



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**GÜÇLENDİRİLMİŞ BİR BETONARME
YAPININ TBDY 2018'E GÖRE
MOD TOPLAMA
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

Kani Batu ERMiŞ

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

KASIM 2023



**GÜÇLENDİRİLMİŞ BİR BETONARME YAPININ TBDY 2018'E GÖRE
MOD TOPLAMA YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

Kani Batu ERMİŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2023

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ☒ Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- ☒ Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ☒ Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ☒ Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- ☒ Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ☒ Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Kani Batu ERMİŞ

28/11/2023

GÜÇLENDİRİLMİŞ BİR BETONARME YAPININ TBDY 2018'E GÖRE MOD TOPLAMA YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Kani Batu ERMİŞ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2023

ÖZET

Bu tez çalışmasında, güçlendirilmiş bir betonarme yapının TBDY 2018'e göre mod toplama yöntemi ile incelenmiştir. Yapının modellenmesinde ve analizinde, bilgisayar destekli yapı analiz programı olan SAP2000 kullanılmıştır. Modellenen yapı dört katlı asimetrik bir okul binasıdır. Analiz için gerekli olan deprem kayıtları PEER Ground Motion Database'den alınmıştır. Yapılan bu analizlerde yapıya perde eklenmesinin yapıya etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümde doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri anlatılmıştır. Çalışmanın konusu olan zaman tanım alanında analizin tanımı yapılmıştır. Ayrıca bu bölümde analiz için gerekli olan gerçek deprem ivme kayıtlarının tanımlamaları yapılmıştır. Bu deprem ivme kayıtları çeşitli istasyon ve bölgelerden seçilmiştir. Her bir ivme kaydının büyüklüğü, yeri, zamanı ve verdiği zararlar incelenmiştir. Ayrıca TBDY'de belirtilen deprem kayıtları seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlara değinilmiştir. Üçüncü bölümde yapılarda oluşan hasarların sebepleri incelenmiştir. Ayrıca mevcut betonarme yapılara uygulanan güçlendirme çeşitleri irdelenmiştir. Kolonlar ve kirişlere uygulanan mantolama, lifli polimer sargı (FRP) ve yapıya perde eklenmesi ile yapılan güçlendirme incelenmiştir. Dördüncü bölümde incelenen okul yapısının modellenmesi ve yapının özellikleri verilmiştir. Son olarak beşinci bölümde modellenen yapıların analizi yapılmıştır.

Sonuç olarak üç farklı yapısal modele (ana model, perde duvar ile güçlendirilen yapı modeli ve kolon kesitleri büyütülen yapı modeli) kullanılan yirmi iki farklı deprem kaydı etkiltilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre perde duvar eklenen yapıdaki deplasmanlarda yaklaşık olarak %44,2'lik bir azalma gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Yapıların güçlendirilmesi, zaman tanım alanında analiz

Sayfa Adedi : 80

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi SELÇUK KAÇIN

EXAMINATION OF A STRENGTHENED REINFORCED CONCRETE STRUCTURE
USING THE MODE ADDITION METHOD ACCORDING TO TBDY 2018
(M. Sc. Thesis)

Kani Batu ERMİŞ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

November 2023

ABSTRACT

In this thesis study, a reinforced reinforced concrete structure was examined with the mode summing method according to TBDY 2018. SAP2000, a computer-aided building analysis program, was used in the modeling and analysis of the structure. The modeled structure is a four-storey asymmetrical school building. The earthquake records required for the analysis were taken from the PEER Ground Motion Database. In these analyses, the effect of adding curtains to the structure was examined.

In the second part of the study, linear and non-linear analysis methods are explained. The analysis was defined in the time domain, which is the subject of the study. In addition, in this section, the definitions of real earthquake acceleration records required for analysis are made. These earthquake acceleration records were selected from various stations and regions. The magnitude, location, time and damage caused by each acceleration record were examined. In addition, the issues that should be taken into consideration when selecting earthquake records specified in TBDY are mentioned. In the third section, the causes of damage to buildings were examined. Additionally, the types of reinforcement applied to existing reinforced concrete structures were examined. The reinforcement made by sheathing applied to columns and beams, fibrous polymer wrapping (FRP) and adding shear walls to the structure were examined. In the fourth chapter, modeling of the examined school structure and the characteristics of the structure are given. Finally, in the fifth section, the modeled structures were analyzed.

As a result, these earthquakes were affected by twenty-two different earthquake records used and three different structural models (main model, building model reinforced with shear walls, and building model with enlarged column sections). According to the analysis results, an approximately 44.2% decrease in displacements in the structure with a shear wall added was observed.

Key Words : Strengthening of structures, Time history analysis

Page Number : 80

Supervisor : Asst. Prof. Dr. SELÇUK KAÇIN

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca desteklerini hiç esirgemeyen, hoşgörülü ve anlayışlı yaklaşımıyla sorularıma her zaman cevap veren, çok değerli tez danışmanım Sayın DR. ÖĞR. ÜYESİ SELÇUK KAÇIN'a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	İV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	İX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri	6
2.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi.....	8
2.4. Deprem Tasarım Spektrumu	9
2.5. Deprem İvme Kayıtları.....	9
2.6. TBDY 2018’e göre Deprem Kayıtlarının Seçilmesinde Uyulması Gereken Koşullar	10
2.7. Seçilen Deprem İvme Kayıtları.....	10
3. BETONARME YAPILARI GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	24
3.1. Giriş.....	24
3.2. Yapılarda Oluşan Hasarların Sebepleri	25
3.3. Betonarme Yapılarda Kullanılan Güçlendirme Türleri.....	27
3.3.1. Mantolama	28
3.3.2. Çelik Sargı	30
3.3.3. Perde Duvar	31
3.3.4. Lifli Polimer Sargı (FRP).....	34
4. ANALİZİ YAPILACAK OLAN YAPININ MODELLENMESİ.....	35

4.1. Giriş.....	35
4.2. Modellenen Yapının Özellikleri.....	35
4.3. İvme Spektrumu ve Deprem Kayıtları	44
4.4. Perde ile Güçlendirilen Yapının Özellikleri.....	49
4.5. Kolon Kesitlerinin Arttırılması ile Güçlendirilen Yapının Özellikleri	51
5. ANALİZ SONUÇLARI	53
5.1. Yapı Modeline Göre Analiz Sonuçları.....	53
5.2. Analiz Sonucunda Elde Edilen Bulgular.....	55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	63
EK-1 GÜÇLENDİRME ÖNCESİ YAPININ ANALİZ ÖNCESİ MODELİ	64
EK-2. İNCELENEN YAPININ KALIP PLANI	65
DİZİN.....	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kobe depremi ivme-zaman grafiği	11
Şekil 2.4. Parkfield depremi ivme-zaman grafiği	14
Şekil 2.5. ChiChi depremi ivme-zaman grafiği	15
Şekil 2.6. Coyote depremi ivme-zaman grafiği	16
Şekil 2.11. Diğer deprem kayıtlarının ivme zaman grafikleri	22
Şekil 2.12. Maraş depremi ivme zaman grafiği	23
Şekil 3.1. Yapılarda uygulanan çıkmalar.....	25
Şekil 3.2. Güçlü kiriş zayıf kolon hasarları a- Simav depremi, b- Kobe depremi, c- Van depremi	26
Şekil 3.6. Mantolama yapılmış bir kolon [31]	29
Şekil 3.7. Mantolama örneği	29
Şekil 3.8. Kolona Kanat eklenmesi (TBDY, 2018)	30
Şekil 3.9. Çelik sargı yapılan kolon örneği (BAYÜLKE, 1995)	31
Şekil 3.10 Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon üzerindeki etkisi (Sugano, 1981)	33
Şekil 3.11. Kiriş ve kolonlarda yapılan FRP sargı	34
Şekil 4.2. Yapının X-Y kesiti	37
Şekil 4.3. Kiriş kesiti ve özellikleri (30/50).....	37
Şekil 4.4. Kiriş kesiti ve özellikleri (70/30).....	38
Şekil 4.5. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/80)	38
Şekil 4.6. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/70)	39
Şekil 4.7. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/150)	39
Şekil 4.8. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (80/40)	40
Şekil 4.9. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (70/30)	40
Şekil 4.10. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (70/30)	41

Şekil 4.11. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (120/30)	41
Şekil 4.13. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/60)	42
Şekil 4.14. Perde kesiti ve özellikleri (30).....	43
Şekil 4.15. Dikdörtgen Kolonun kesiti ve özellikleri	43
Şekil 4.16. Döşeme kesitinin özellikleri.....	44
Şekil 4.17. Analizde kullanılan parametreler	45
Şekil 4.19. ChiChi depreminin analiz programına tanımlanması	46
Şekil 4.20. ChiChi ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı.....	47
Şekil 4.21. Coyote ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı	47
Şekil 4.22. Imperial Valley ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı.....	47
ölçeklendirilmiş deprem	47
Şekil 4.24. Kocaeli ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı	47
Şekil 4.25. LomaGilroy ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı	48
Şekil 4.26. Mammoth Lake ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı	48
Şekil 4.27. Nahanni ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı	48
Şekil 4.28. Northridge ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı	48
Şekil 4.29. Northridge2 ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı	48
Şekil 4.30. Parkfield ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı.....	49
Şekil 4.31. Whittier Narrows ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı.....	49
Şekil 4.32. Yapının Y-Z kesitinden görünüşü	50
Şekil 4.33. Yapının X-Z kesitine eklenen perde duvar	50
Şekil 4.34. Perde kesiti tanımlanması	51
Şekil 4.35. Kesitleri büyütülen kolonlar	52
Şekil 5.1. Analiz Sonuçları	54
Şekil 5.23. Sırasıyla Station El Tigre Chile ve Station Sierra Gorda Chile deprem ölçüm istasyonlarına ait deprem ivme kayıtları.....	56

Şekil 7.1. Güçlendirme öncesi yapının analiz öncesi modeli.....	64
Şekil 7.2. İncelenen yapının kalıp planı ve yapıya eklenen perde duvarlar	65



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

g

Açıklamalar

Yer çekimi ivmesi ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)

m

Metre

m²

Metrekare

m³

Metreküp

N

Newton

M_w

Moment Büyüklüğü

Kısaltmalar

Açıklamalar

DD-1

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi

DD-2

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi

DD-3

50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi düzeyi

DD-4

50 yılda aşılma olasılığı %68 olan deprem yer hareketi düzeyi

DBYBHY

deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (2007)

PGA

Peak Ground Acceleration (En Büyük Yer İvmesi)

PEER

Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi

TBDY

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

1. GİRİŞ

Ülkemizin deprem kuşaklarının üzerinde bulunması, yapıların projelendirilmesi ve inşa edilmesi sırasında dinamik etkilerin göz önüne alınmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Geçmiş yönetmeliklere göre yapılan mevcut yapıların önemli bir kısmı günümüzde geçerli olan yönetmelik koşullarını sağlayamamaktadır. Ayrıca projesine uygun bir şekilde yapılmayan yapılar da günümüzde deprem performansı açısından yetersiz kalabilmektedir [1].

Ne yazık ki ülkemizde son zamanlarda gerçekleşen depremler, yapılarda karşılaşılan ve dayanımı kötü etkileyen birçok farklı sebebi ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizin yapı stokunun yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Mevcut bu yapıların kontrolü yapılarak, ekonomik ve mühendislik değerlendirmeleri sonucunda güçlendirme veya yıkılma kararları verilmelidir.

Yapılan binaların tasarımındaki en önemli etkenlerden birisi de depremlerdir. Yer kabuğundaki değişimler ve kırılmalar sonucu gerçekleşen titreşimlerin oluşturduğu sarsıntılara deprem adı verilir. Depremler oluş sebeplerine göre üç farklı grupta incelenirler. Gerçekleşen depremlerin büyük bir bölümünü tektonik depremler oluşturur. Bu deprem türü levha hareketlerinin sonucunda ve genellikle levhaların sınırlarındaki bölgelerde görülür. Ülkemizdeki depremler büyük bir oranla tektonik hareket sonucu oluşan depremlerdir. Bu deprem türü dışında volkanik ve çöküntü depremleri vardır. Volkanik depremler Türkiye’de aktif yanardağ bulunmaması sebebiyle görülmezler. Japonya’da gerçekleşen bazı depremler bu sınıfa dahil olarak örnek verilebilir. Çöküntü depremleri yeraltı boşluklarının, mağaraların ve madenlerin (kömür ocakları) çökmesi sonucu oluşan küçük bir etki alanına sahip depremlerdir. Bu tezde incelenen deprem kayıtları tektonik sarsıntılardan alınmıştır.

