılarak diğer bir işlem adımına geçilmiştir. Açıklanan durum Şekil 126'da gösterilmektedir.

#### ✘ Frame Hinge Property Data



Şekil 126. Adım 2 K100/37 kirişi plastik mafsal tanımlaması



Şekil 127. Adım 3 Şekil 109’da belirlenen değerlerin ilgili yerlerine Girilmesi

Yukarıda Şekil 127’de verilen diyalog kutusuna ait açıklamalar aşağıda verilmiştir (2011, Karabulut).

Type, Yukarıda tanımlaması verilen örnekte moment-dönme ilişkisi içinde tanımlaması yapılmıştır. Diğer bir tanımlama da moment-eğrilik tanımlamasıdır.

Hysteresis Type and Parameters, Plastik mafsalsın histeretik davranış tipinin seçildiği kısımdır. Tanımlamalarda İotropik maddesi seçilmiştir.

Scaling for Moment and Rotation, Kirişin üstte veya altta çekme olması durumlarına göre girişler farklı yapılmaktadır. Pozitif kısım altta çekme, negatif kısım üstte çekme davranışını göstermektedir. K100/37 ait değerler yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.

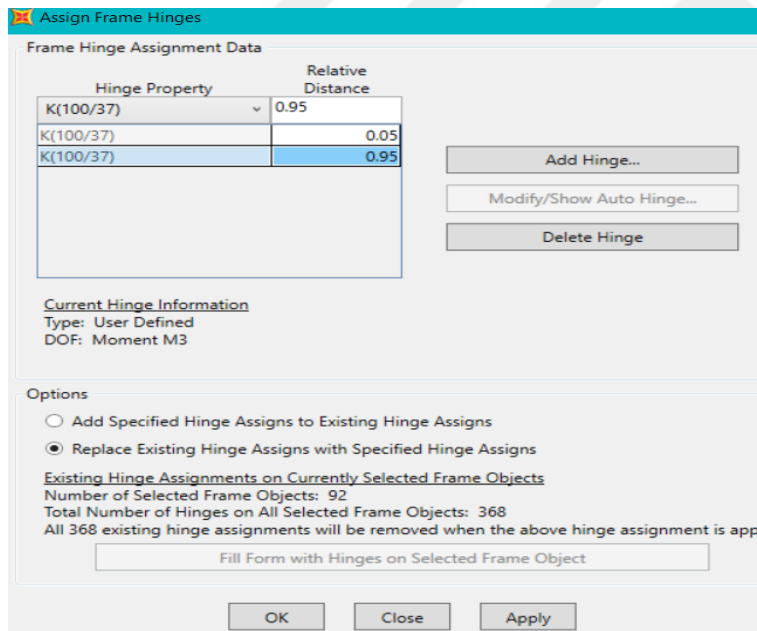
Displacement Control Parameters, kiriş mesnetlerine ait kesit özelliklerinin belirlenerek elde edilmiş olan değerler yani moment-eğrilik ilişkilerinin belirlendiği değerler bu kısımda girilmektedir. Eğer kiriş değerleri altta ve üstte aynı özellikleri gösteriyorsa Symmetric kutucuğu işaretlenir. Farklı özellikler gösteriyorsa A, B, C, D, E noktaları kiriş özelliklerine göre girilmelidir.

Load Carrying Capacity Beyond Point E; kiriş plastik mafsalına ait yük taşıma kapasitesinin E noktasından sonra nasıl devam edeceğinin karar verildiği kısmı göstermektedir. Belirtilen E noktasından sonra mafsal yük taşıyamaz hale geldiği kabulü yapılır ve *Drop to Zero* seçeneği seçilmelidir.

*Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)*; doğrusal olmayan analizler sonucunda kiriş plastik mafsal özelliklerine ait performans değerlendirmesi için tanımlanan sınır deformasyon değerlerinin girildiği kısımdır.

Gerçekleştirilen işlem adımları sonrası kirişe ait M3 plastik mafsal tanımlaması yapılmış olur.

Assign > Frame > Hinges adımları takip edilerek çıkan diyalog kutusunda plastik mafsal değerleri girilmiş olan K(100/37) kirişi seçilerek 0.05 ve 0.95 (i ve j uçları olarak adlandırılan) noktalarından plastik mafsal atanması gerçekleştirilmiş olur. İşlem adımları Adım 4 olarak Şekil 128’de gösterilmektedir.