Ülkemizdeki büyük ölçekli depremlerden birisi 2020 yılında gerçekleşen İzmir depremidir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı’nın (AFAD) raporuna göre 6,6 büyüklüğündeki bu depremin sonucuna bakıldığında 117 kişi ölmüş ve 1034 kişi yaralanmıştır. Bu kayıpların gerçekleşmesine sebep olan durum ise bölgedeki yıkılan apartmanlardır. İnşaat Mühendisleri Odası’nın (İMO) raporuna göre giriş katındaki dolgu duvarların kaldırılması, düşük beton kalitesi, yanlış etriye kullanımı, kolon kiriş birleşiminde yanlış uygulama, bölme duvarların kaldırılarak düşeyde sürekliliğin bozulması gibi uygulama hataları

bulmuştur. Bu durum yapıların uygulanışı sırasındaki eksiklikler ve yapının kullanımı sırasında yapılan tadilatlar ile doğrudan ilgilidir. Bu depremin insanlara ve binalara verdiği zarar, yapının denetimi yapılarak ve uygun görüldüğü yerlerde gerekli güçlendirme çözümleri uygulanarak önlenebilirdi.

Gerçekleşen en güncel ve en yıkıcı deprem ise 2023 yılında, merkez üssü Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesinde olan depremdir. Büyüklüğü 7,8 M_w olan bu deprem Suriye, Lübnan, Kıbrıs, Irak, İsrail, Ürdün ve Mısır'ı da etkilemiştir. İç İşleri Bakanlığı tarafından açıklanan bilgiye göre depremde 50783 kişi hayatını kaybetmiştir ve 107204 kişi yaralı olarak kayıtlara geçmiştir. Strateji ve Bütçe Bakanlığının yaptığı açıklamaya göre gerçekleşen depremin Türkiye'ye maliyeti 2 trilyon liradır. Bu verilere bakıldığında yeterli deprem dayanımı olmayan bir yapı stokunun sonuçları görülmektedir [2].

Mevcut yapılarda deprem kaynaklı hasarlardan dolayı taşıyıcı elemanlar dayanımı ve dayanıklılığını kaybetmektedir. Az veya orta hasarlı olan ve ömrünü tamamlamamış olan bu yapılara yeniden dayanımlarını kazandırmak için iki yöntem bulunur; güçlendirme ve onarım. Onarım yapılara eski dayanımını sağlar fakat deprem kaynaklı bir hasarı var ise yapı benzer bir deprem veya daha büyük bir deprem karşısında ciddi hasarlar alabilir. Bu tarz bir durumu engellemek amacıyla yapının taşıyıcı elemanlarının dayanımının arttırılması veya yapıya yeni taşıyıcı elemanlar eklenmesi gerekebilir. Bu gibi işlemlere yapının güçlendirilmesi denilir.

Yapılarda güçlendirme gerektiren en önemli sebepler; yanal rijitlik yetersizliği, kötü donatı düzenlemesi, kusurlu tasarım, kötü beton ve kötü işçiliktir [3]. Bu gibi durumlar yapının istenildiği gibi bir davranış sergileyememesi ile sonuçlanır.

Birçok güçlendirme türü bulunur. Bu yöntemlerin yapıya dayanım ve dayanıklılık kazandırmasının yanında bazı dezavantajları da bulunur. Yapıya uygun doğru yöntemin seçilmemesi veya gerekli dayanımdan fazlasının verilmesi sonucunda maliyet, alan ve malzemenin dayanıklılığı konusunda önemli sorunlar ortaya çıkabilir. Yapılan araştırmalar sonucunda binanın kalitesi, konumu ve yaşının bina maliyet oranı üzerinde etkili olduğu görülmüştür [4]. Güçlendirme, onarım ve maliyet üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Siddika A. ve diğerkleri (2019), fiber takviye polimerler (FRP) ile yaptıkları güçlendirme çalışmasında FRP'nin yüksek çekme mukavemetine sahip olduğuna ve betonarme kirişlerin nihai mukavemetini iki katına kadar arttırabileceğini görmüştür. Ayrıca açılı olarak sarıldıklarında ve ek ankrajlar ile birlikte kullanıldıklarında kesme ve burulmada önemli kazanımlar elde etmişlerdir [5].

Raza S. ve diğerkleri (2019), mantolama türleri ve hibrit mantolamalar üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu yöntemlerde kolonun kesiti, kolonun bir kısmı veya tamamı üzerine yeni bir betonarme/harç bölümü dökülerek büyütülür. Yeni bölüm, ankraj donatıları veya yüksek mukavemetli cıvatalar aracılığıyla orijinal bölüme yapıştırılır. Bu teknik, eksenel yük taşıma kapasitesi, eğilme mukavemeti ve süneklik açısından kolonun sismik performansını iyileştirmesine rağmen, kalıbın montajı nedeniyle maliyetli ve zaman alıcıdır [6].

Atay H. (2010), çalışmasında elde edilen bilgiler sonucunda, yapının taşıyıcı sistemi ve meydana gelen hasarın tipine göre güçlendirme metodu seçiminin önemli olduğu ve bu doğrultuda bir güçlendirme yöntemine karar verilmesinin güçlendirilmiş yapının performansına çok etkisi olduğu kanısına varmıştır [7].

Erdel B. (2019), bir yapıya güçlendirme önerileri olarak kolon mantolaması, perde ilavesi, mantolama ve perde ilavesinin birlikte kullanılması ve kat tıraşlama gibi 4 adet farklı kombinasyonla sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak yapının yeniden yapımı güçlendirilmesinden daha uygun olduğu görülmüştür [8].

Aşıkoğlu A. (2018), güçlendirilmiş bir tarihi yapının sismik davranışını değerlendirmek için doğrusal olmayan itme ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Kontrolleri doğrultusunda güçlendirmenin yapısal davranışa olumlu katkısı olduğu gözlemlenmiştir [9].

Tetik T. (2015), eski yönetmeliğe (DBYBHY 2007) göre yapı analizi yapılmış ve gerekli güçlendirme önerilerinde (çelik çaprazlar) bulunmuştur [10].

Tuncay, K. (2017), Eski deprem yönetmeliğine göre yapılan bu çalışmada bina servis ömrü ve güçlendirme maliyetleri doğrultusunda yapının yıkılmasının daha uygun olabileceğini belirtmiştir [11].

Bu çalışmaların büyük bir bölümü eski deprem yönetmeliğine (DBYBHY 2007) göre yapılmıştır. 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile tasarım ve güçlendirme konusunda önemli değişiklikler olmuştur. Bu yeni yönetmeliğin değişikliklerinin verimliliği hala incelenmekte ve test edilmektedir. Bu değişiklikler, eski çalışmaların sonucunu (maliyet- dayanım) değiştirecek düzenlemeler içermektedir.

Yapacağım analizde kullanacağım yöntem zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. Bu yöntem deprem yükleri etkisi altında diferansiyel denklem takımıyla ifade edilen taşıyıcı sistemin hareket denklemlerinin, zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu yapılarak çözüldüğü için bu yöntem zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak (Time History Analysis) adlandırılır. Yapılan çözümde, sistemin doğrusal olmayan davranışından dolayı rijitlik matrisinde zamanla meydana gelen değişim hesaba katılır [12].

Buzuku J. (2019), eski yönetmeliğe (DBYBHY 2007) göre yapılan bir yapının zaman tanım alanında analizini yapmış ve yapıya yeterli dolgu duvar elemanlarının eklenmesinin yapının deprem dayanımının arttırılmasında pratik ve etkili bir yöntem olacağı sonucuna varmıştır [13].

Yıldız E. (2021), eski yönetmelikle (DBYBHY 2007) tasarlanmış betonarme yüksek bir binanın TBDY 2018'e göre analizini yapmıştır. Doğrusal olmayan yöntemle yaptığı hesaplamalar sonucunda; BYS=1 sınıfına giren mevcut yüksek binanın normal performans hedefinin göçmenin önlenmesi performans düzeyi olduğu belirlemiştir. Binanın deprem performansının, normal performans hedefi olan göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağladığı görülmüştür [14].

Aldaddou A. (2022), Planda düzensiz yapıların diyafram tiplerinin ve boşluk oranlarının zaman tanım alanında analizini yaparak kıyaslamıştır. Bu çalışmada mimarisi sonucunda düzensizlikler içeren yapıların analizinde gerçekleştirilecek esnek diyafram etkileri araştırılmıştır. 11 adet deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Yapıdaki boşlukların diyafram tipini etkilediği ve deprem davranışına olumsuz etkide bulunduğu tespit edilmiştir [15].

Alabdeen R. (2019), Çaprazlarla güçlendirme yönteminin çelik yapılara etki incelenmiştir.

7,4 büyüklüğündeki bir deprem kaydı kullanılarak, SAP2000 programında zaman tanım alanında analizi yapılmıştır. Güçlendirme uygulanmış ve uygulanmamış yapılarda elde edilen sonuca göre güçlendirilmiş yapılarda daha az yanal deformasyon görülmüştür. [16]

Yapılan bütün bu çalışmalarda görüldüğü üzere eski yönetmeliğe göre yapılan mevcut betonarme yapıların günümüz yönetmeliğine göre değerlendirmeleri literatürde sıklıkla karşılaştırılan konular arasındadır. Fakat eski yönetmeliklere uygun yapılan ve güçlendirme ile kullanılır hale getirilen yapıların yeni yönetmeliğe göre deprem performansları henüz incelenmiş bir konu değildir.

Bu tezin amacı TBDY 2018'e göre güçlendirilmiş bir okul yapısının geçmiş deprem kayıtları ile dinamik analizi olacaktır. Öncelikle güçlendirme öncesi yapının davranışı incelenecektir. Sonrasında ise yapılan güçlendirmeler sonucu yapının benzer etkilere maruz kalması sonucunda oluşabilecek kuvvetleri nasıl karşılayacağı incelenecek, değerlendirilecek ve öneriler sunulacaktır.

2. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ

2.1. Giriş

Bu bölümde, araştırmanın konusu olan zaman tanım alanında analizin tanımı yapılmış ve analiz yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bir yapının tasarımı yapılırken kullanıma göre seçilen tasarım yükleri ve malzeme türleri yapının kapasite kontrollerinin sonuçlanmasında önemli bir etkidir. Bu tasarımların kontrollerinde malzeme davranışlarına yapılan kabullere farklı analiz yöntemleri mevcuttur.

2.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

Yapısal analiz yöntemleri doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan olmak üzere iki gruba ayrılır. Tasarımı veya analizi yapılan yapının taşıyıcı elemanlarının davranışı doğrusal elastik olarak kabul ediliyorsa bu yöntem doğrusal elastik analiz olarak tanımlanır. Doğrusal elastik olmayan analiz yönteminde de taşıyıcı elemanın doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınır.

Elastik ve elastik olmayan yöntemler kendi içinde statik ve dinamik olarak ikiye ayrılır. Bu iki yöntemde de yapıya etkiyen yüklerin analizi değişiklik gösterir. Statik olarak analiz edilen yapıda yapıya etkiyen yükler sabittir ve analiz boyunca değişmezler. Dinamik analizde ise bu durumun tersi bir yöntem kullanılır. Yapıya zamanla değişen yükler uygulanarak analizi yapılır.

Bu analiz yöntemlerinden biri seçilirken, analiz yönteminin sonucunda elde edilmek istenen sonuca ve test edilecek yüklere göre seçim yapılır.

Genel olarak, binalar tasarlanırken dayanıma göre tasarım (DGT) kullanılmakta ve yapısal elemanlar (kolon, kiriş, perde vb.) öngörülen kesit etkilerini taşıyabilecek şekilde boyutlandırılmaktadır. Fakat yapılan çalışmalar göstermiştir ki, büyük depremler sırasında yapıda oluşan hasarlar büyük yerdeğiştirmelerden kaynaklanmaktadır. Bu bilgi ışığında, son yıllarda dayanıma göre tasarım yerine, şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞDGT) tercih

edilmeye başlanmış ve FEMA 356, ATC40, EC8, TBDY 2018 gibi birçok modern deprem yönetmeliği ŞDGT için yöntemler önermiştir [17].

Dayanıma göre tasarım yaklaşımı, günümüzde bütün deprem yönetmeliklerinde yer alan ve can güvenliği performans hedefini sağlamak üzere azaltılmış deprem yükleri altında taşıyıcı sistemin doğrusal hesabına dayanan tasarım yaklaşımıdır. Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımında bazı performans hedefleri için taşıyıcı sistemin gerçek davranışının modellenmesine ve doğrusal olmayan hesabına olanak sağlayan ve ilerleyen zamanlarda uygulamada daha yaygın kullanılması beklenen modern tasarım yaklaşımıdır [18].

Dış eylemin türüne ve yapının davranışına bağlı olarak, analiz ayrıca şu şekilde sınıflandırılabilir: (1) Doğrusal Statik Analiz, (2) Doğrusal Olmayan Statik Analiz, (3) Doğrusal Dinamik Analiz ve (4) Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz. Sınırlı yüksekliğe sahip düzenli yapılar için doğrusal statik analiz diğer adıyla eşdeğer statik yöntem kullanılabilir. Doğrusal dinamik analiz, tepki spektrumu yöntemi ile gerçekleştirilebilir. Doğrusal statik ve doğrusal dinamik analiz arasındaki önemli fark, kuvvetlerin seviyesi ve yapının yüksekliği boyunca dağılımıdır. Doğrusal olmayan statik analiz, yapının esnek olmayan davranışına izin vermesi anlamında doğrusal statik veya dinamik analize göre bir gelişmedir. Doğrusal olmayan bir dinamik analiz, bir deprem sırasında bir yapının gerçek davranışını tanımlamanın tek yöntemidir. Yöntem, yapısal elemanın elasto-plastik deformasyonunu dikkate alarak diferansiyel hareket denklemlerinin doğrudan sayısal entegrasyonuna dayanmaktadır [19].

Doğrusal statik analiz, kısaca tanımlamak gerekirse ilk olarak tüm bina için tasarım taban kesme kuvveti hesaplanır ve daha sonra binanın yüksekliği boyunca dağıtılır. Bu şekilde elde edilen her kat seviyesindeki yanal kuvvetler, bireysel yanal yüke dayanıklı elemanlara dağıtılarak tamamlanır. TBDY 2018’de tanımlanan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, doğrusal statik analiz yöntemlerine bir örnektir.

Doğrusal olmayan statik analiz, amacı olası bir depremde yapı elemanlarında meydana gelecek doğrusal elastik ötesi deformasyonların ve yapı davranışının daha gerçekçi olarak tahmin edilmesidir. İtme Analizi (Pushover Analysis) olarak da bilinir.

Doğrusal dinamik analiz, tepki spektrumu (Yatay Elastik Tasarım Spektrumu) yöntemi doğrusal dinamik analiz yöntemidir. Bu yöntemde, bir deprem sırasında yapının tepe tepkisi, doğrudan deprem tepkisinden elde edilir, ancak bu, yapısal tasarım uygulamaları için oldukça doğrudur [20]. Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi TBDY 2018’de verilen doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerine örnektir.

Doğrusal olmayan dinamik analiz, zaman tanım alanında analiz olarak da bilinir. Özellikle değerlendirilen yapısal tepkinin doğrusal olmadığı durumlarda yapısal sismik analiz için önemli bir tekniktir. Böyle bir analizi gerçekleştirmek için, değerlendirilmekte olan bir yapı için temsili deprem ivme kayıtları gereklidir. Zaman tanım alanında analiz, zamanla değişebilen belirli bir yüklemeye bir yapının dinamik tepkisinin adım adım analizidir. Temsili depremin (geçmiş deprem kaydının) dinamik yüklemesi altındaki bir yapının sismik davranışını belirlemek için zaman alanı analizi kullanılır.

TBDY 2018’e göre, zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az on bir ölçeklendirilmiş deprem yer hareketi takımı kullanılacaktır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları aynı anda kendi eksenlerinde etki ettirilecektir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek yapılan hesap tekrarlanacaktır. Bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler, deprem hesabında başlangıç değerleri olarak göz önüne alınacaktır. Sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas şekil değiştirme talepleri ile sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri, yapılan analizlerin her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır.

2.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi

Deprem yönetmeliğinde dört farklı deprem düzeyi tanımlanmaktadır. Bunlar DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak sınıflandırılmaktadır. DD-1, tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek gerçekleşen hareketlerdir. 50 yılda aşılma olasılığının %2’dir. DD-2, tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek gerçekleşen hareketlerdir. 50 yılda aşılma olasılığının %10’dur. DD-3, tekrarlanma periyodu 72 yıl olan sık gerçekleşen hareketlerdir. 50 yılda aşılma olasılığının %50’dir. DD-4, tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık gerçekleşen hareketlerdir. 50 yılda aşılma olasılığının %68’dir.

2.4. Deprem Tasarım Spektrumu

Tasarım spektrumları yapının bulunduğu konumun zemin özelliklerine ve geçmişte gerçekleşen depremlerin istatistiklerine bağlı olarak hazırlanır. Deprem yönetmeliğinde yatay tasarım ivme spektrumu ve düşey tasarım ivme spektrumu olmak üzere iki adet ivme spektrumu bulunmaktadır.

2.5. Deprem İvme Kayıtları

Yapısal analiz metotlarından biri olan zaman tanım alanında analiz için deprem ivme kayıtlarını kullanmak gerekir. Bu yöntemde deprem ivme kayıtları yapıya dinamik olarak etkiltilerek zamana bağlı bir analiz yapılır.

Deprem ivme kayıtları yönetmelikçe belirlenen (TBDY) bazı kısıtlamalara tabiidir. Bu kısıtlamalar analiz sırasında kullanılması gereken deprem kayıtlarının özelliği, sayısı ve mekanizmalarına bağlıdır. İvme kayıtlarında uyulması gereken konulara bir alt başlıkta değinilmiştir.

Deprem ivme kayıtlarının elde edilebileceği üç farklı kaynak bulunur: yapay yollar kullanılarak oluşturulan tasarım ivme spektrumu uyumlu kayıtlar, kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş kayıtlar ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar. Deprem esnasında alınan kayıtların sayısının gün geçtikçe artması ve bunlara erişimin gelişen veri transfer teknolojisi ile birlikte kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları en çok tercih edilen seçenek haline getirmektedir [21].

Yapay olarak elde edilmiş deprem kayıtlarının kullanılmasındaki en temel zorluk, çok sayıda deprem hareketinin ortalamasını simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir kayıt elde etmeye çalışılmasıdır. Ayrıca yapay kayıtlarda çevrim sayısının gerçek ivme kayıtlarına oranla çok fazla olması dolayısıyla, kaydın enerji içeriği gerçeğe aykırı olacak derecede büyük olmaktadır [22]. Benzeştirilmiş deprem kayıtları, zeminin özelliklerini dikkate alarak yapılan modellemedir. Zemin özellikleri ve yayılım ortamının tanımlanması gerektiğinden dolayı uygulanması zor bir yöntemdir. Gerçek deprem kayıtları, tasarımın yapılacağı yerin zemin özellikleri ve sismik özelliklerine bağlı olarak benzer geçmiş kayıtlardan veya zemine

ve deprem yer hareketine göre ölçeklendirilmiş kayıtlardan seçilir. Bu nedenlerden dolayı, gerçek deprem kayıtlarının kullanılması diğer yöntemlere göre daha sağlıklı bir analiz yapılmasını sağlar.

Kullanılan deprem ivme kayıtlarının tasarımı veya analizi yapılacak yapının konumu ile uyumlu olmalıdır. Kontrol edilmesi gereken koşullardan bazıları: faylanma türü, yapının faya mesafesi, yerel zemin sınıfı, kaydedilen depremin büyüklüğü ve yırtılma yönü gibi değişkenlerdir. Bu sebeple farklı bölgelerden elde edilen depremlerin analizi yapılacak bölgeye uygun hale getirilmesi gerekir. Tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilerek yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri zemin koşullarına uygun bir düzeye getirilebilir.

2.6. TBDY 2018'e göre Deprem Kayıtlarının Seçilmesinde Uyulması Gereken Koşullar

TBDY'de bu deprem kayıtlarına yönelik kurallar bulunur. Bunlar şu şekildedir;

Zaman tanım alanında analiz için gerekli deprem ivme kayıtlarının seçiminde tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Yapının bulunduğu bölgeye uygun deprem yer hareketi düzeyinde olan deprem kayıtları öncelikli olarak tercih edilmelidir.

Yeterli sayıda veya nitelikte deprem kaydı bulunamazsa, zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Bu kayıtlar kullanılırken yapının bulunduğu zeminin özellikleri göz önüne alınacaktır.

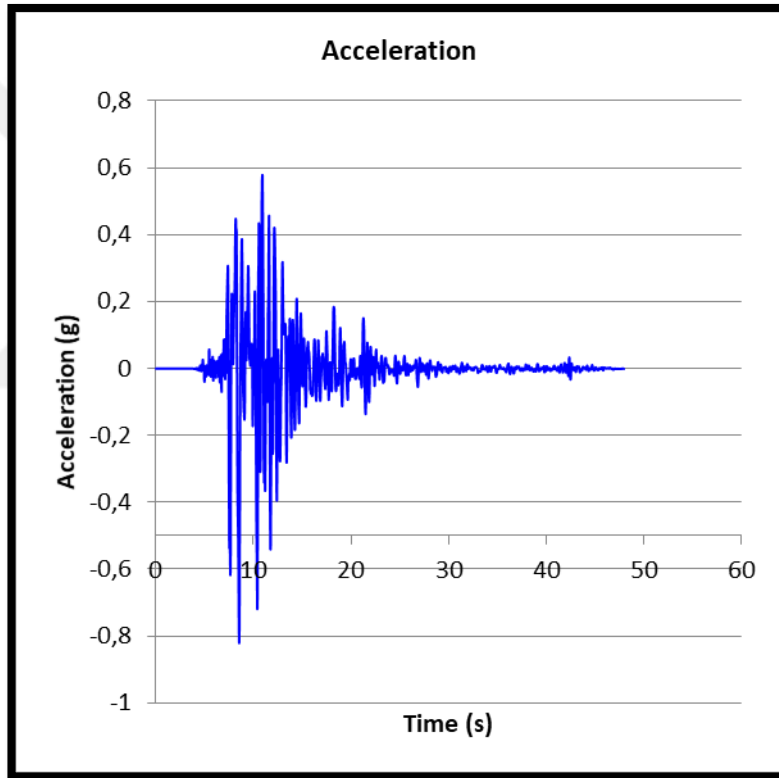
Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on bir olacaktır. Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecektir.

2.7. Seçilen Deprem İvme Kayıtları

TBDY'ye uyumlu bir şekilde on bir adet gerçek deprem kaydı seçilmiştir. Bu deprem kayıtları PEER Ground Motion Database'den alınmıştır. Bu depremler seçilirken dünyanın

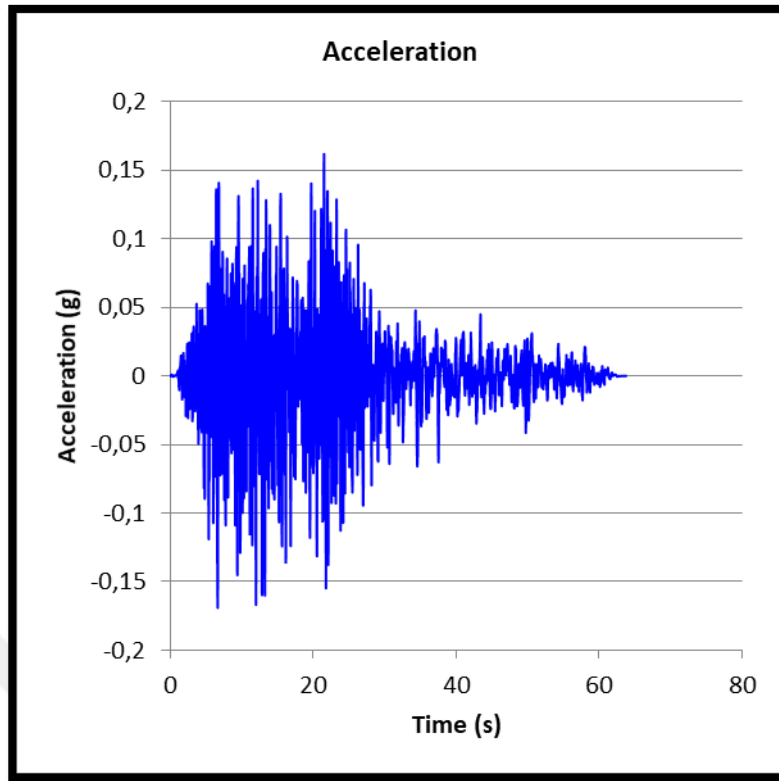
farklı yerlerinde gerçekleşen ve büyüklüğü 6 ve üzeri olan spektruma göre ölçeklendirilmiş deprem kayıtları seçilmiştir. Toplamda 22 adet kayıt kullanılmıştır. Aşağıda bu depremlerden bazılarının tanımları yapılmış ve her birinin güçlü eksenindeki deprem ivme kayıtları verilmiştir.