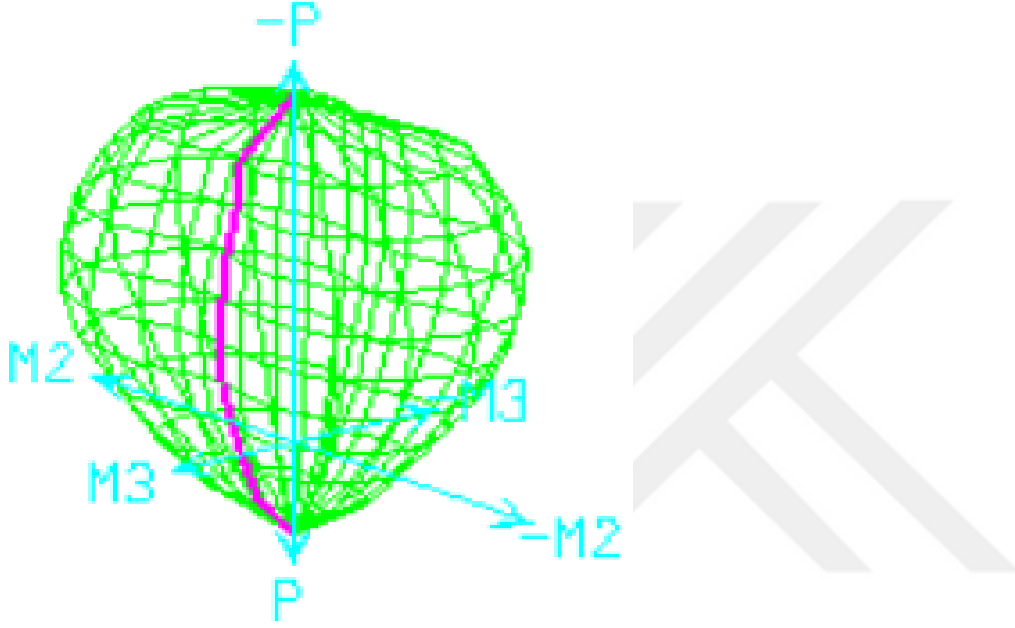


Şekil 128. Adım 4 K100/37 kirişi plastik mafsal atanması

Yukarıda kirişlere ait plastik mafsal tanımlamaları aşama aşama anlatılmış ve K(100/37) kirişi örnek olarak verilmiştir. Diğer kirişlere ait özellikler de aynı bu şekilde tanımlanmış ve tüm kirişlere plastik mafsallar atanmıştır.

## EK D

Kolonların gerçekleştirilen plastik mafsalları tanımlamasında P-M2-M3 plastik mafsalları tipi kullanılarak yapılmaktadır. Kolonlarda 2 boyutun etkileşim eğrileri kullanılarak 3 boyutlu etkileşim yüzeyi oluşturulur (2011, Karabulut). Normal kuvvet (P) ve iki eksenli moment (M2 ve M3) eksenlerinde 3 boyutlu etkileşim yüzeyi oluşturulur. Şekil 129'da S110/60 kolonuna ait etkileşim yüzeyi gösterilmektedir.