Kobe depremi, Japonya’da 1995 yılında gerçekleşmiş bir depremdir. Richter ölçeğine göre büyüklüğü 6,9’dur ve yerin 17,6 km derinliğinde gerçekleşmiştir. Büyük bir yıkıma sebep olmuştur, bu sebeple deprem Japonya tarihinde gerçekleşmiş en şiddetli depremlerdendir. Şekil 2.1’de Kobe depremine ait deprem kaydı verilmiştir.



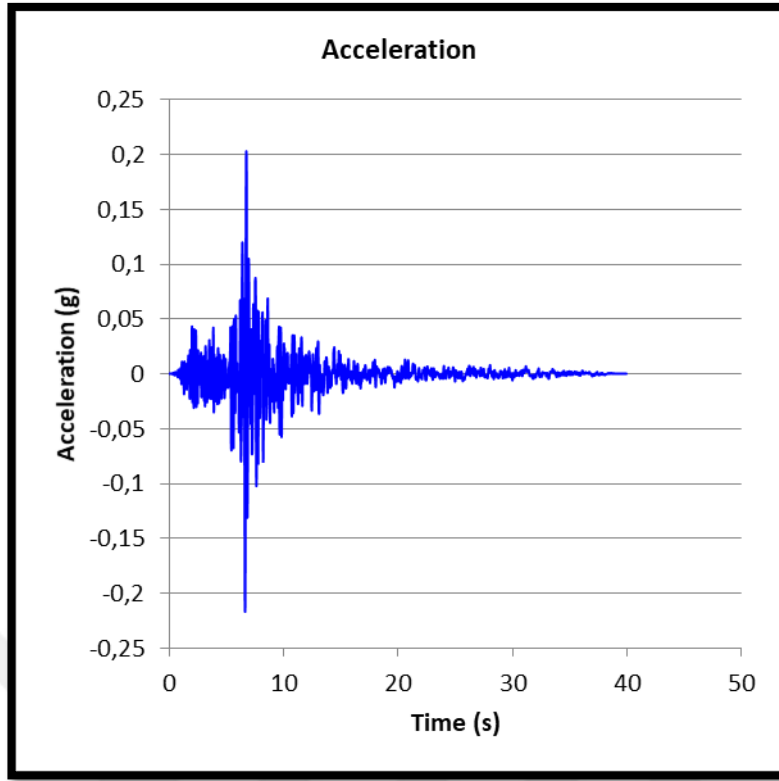
Şekil 2.1. Kobe depremi ivme-zaman grafiği

Imperial Valley depremi, 1979 yılında Meksika ve Amerika Birleşik Devletleri sınırının güneyinde gerçekleşmiştir. Deprem sığ bir hiposantr’a sahipti. Büyüklüğü 6.5 olarak ölçülmüştür. Herhangi bir can kaybı olamamasına rağmen Amerika Birleşik Devletleri’nde 30 milyon ABD Doları olarak tahmin edilen maddi hasara neden olmuştur. Şekil 2.2’de Imperial Valley depreminin ivme-zaman grafiği verilmiştir.



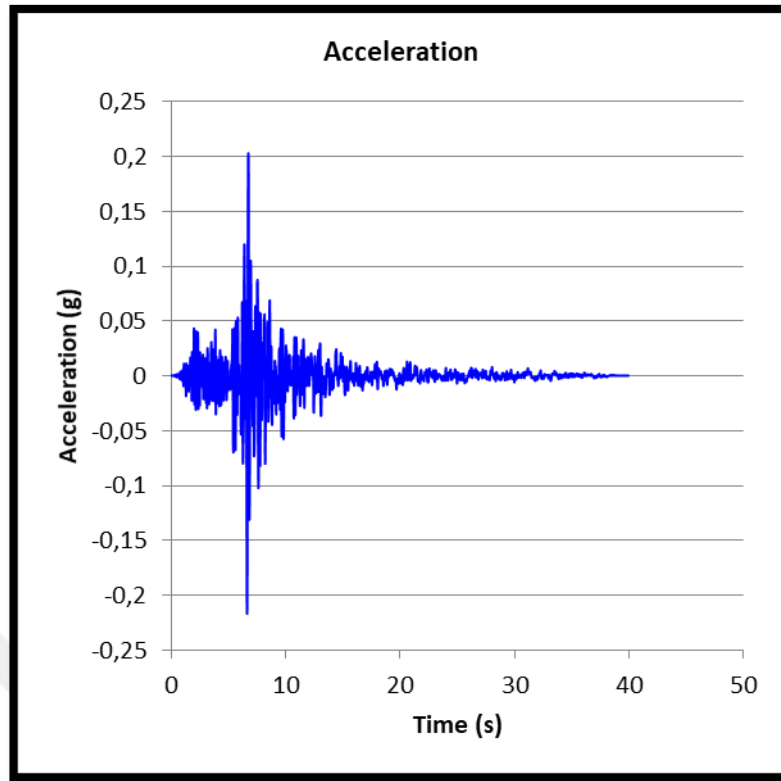
Şekil 2.2. Imperial Valley depremi ivme-zaman grafiği

Northridge depremi 1994 yılında ABD'nin Kaliforniya eyaletinde gerçekleşmiştir. Deprem, Los Angeles şehir merkezinin 32 km kuzeybatısında San Fernando Vadisi'nde meydana gelmiştir. Depremi moment büyüklüğü 6.7 olarak ölçülmüştür. Deprem yaklaşık 20 saniyelik bir süreye sahipti ve 0.2 g'lik PGA ile Kuzey Amerika'daki bir kentsel alanda şimdiye kadar aletsel olarak kaydedilen en yüksek değerdir. Bu depremi iki adet 6.0 M_w artçı sarsıntı izlemiştir, ilki ilk olaydan yaklaşık bir dakika sonra ve ikincisi yaklaşık 11 saat sonra olmak üzere toplamda birkaç bin artçı sarsıntı oluşmuştur. Ölü sayısı 57 olarak açıklanmış ve 9.000'den fazla yaralı açıklanmıştır. Deprem sonucundaki maddi hasarın 13-50 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir ve bu sebeple Amerikan tarihindeki en maliyetli doğal afetlerden birisi olarak kabul edilmektedir. Şekil 2.3'de Northridge depreminin ivme zaman kaydı verilmiştir.



Şekil 2.3. Northridge depremi ivme-zaman grafiği

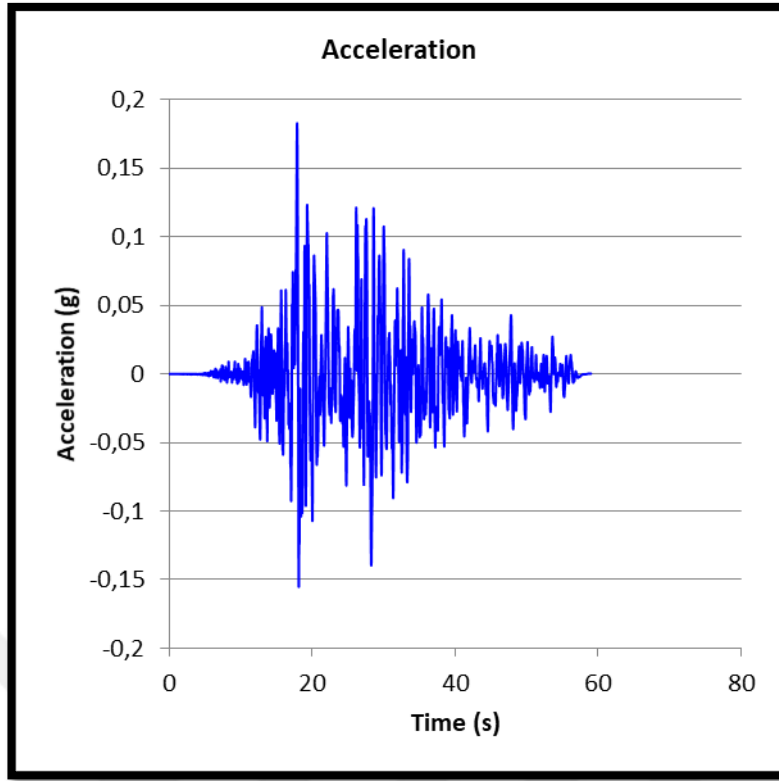
Parkfield depremi, Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletine bağlı Parkfield kasabası yakınlarında meydana gelen çeşitli büyük depremlere verilen bir isimdir. San Andreas fayı bu kasabanın içinden geçmektedir ve fay üzerinde, 1857 ve 1966 yılları arasında, 12 ila 32 yıl arayla (ortalama her 22 yılda bir), olağandışı düzenli aralıklarla altı ardışık 6 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Bölgede gerçekleşen son büyük deprem 2004 yılına aittir ve büyüklüğü 6.0 olarak ölçülmüştür. Şekil 2.4'de Parkfield depremlerinden birinin ivme zaman kaydı verilmiştir.



Şekil 2.4. Parkfield depremi ivme-zaman grafiği

21 Eylül büyük depremi olarak da bilinen Chi-Chi depremi (Çin’de Jiji depremi olarak da bilinir), 21 Eylül 1999’da Tayvan’ın Nantou İlçesi, Jiji’de (Chi-Chi) meydana gelen 7.3 M_L veya 7.7 M_w büyüklüğünde bir depremdir. 2.415 kişi ölmüş, 11.305 kişi yaralanmıştır ve ülkede 300 milyar NT\$ (Yeni Tayvan Doları) değerinde hasar meydana getirmiştir. 1935 Shinchiku-Taichū depreminden sonra Tayvan’ın kayıtlı tarihindeki en ölümcül ikinci depremdir.

Deprem sırasında Tayvan, dünyadaki en geniş sensör ve izleme istasyonları ağına sahipti bu sebeple depremin kaydı oldukça verimli bir şekilde kaydedildi. Bu depremin kaydını yapan istasyonların birinde 3 m/sn’lik bir tepe yer hareketi (PGA) kaydedildi ve bu, herhangi bir yerde bir depremde şimdiye kadar yapılmış en yüksek ölçüm oldu [23]. Şekil 2.5’te ChiChi depreminin ivme zaman grafiği verilmiştir.

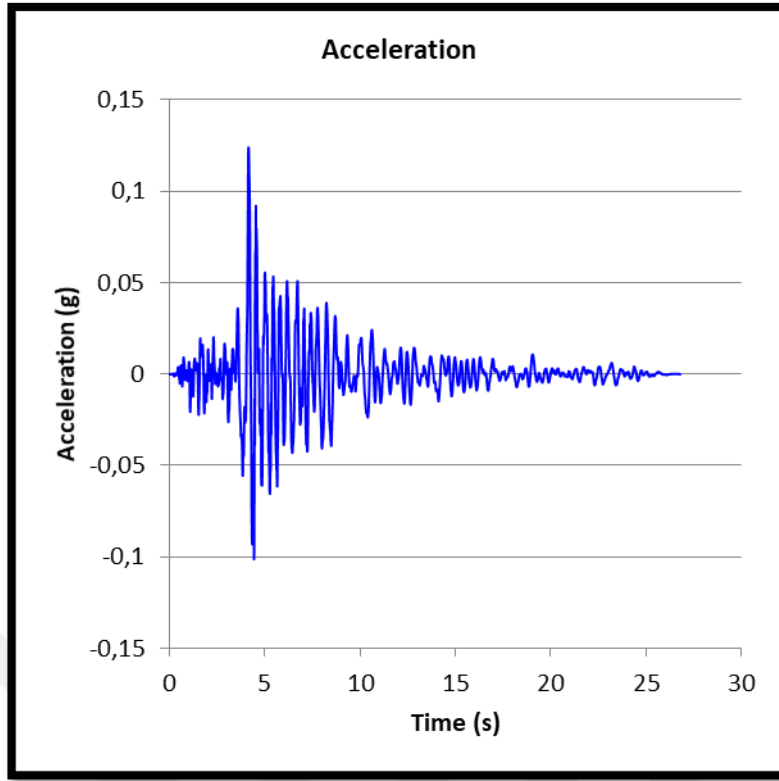


Şekil 2.5. ChiChi depremi ivme-zaman grafiği

Coyote Gölü depremi 1979 gerçekleşmiştir. Moment büyüklüğü 5.7'dir ve en büyük Mercalli Yoğunluğu (VII) ile meydana gelmiştir. Deprem Kaliforniya'daki Calaveras Fayı'nda gerçekleşmiştir.

Deprem sonucunda on altı kişi yaralanmış ve 500.000 dolarlık hasar meydana gelmiştir. Yapılarda cam kırılmaları, baca düşmesi, tavan çökmesi ve duvar çatlamları gibi hasarlara sebep olmuştur [24].

Kırılma bölgesi boyunca bir dizi istasyon ve Berkeley Sismoloji Laboratuvarı'ndaki aletler de dahil olmak üzere çok sayıda kuvvetli hareket istasyonu depremi kaydetmiştir. Coyote Creek ve Gilroy'daki en yakın iki istasyon ile Berkeley istasyonları, toplam fay uzunluğunu, kaymasını ve faylanma derinliğini düzeltmek için kullanılmıştır. Kayıtlar, düşey bir fay üzerinde 14 km (8,7 mil) üzerinde doğrultu atım hareketinin meydana geldiğini ve toplam kayma miktarının derinliğe göre değiştiğini ve daha sığ bölgelerde daha fazla kayma meydana geldiğini ortaya koymuştur [25-26]. Şekil 2.6'da Coyote depreminin ivme-zaman grafiği verilmiştir.

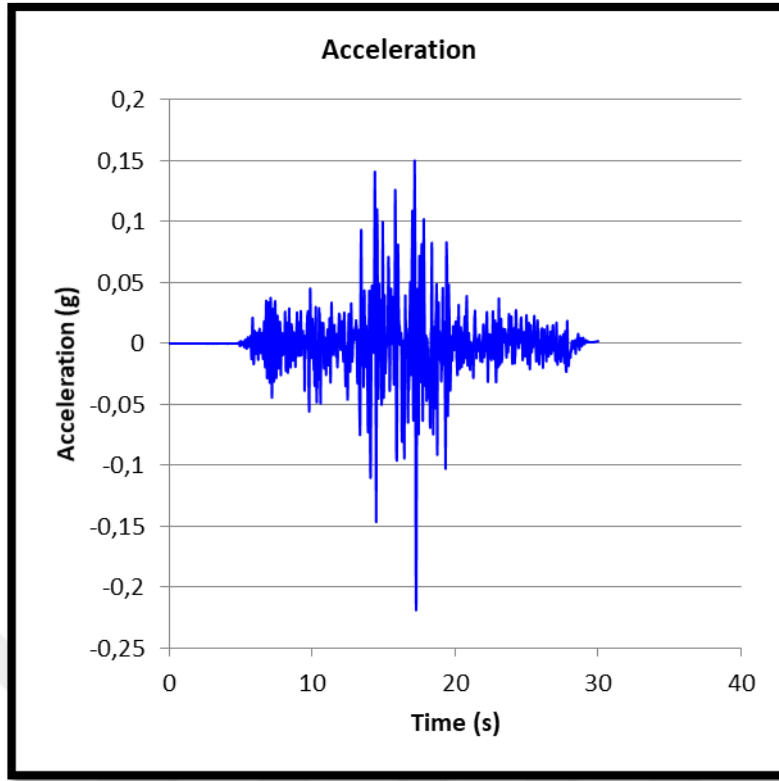


Şekil 2.6. Coyote depremi ivme-zaman grafiği

Kocaeli depremi ya da 1999 Gölcük Depremi, İzmit Depremi, Marmara Depremi olarak da bilinen depremdir. 17 Ağustos 1999 yılında Kocaeli/Gölcük merkezli olarak gerçekleşmiştir. Deprem Richter ölçeğine göre 7.4 M_w büyüklüğündedir. Depremın odak derinliği 17 km olarak belirlenmiştir ve sağ atımlı bir fay hareketinden oluştuğu araştırmalarca belirtilmiştir.

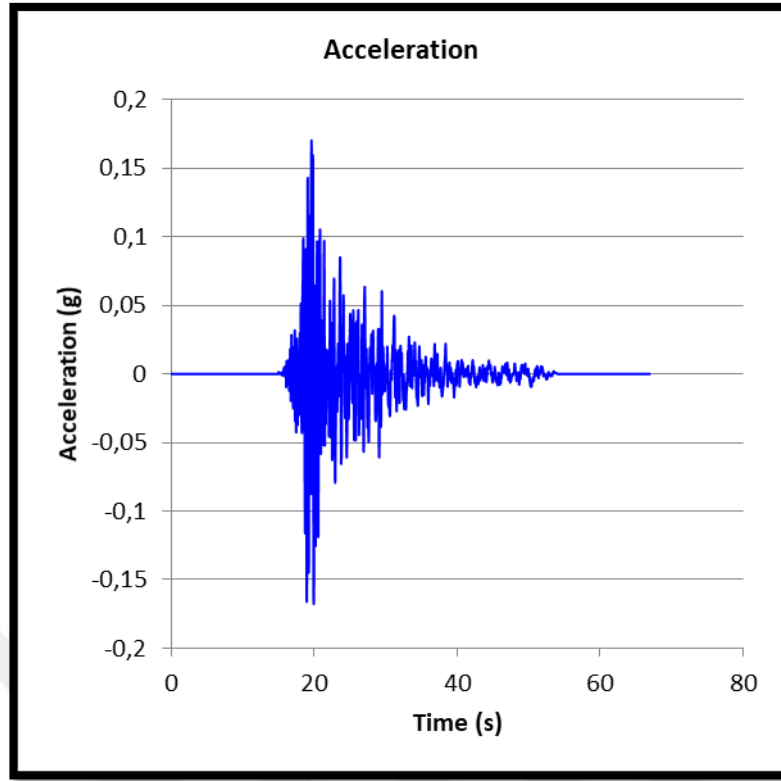
Resmi raporlara göre 18.373 ölüm, 48.901 yaralanma olmuştur ve 505 kişi sakat kalmıştır. 285.211 ev, 42.902 kadar iş yeri hasar görmüştür. Ana depremin ardından bölgede büyüklüğü 4.0 ve 5.0 arasında değişen birçok deprem kaydedilmiştir.

Konumundan dolayı Türkiye ekonomisini oldukça etkilen bu depremin sonucunda birçok soruşturma ve dava açılmıştır. Depremın bu kadar can kaybına ve maddi zarara uğratmasının bir sebeplerinden bazıları kaçak yapılaşma, standartlara uymayan yapılar ve projeye uyulmayan imalatlardır. Şekil 2.7’de Kocaeli depreminin ivme zaman grafiği verilmiştir.



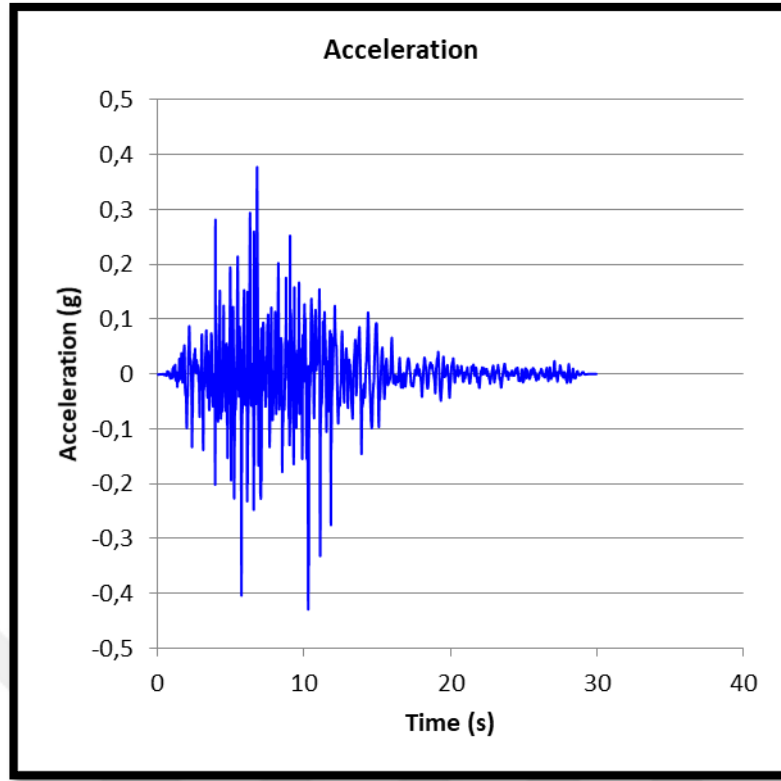
Şekil 2.7. Kocaeli depremi ivme-zaman grafiği

17 Ekim 1989'da Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti San Francisco Körfez Bölgesi'ni yerel saate göre 17:04'te San Andreas Fay Hattında gerçekleşen bir depremdir. Deprem büyüklüğü 6,9 olmuştur. Deprem nedeniyle 63 kişi hayatını kaybetmiş ve 3.757 kişi yaralanmıştır. Deprem sonucunda yaklaşık 12.000 insan evsiz kalmıştır [27]. Şekil 2.8'da bir Loma-Gilroy depreminin ivme zaman grafiği verilmiştir.



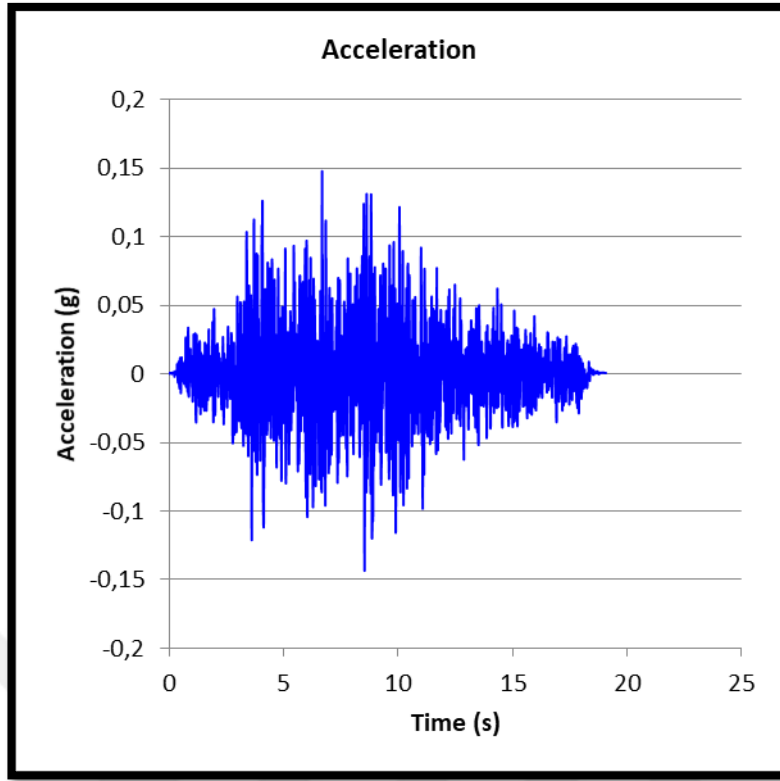
Şekil 2.8. Loma-Gilroy depremi ivme-zaman grafiği

Mammoth Lake Kaliforniya'nın Mono ilçesinde bulunan bir kasabadır. Bölgede 1980 yılında 6.1 büyüklüğünde bir deprem gerçekleşmiştir. Şekil 2.9'da bir Mammoth Lake depreminin ivme zaman grafiği verilmiştir.