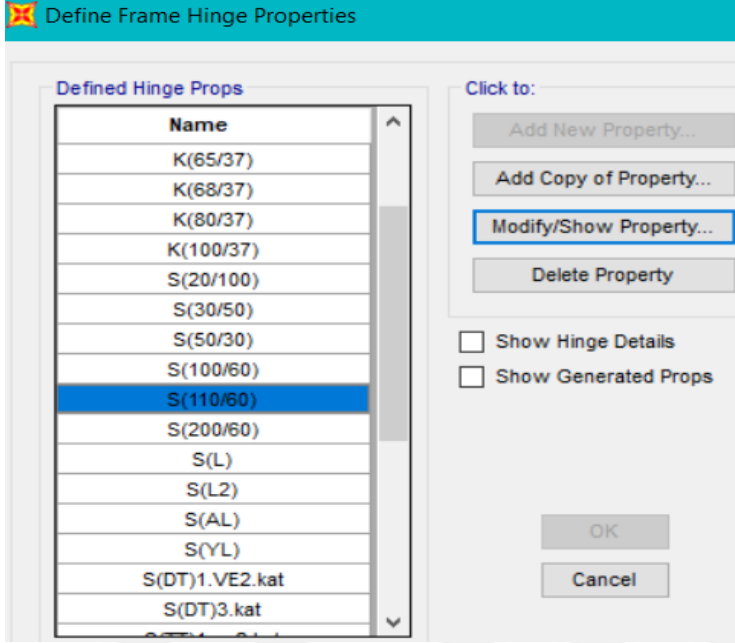


Şekil 129. 3 Boyutlu etkileşim yüzeyi

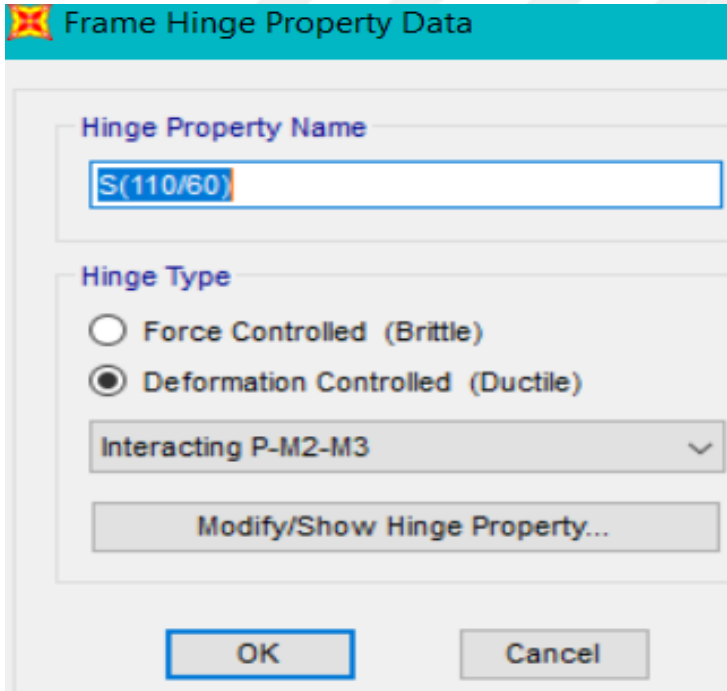
Plastik mafsalları değerleri belirlenen kolon için SAP 2000 programında tanımlanması aşağıda açıklanmaktadır.

SAP 2000 programında plastik mafsalları tanımlamak için Define > Section Properties > Hinge Properties adımları takip edilerek Şekil 132'de ki diyalog kutusu açılır.

Açılan diyalog kutusu sonrası Add New Property butonuna basılarak S(110/60) kolonu için Interacting P-M2-M3 seçilerek plastik mafsalları tanımlaması yapılmıştır. Açılan diyalog kutusu Şekil 132'de gösterilmektedir.



Şekil 130. Adım 1 plastik mafsal SAP 2000 tanımlaması



Şekil 131. Adım 2 S(110/60) kolonu plastik mafsal  
Tanımlaması

İşlem adımlarına devam edilebilmesi için Şekil 130'da ki Modify/Show Hinge Property butonuna basılarak Şekil 131'de gösterilen Frame Hinge Property Data for S(110/60) diyalogu açılmıştır. Şekilde gösterilen işaretlemeler yapılmış ve gerekli adımlar izlenmiştir. Önceden belirlenen EK B Tablo gösterilmiştir. S(110/60) kolonuna ait değerler Şekil 132'de verilmiştir.

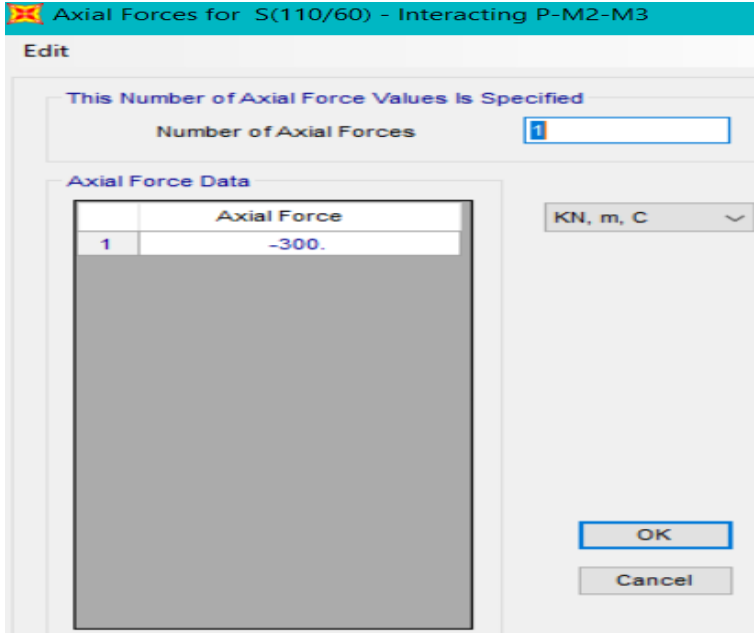
Şekil 132. Adım 4 S(110/60) kolonu plastik mafsals tanımlaması