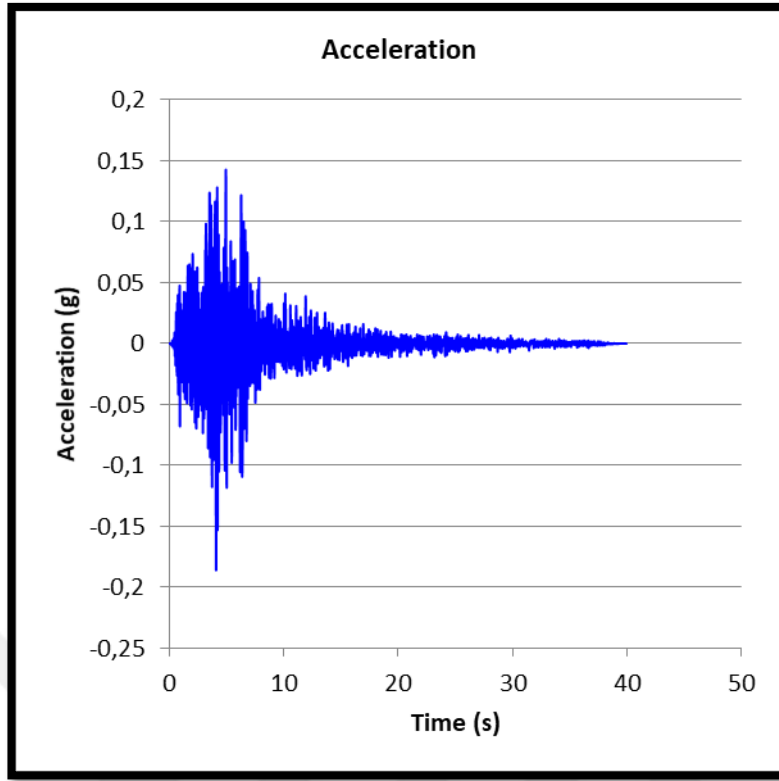
Şekil 2.9. Mammoth Lake depremi ivme-zaman grafiği

Nahanni depremleri 1985'te meydana gelmiş bir grup deprem dizisinin adıdır. Kanada Kanada'nın Kuzeybatı Toprakları'nın Nahanni bölgesinde gerçekleşmişlerdir. Bu depremlerden en büyüğü 6.9 büyüklüğündedir. Şekil 2.10'da bir Nahanni depreminin ivme zaman grafiği verilmiştir.



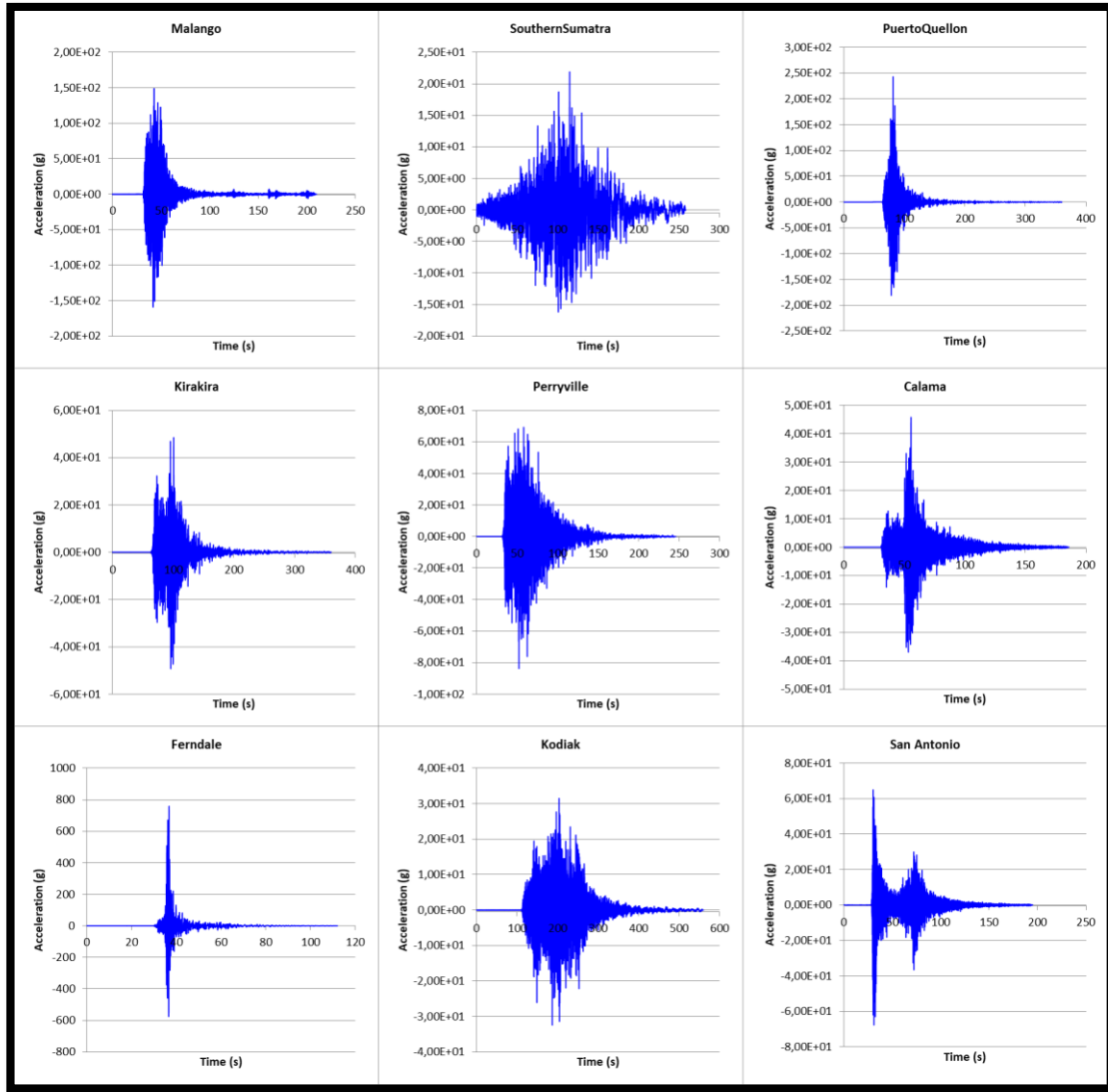
Şekil 2.10. Nahanni depremi ivme-zaman grafiği

1987 Whittier Narrows depremi Güney San Gabriel Vadisi'nde ve Güney Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri'ni çevreleyen topluluklarda meydana gelmiştir. Mercalli yoğunluk değerleri, VI (Güçlü) ile VII (Çok güçlü) arasında değişmektedir. Nispeten sığ bir derinliğe sahipti ve Güney Kaliforniya ve Güney Nevada'da hissedilmiştir. Üç gün sonra ve birkaç kilometre kuzeybatıda 5.2 büyüklüğünde başka bir deprem daha meydana gelmiştir. Başta Los Angeles ve Orange ilçelerinde olmak üzere karayolu kesintileri ile birlikte birçok ev ve işyerini etkilemiştir. Hasar tahminleri, maliyet olarak 213-358 milyon dolar arasında kaydedilmiştir. Bu depremten sonra binalar ve diğer kamu yapıları ivmeölçerlerle donatılmış ve hem ana şok hem de birincil artçı, sismologların diğer Güney Kaliforniya olaylarını analiz etmeleri ve karşılaştırmaları önemli kayıtlar elde edilmiştir [28]. Şekil 2.11'de bir Whittier Narrows depreminin ivme zaman grafiği verilmiştir.



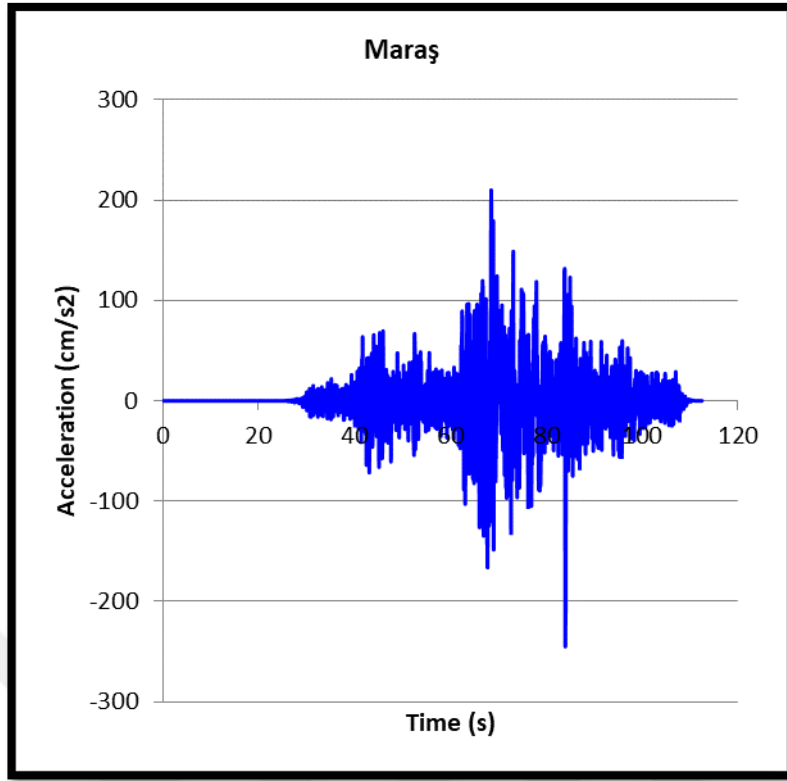
Şekil 2.11. Whittier Narrows depremi ivme-zaman grafiği

Yukarıda bu tez çalışmasında kullanılan 11 adet deprem kaydı verilmiştir. Bu kayıtlarla birlikte; Ferndale Depremi (20 Aralık 2022), Malango Depremi (22 Kasım 2022), San Antonio de los Cobres Depremi (22 Mart 2023), Calama Depremi (27 Temmuz 2022), Perryville Depremi (29 Temmuz 2021), Kodiak Alaska Depremi (23 Ocak 2018), Puerto Quellon Chile Depremi (25 Aralık 2016), Southern Sumatra Endonezya Depremi (12 Eylül 2007) kayıtları da kullanılmıştır. Toplamda 22 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Calama ve Perryville depremlerinde farklı ölçüm istasyonlarına ait iki farklı kayıt kullanılmıştır. Bu deprem kayıtları Şekil 2.12.'de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 2.11. Diğer deprem kayıtlarının ivme zaman grafikleri

Tezdeki analizlerde kullanılan en güncel deprem kaydı ise Kahramanmaraş depremine ait kayıttır. 6 Şubat 2023'te Pazarcık ve Elbistan olan, büyüklüklerindeki iki deprem gerçekleşmiştir ($7,8 M_w$ ve $7,5 M_w$). Bu depremler sonucunda Türkiye'de resmî rakamlara göre en az 50 bin 783, Suriye'de ise en az 8 bin 476 kişi hayatını kaybetti ve toplam 122 binden fazla kişi ise yaralandı. Depremlerin ardından büyüklüğü $6,7 M_w$ 'e kadar varan 40 binden fazla artçı sarsıntı gerçekleşmiştir. Aşağıda AFAD verilerine göre Hatay Dört Yol'daki 3134 numaralı istasyona ait ivme zaman grafiği Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. Maraş depremi ivme zaman grafiği

Görüldüğü gibi seçilen ivme kayıtları insanlık tarihini oldukça etkileyen, maddi ve manevi zararlara uğratan depremlerdir. Bu depremlerin sonucunda sayısı artan kayıt istasyonları ve izlenen faylar üzerinden yapılan araştırmalar sonucunda deprem mühendisliği alanında birçok ilerleme kaydedilmiştir. Bu ilerlemelerle birlikte günümüzde meydana gelen depremlerin tahminleri ve tasarımları yapılan bu yapıların bulundukları sismik bölgelerdeki tasarımlarında ekonomikliği ve dayanıklılığı ön plana çıkmıştır.

Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisi ve bilgi birikimi sayesinde gelişen yönetmelikler, yöntemler ve analizler sonucunda, geçmiş deprem verdiği zararların şu anki istatistiklere göre gerçekleşen zararların oldukça azaldığı görülmektedir. Bu duruma örnek olarak, 16 Mart 2022'de gerçekleşen Fukuşima depremi, 7.4 büyüklüğünde gerçekleşmiştir [29]. Bu depremin sonucunda yapılarda oldukça küçük hasarlar meydana gelmiştir. Bu deprem 1995 yılında gerçekleşen Kobe depremi ile kıyaslandığında gelişen teknolojinin depremin zararlarını azalttığı görülmektedir.

3. BETONARME YAPILARI GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

İnşaat mühendisliği ve deprem mühendisliğinde kaydedilen ilerlemelerden dolayı deprem haritaları, yönetmelikler, yapılarda kullanılan malzemeler sürekli değişmektedir. Bu değişimler mevcut bazı yapıların günümüz standartlarını karşılamadığını göstermektedir. Bunun bir sonucu olarak da yapıların taşıyıcı elemanlarında istenmeyen hasarlar meydana gelmektedir. Yapıda oluşan bu ağır hasarlar yapının yeterli güvenliğe sahip olmadığını bir göstergesidir.

Günümüz standartlarında yapıların kuvvetli bir deprem karşında hasar görmeleri tasarımsal olarak normal karşılanabilir. Fakat bir yapının göçmesi tasarımsal olarak istenmeyen bir durumdur. Bu sebeple yönetmelikler bölgenin koşullarına göre minimum tasarım esasları şart koşar. Bu şartları sağlamayan yapılarda veya şiddetli depremlerde yapılarda hasarlar meydana gelebilir. Oluşan bu durumlarda ekonomiklik ve zaman ön planda olduğu için hasarın durumuna göre güçlendirme ve onarım teknikleri sunulur. Bu yöntemlerin kullanılmasındaki asıl amaç bir sonraki depremde aynı hasarın tekrarlanmasını önlemek veya tasarımsal eksikliğin önüne geçerek bu durumların yaşanmasını engellemektir.

Onarım, hasar gören yapıların taşıyıcı elemanlarının eski durumuna getirilerek aynı taşıma kapasitesini sağlamalarıdır. Güçlendirme bir hasar görmüş bir yapının veya taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasar bulunmayan bir yapının, taşıma gücünü, rijitliğini, sünekliliğini ve/veya stabilitesini mevcut değerlerinden daha üst bir seviyeye çıkarma (kapasitesini arttırma) işlemidir. Güçlendirme uygulanan elemanlar; duvarlar, kirişler, döşemeler, kolonlar, birleşim bölgeleri, perdeler ve temeller olabilir.

Yapılarda oluşan hasar düzeylerine göre bir sınıflandırma bulunur. Az hasarlı yapılar; taşıyıcı sistemi hasar görmemiş ancak yapının duvarlarında, boyasında ve kaplamalarında hasarlar oluşmuşsa bu yapılar az hasarlı olarak nitelendirilir. Orta hasarlı yapılar, deprem nedeniyle taşıyıcı sisteminde belirli hasarlar oluşan yapılardır. Bu yapılar güçlendirme yapılmadan kullanılamazlar. Taşıyıcı duvarlarda köşegen veya diğer çatlak tipleri, kolon, kiriş ve perdelerde oluşan büyük çatlaklar bu duruma örnektir. Ağır hasarlı yapılar ise

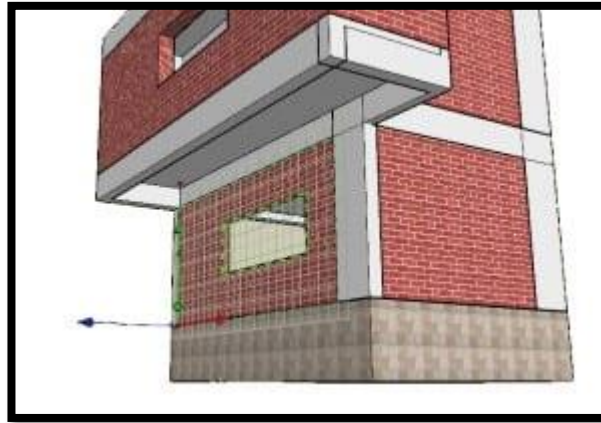
bilirkişiler tarafından yapılan araştırmalar sonucunda durumuna göre güçlendirmeye veya yıkıma giden yapılardır. Duvar ezilmeleri, kolonlarda kirişlerde ve perde duvarlarda çatlaklar yapıda oluşan ağır hasar örnekleri olarak verilebilir.

Bu bölümde betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerinde uygulanan güçlendirme yöntemleri ve yapılarda oluşan hasarların sebepleri incelenecektir.

3.2. Yapılarda Oluşan Hasarların Sebepleri

Günümüzde güçlendirme gerektiren yapıların büyük bir çoğunluğu benzer sebeplerden dolayı hasar almıştır. Bu sebepler şu şekilde sıralanabilir; uygulama hataları, malzeme kalitesi, donatı hataları, zemin sıvılaşması, yumuşak kat oluşması, kısa kolon etkisi, çekiçleme etkisi, hatalı projelendirme ve yönetmelik yetersizliği.

Uygulama hatalarına örnek olarak yapılardaki çıkmalar gösterilebilir. Eğer yapıdaki bir kolon bir alt kattaki kolon ile düşeyde aynı hizada değilse düşeyde düzensizlik oluşur. Sıklıkla yapının iç mekanını büyütme amacıyla 1.5 ile 2 metre arası çıkıntılar yapılır. Bu uygulama depremde yapının davranışı önemli derecede etkiler. Şekil 3.1’de bu çıkmalara örnek verilmiştir.



Şekil 3.1. Yapılarda uygulanan çıkmalar

Başka bir uygulama hatası ise yapıdaki kirişlerin ve kolonların yönünün aynı doğrultuda olmasıdır. Bu uygulamanın sonucunda deprem yükleri bir yönde yeterli bir şekilde karşılanabilirken aksi yönde oldukça zayıf bir davranış sergilenmesine yol açar.

Kaçınılması gereken bir başka durum ise güçlü kiriş zayıf kolon etkisidir. Bu etkinin engellenebilmesi için kolonların kapasitesinin kirişlere göre daha yüksek tasarlanması istenmektedir. Bu duruma uyulmadığında deprem etkisi altında mafsalların kirişlerden önce kolonlarda ortaya çıkması sonucu göçme durumu oluşmaktadır. Şekil 3.2’de Güçlü kiriş zayıf kolon davranışının farklı depremlerdeki etkisi verilmiştir.



Şekil 3.2. Güçlü kiriş zayıf kolon hasarları a- Simav depremi, b- Kobe depremi, c- Van depremi [30]

Yapılarda oluşan hasarların önemli sebeplerinden birisi de imalat sırasında oluşan işçilik hatalarıdır. Bu hatalar projede hesaplanan tasarım kapasitelerinin normalden daha düşük çıkması veya betonun dayanıklılığının azalması ile sonuçlanabilir. Örnek olarak pas payının yetersiz verilmesi, donatıların gelişigüzel yerleşmesi, etriye aralığının uygun ayarlanmaması ve betonun üretiminde gerçekleşen segregasyon ve kalitesiz kalıpcılık bu duruma yol açar.

Çekişleme (Çarpışma) etkisi bitişik nizam yapılarda dilatasyon yapılmaması veya yetersiz kalması sebebiyle oluşan bir etkidir. Deprem veya rüzgâr yüklerinin karşısında yapıların birbirlerini sıkıştırması sonucu veya itmesi oluşan ağır hasarlar bu duruma örnektir. Bu etkiden kaçınmak için tasarım sırasında yapıların arasına deplasmanına uygun yeterli boşlukları bırakmak sorunu ortadan kaldıracaktır.

Malzeme kalitesi yapının dayanımını ve dayanıklılığını etkilen önemli bir etkidir. Yapının bulunduğu çevre koşullarına uygun olarak betonun yalıtımı yapılmalı ve uygun çimento sınıfı kullanılmalıdır. Bunların yanında gerekli kimyasal katkıları kullanılmalı ve betonun dayanıklılığı sağlanmalıdır. Betondaki çevre etkilerinin göz önüne alınmadığı yapılarda

dayanıklılığın hızlı kaybolması sonucu yapı taşıyıcı sistemindeki dayanımı kaybeder veya ek yüklere maruz kalır. Donatılarda ise uzun süre depolanmış olan malzemelerin uygunluğu test edilmelidir. Eğer gerekli ise uygun kimyasallar ile donatının pası temizlenmelidir.

Bu tarz hasarları oluşmadan engellemek için performans analizi yapılabilir. Performans analizi sonucunda, yapının depreme dayanıklılığının yeterli olup olmadığı veya hangi yönlerden güçlendirilmesi gerektiği belirlenir. Betonarme yapılarda güçlendirme yöntemleri, yapının durumuna ve güçlendirme amacına göre değişkenlik gösterir. Genel olarak, betonarme yapılarda uygulanan güçlendirme yöntemleri şunlardır:

- Mantolama veya gömlek geçirme: Bu yöntemde, yapı elemanlarının dış yüzeyine çelik, betonarme veya kompozit malzemelerden bir manto geçirilir.
- Kanat ekleme: Bu yöntemde, yapı elemanının dayanımını arttırmak için, elemana yeni bir kanat eklenir.

Bu güçlendirme yöntemlerinin hangilerinin uygulanacağı, yapının durumuna ve güçlendirme amacına göre belirlenir. Örneğin, depreme dayanıklılığı arttırmak için, yapının taşıyıcı elemanları mantolama, kanat ekleme veya çelik mantolama yöntemleri ile güçlendirilebilir. Yapının dayanımını ve rijitliğini arttırmak için, betonarme mantolama veya epoksi enjeksiyonu yöntemleri kullanılabilir.

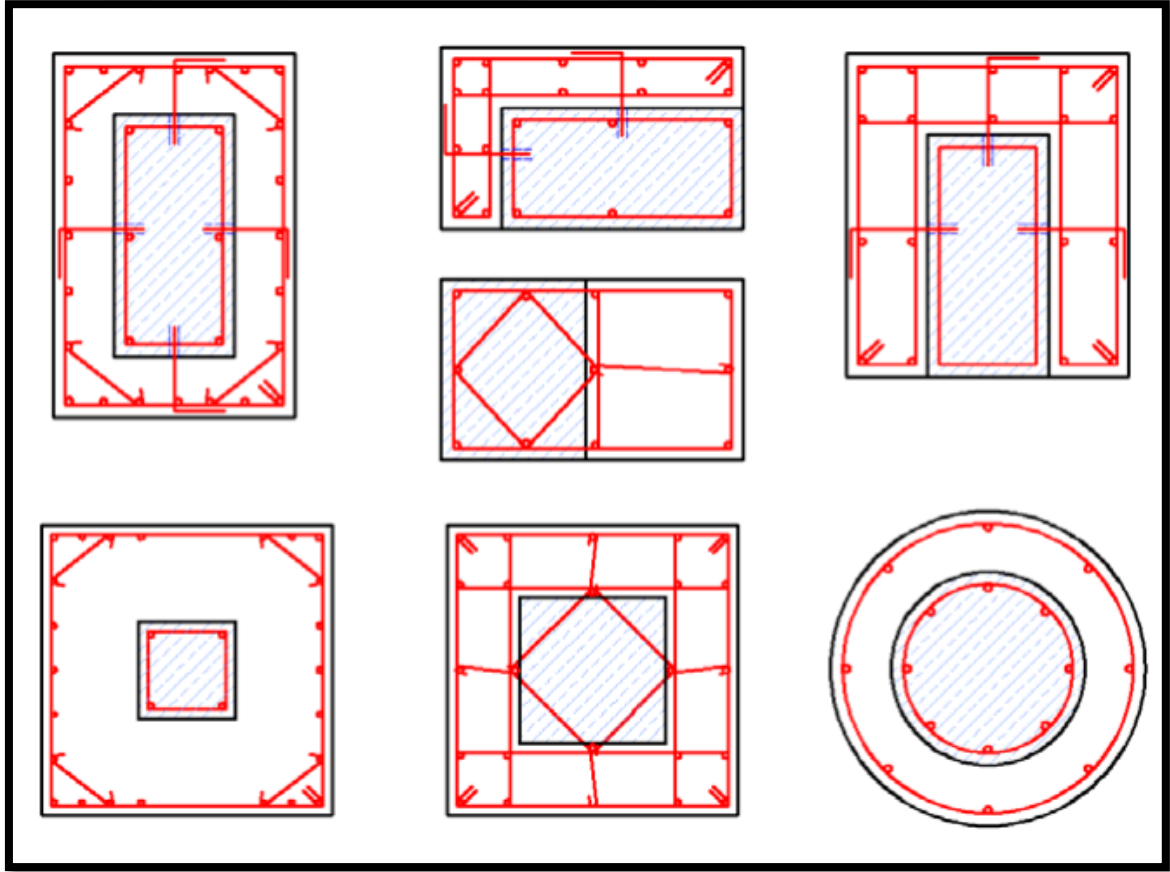
3.3. Betonarme Yapılarda Kullanılan Güçlendirme Türleri

Hasarlı betonarme yapıların taşıyıcı elemanlarını güçlendirmede birçok yöntem bulunur. Bu yöntemlerden kolon, kiriş ve perde elemanlarının güçlendirilmesi bu bölümde incelenecektir.

Kolonların ve kirişlerin güçlendirilmesinde genel olarak üç çeşit yöntem bulunur. Bunlar mantolama, çelik kafes içerisine alınarak güçlendirme ve fiber takviye polimerler kullanılarak yapılan sargılamalar (FRP, lifli polimer sargı) olarak sıralanır. Bu yöntemlerin en temel amacı taşıyıcı elemanın taşıma gücünü arttırmaktır.