Kolon Tipi	Kolon Boyutları	Plastik mafsals Boyu (m)	Eksenel Yükler (kN)	Mom-Eğr Analiz Adları	Efektif Akma Momenti (kNm) My	En Büyük Moment (kNm) Mu	Mu/My	Efektif Akma Eğriliği (rad/m) Qy	En Büyük Eğriliği (rad/m) Qu	Sünelik	Efektif Akma Dönmesi (rad)	En Büyük Dönme (rad)
S60 KOLONU	S60x110 0.6/1.10	0.3	P=100	P-0	463.0	670.0	1.45	0.00650	0.07550	11.61	0.00195	0.02265
				P-90	744.0	1329.0	1.79	0.00266	0.09740	36.67	0.00080	0.02922

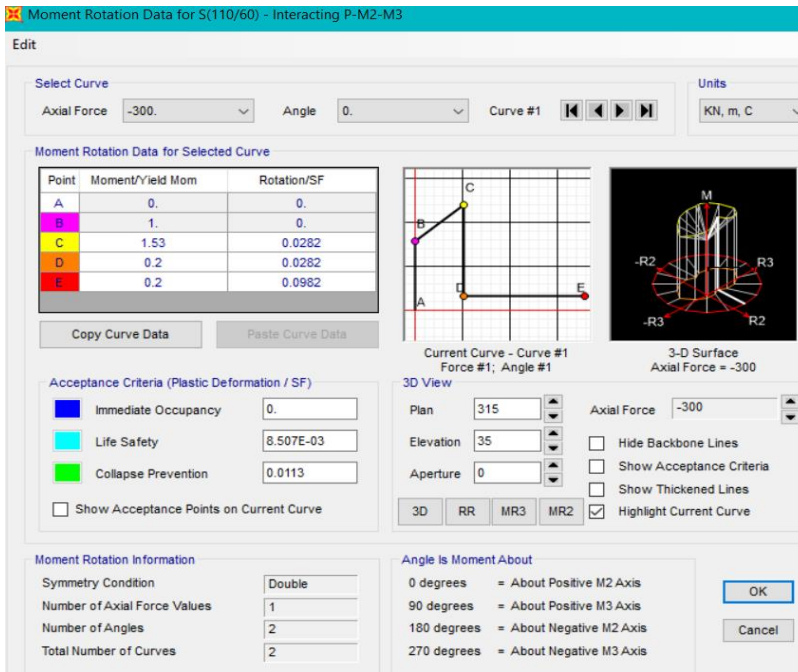
Şekil 133. Adım 5 S(110/60) kolonu plastik mafsals tanımlaması

Modify/Show Axial Force Values butonuna basılarak S(110/60) kolonu için belirlenen eksenel kuvvet bu kısımda girilmiştir. Modify/Show Angles kutucuğunda tanımlanmış olan 0 ve 90 dereceleri için belirlenen plastik mafsals değerleri bir sonraki adımlarda

gösterilmiştir. Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data butonuna basılarak Moment Rotation Data for S(110/60) penceresi açılmıştır.



Şekil 134. Adım 6 S60 kolonu plastik mafsal tanımlaması



Şekil 135. Adım 9 S110/60 kolonu plastik mafsal tanımlaması

Select Curve > Axial Force; tanımlaması yapılacak olan kolonlara ait belirlenmiş P eksenel yükün tanımlandığı kısımdır. S110/60 kolonu için bu eksenel yük  $P = -300$  olarak belirlenmiştir.

Select Curve > Angle; aynı şekilde tanımlaması yapılmış eksenel yükün hangi açılarda moment-dönme ilişkisi hesap edilecek ise o açının tanımlamasının yapıldığı kısımdır. Bir eksenel yük için iki adet açı tanımlanmıştır.

Moment-Rotation Data for Selected Curve; plastik mafsal tanımlaması yapılacak olan kolonun belirlenen eksenel yük ve açı altındaki moment-dönme ilişkisinin girildiği ve daha sonra performans analizlerinde kullanılmak üzere belirlenen plastik mafsal değerlerinin bazı plastik deformasyon sınırlarının tanımlandığı kısımdır.

Moment Rotation Information; bu kısmın sol tarafında girilmiş olan bilgilerin özeti, sağ tarafında ise tanımlama esnasında kullanılacak olan yardımcı bilgileri bulunur.

Yukarıda S110/60 kolonuna ait plastik mafsal adımları detaylı bir şekilde anlatılmış Şekil 134'de belirlenen değerler Şekil 135'de 0 ve 90 dereceler için tanımlanmış olup plastik mafsal tanımlaması S110/60 kolonu için tamamlanmıştır. Aynı işlemler diğer tüm kolonlar içinde gerçekleştirilmiş olup EK C gösterildiği gibi kolonlar için de plastik mafsal atamaları gerçekleştirilmiştir.

## ÖZGEÇMİŞ

Lise öğrenimini 2010-2014 yılları arasında Bağcılar Akşemsettin Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimini 2014-2018 yılları arasında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünde tamamladı. 2018 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Selma GÜNEŞ