3.3.1. Mantolama

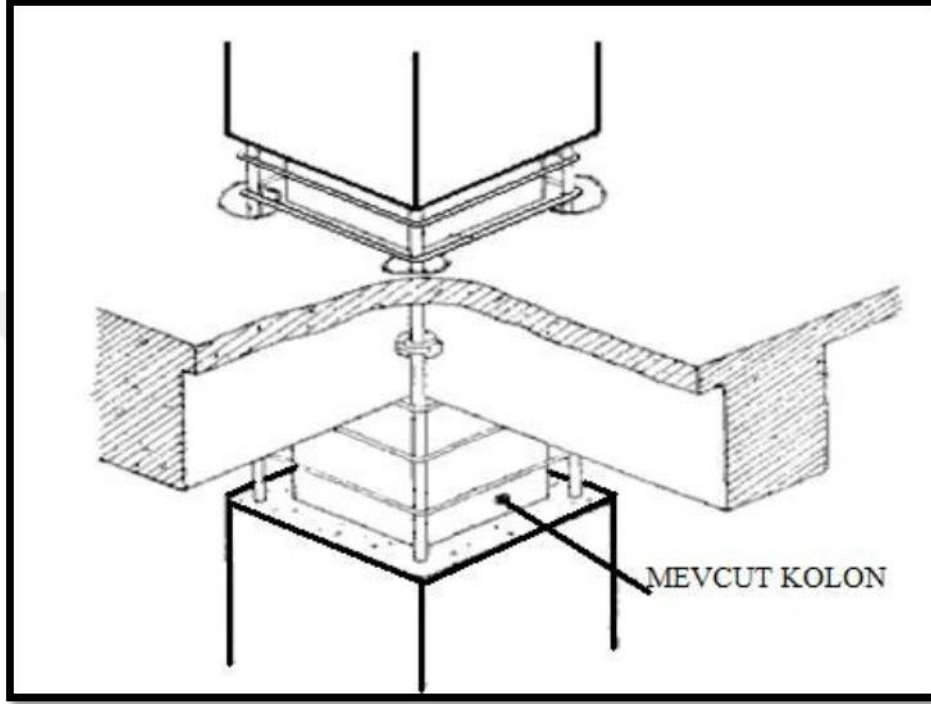
Betonarme sargı veya mantolama, kat döşemesiyle üst kat döşemesinin altı arasındaki yapı elemanının en kesitinin ve boyuna donatısının arttırılması yoluyla yapılan güçlendirmeye denir. Mantolama işlemi kolonun konumuna göre bir, iki, üç veya dört kenara yapılabilir. Eğer mantolama kolonun iki yüzüne uygulanırsa bu yöntem kanat geçirme adını alır. Kanat geçirme kolonun iki yanına kanat şeklinde kesitler eklenmesi ile yapılır. Bu yöntem ile kolonun rijitliği de arttırılmış olunur. Şekil 3.5’de mantolama yöntemi uygulanan bir kolon örneği verilmiştir. Mantolama yönteminin uygulanması birçok farklı şekilde olabilir. Şekil 3.7’de çeşitli kesitlerde yapılan mantolama uygulamasına ait örnekler verilmiştir.



Şekil 3.5. Mantolama yapılan kolonlara ait örnekler [31]

Mantolamanın amacı kolonun düşey yük taşıma kapasitesinin arttırılmasıdır. Ayrıca bu metot ile kolonun eğilme kapasitesi de arttırılabilir. Yetersiz taşıma gücü arttırılırken kolona eklenen donatılar sonucunda kolondaki donatı yüzdesi sabit kalır veya artabilir. Kolonun mantolanmasındaki süreçte eklenen betonun mevcut kolon ile kaynaşması ve donatıların yük

aktarımı sağlanacak şekilde birbirine bağlanması güçlendirme yapılırken dikkat edilmesi gereken unsurlardandır. Bu durumda eklenen ve mevcut olan boyuna donatıların sürekliliği ile katlar arasındaki moment aktarımı sağlanır. Şekil 3.7’de kesiti büyütülen bir kolon görülmektedir, bu işlem sırasında yüzeye verilen pürüzlülük kaynaşmayı arttırmak içindir.

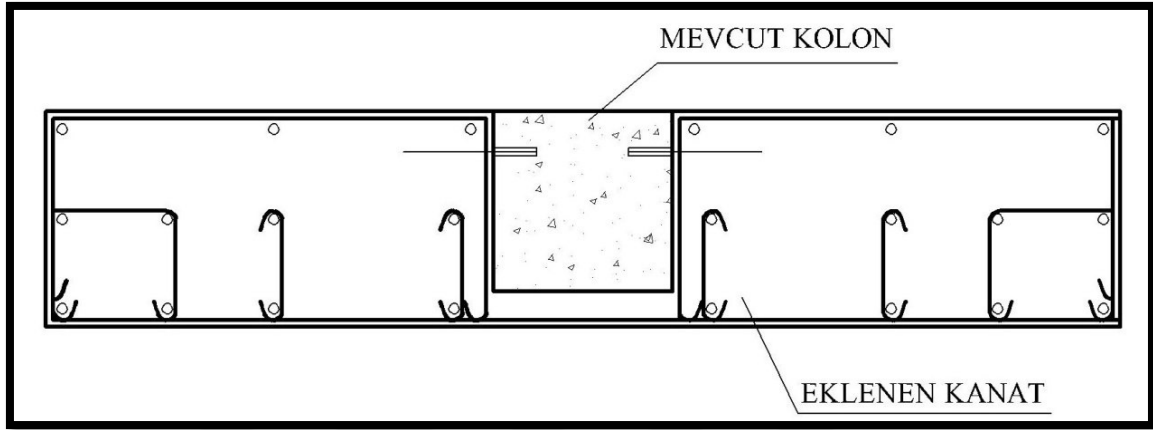


Şekil 3.6. Mantolama yapılmış bir kolon [31]



Şekil 3.7. Mantolama örneği

Mantolamanın bir başka örneği ise kolonlara kanat eklenmesidir. Şekil 3.8’de de görüldüğü gibi mevcut kolonun iki yanına perde duvar eklenmesi ile yapılır. Bu işlemin sonucunda eski kolonun yeni perde betonu ile tek parça olarak çalışması sağlanır. Bu sayede taşıyıcı elamanın kesme ve moment taşıma gücü arttırılmış olunur.

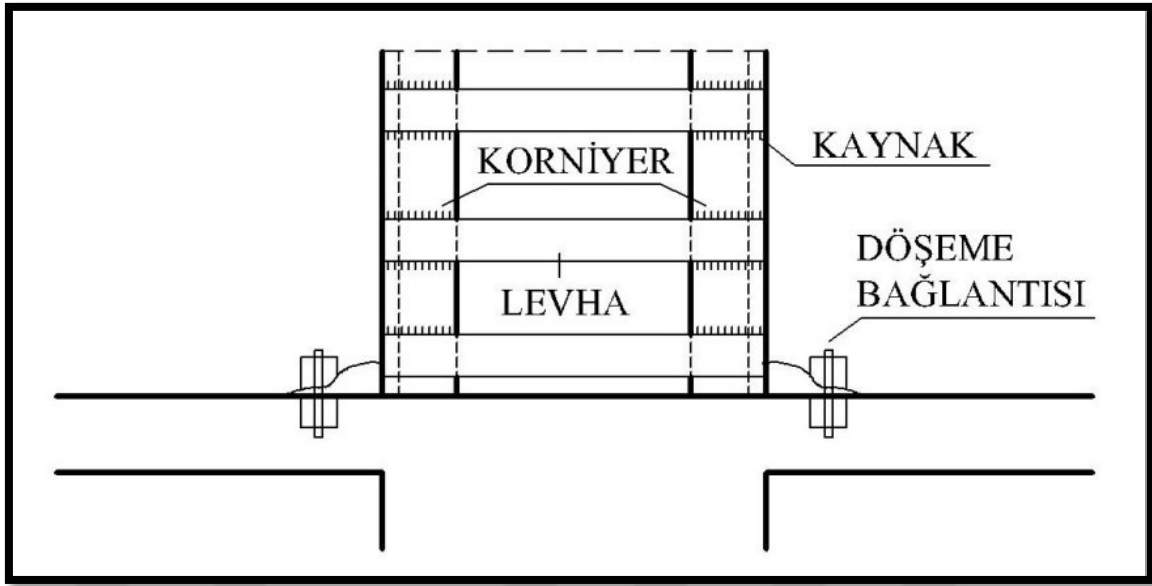


Şekil 3.8. Kolona Kanat eklenmesi (TBDY, 2018)

Mantolama yöntemi kolay uygulanabilirliği ve ekonomikliğinden dolayı diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Fakat bu yöntemle birlikte yapıya fazladan bir ağırlık eklenmiş olunur. Artan yapı ağırlığının uygunluğunun, yapıdaki mevcut taşıyıcı elemanlara göre değerlendirmesi gerekir. Bu yöntemin dezavantajlarından biri de artan kolon kesiti sonucunda kullanılabilen mevcut alanca azalma oluşur. Yapının estetiğini bozar. Ayrıca yöntemin gerektirdiği işlemlerden dolayı yapımı oldukça yavaştır.

3.3.2. Çelik Sargı

Çelik sargı dikdörtgen betonarme kolonların köşelerine dört adet boyuna köşebent yerleştirilmesi ve köşebentlerin belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanması ile oluşturulur. Kolonun süneklilik artışına katkıda bulunabilmesi için yapılan kafesin betonun yüzeyini sağlam bir şekilde sarması gerekir. Ayrıca yatay plakaların dört yüzeyde de sürekli olması gerekmektedir. Şekil 3.9’da kolonlara uygulanan çelik sargı uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Çelik sargı yapılan kolon örneği (BAYÜLKE, 1995)

Bu yöntem ile kolonun moment ve eksenel yük taşıma kapasitesinde önemli bir artış olmamaktadır. Ancak çabuk yapılabilen ve hasarlı kolonun artçı depremlerde daha çok hasar görmesini önleyen ve kolonun parçalanıp dağılmasını engelleyen bir onarım (askıya alma) yöntemi olarak uygulanabilir. [32]

3.3.3. Perde Duvar

Yapılara perde duvar eklenmesinin en temel amacı yapının yatay yüklere (deprem, rüzgâr) karşı dayanımı arttırmak ve yanal rijitliği arttırmaktır. Yapıya eklenen perde duvarların yapı yüksekliği boyunca sürekliliği bağ kirişleri yardımıyla sağlanabilir. Bu sayede bağ kirişlerinde meydana gelen elastik ötesi şekil değiştirmelerle deprem enerjisi sönmölenir.

Perde duvarların yapıdaki konumları seçilirken yapının kütle ve rijitlik merkezine dikkat edilmelidir ve olabildiğince yakın olması sağlanmalıdır. Bu duruma dikkat edilmezse eklenen perde yapıda burulma etkisi yaratabilir. Kolonun iki yanına kanat eklenmesi, çerçeve açıklığına perde duvar konulması, perde duvarın güçlendirilmesi, kolonların kesme ve moment taşıma gücünü arttırmaya yönelik mantolama bu güçlendirme yöntemlerindendir.

Yatay yüklere karşı en etkili güçlendirme yöntemi çerçeve boşluklarının rijit ve yeterli dayanımı sağlayan elemanlar ile doldurulmasıdır. Çerçeve açıklığını doldurmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; donatısız yığma duvar ile doldurma, donatılı yığma duvar ile doldurma, yerinde dökme betonarme perde duvar ile doldurma, yerinde dökme betonarme perde duvar ile doldurma, perde duvarın kalınlaştırılması, hazır dökülmüş panolarla dolgu, çelik diyagonal elemanlar ile güçlendirmedir.

Donatısız yığma duvar ile yapılan güçlendirme çerçeve açıklığına taşıyıcı tuğla ile duvar örülerek yapılır. Yapılan duvar, düşük bir taşıma gücü sağlar ve kirişlerin yükünün askıya alınmasını sağlayabilir. Donatılı yığma duvar uygulamasında ise taşıyıcı elemanların her iki tarafına da yatayda ve düşeyde olmak üzere donatılar montajlanır. Bu şekilde moment ve kesme kuvveti taşıma gücü arttırılmış olur. Yatay donatılar kolonlarda açılan deliklerden, düşey donatılar ise kirişlerde açılan ve döşemeyi delen deliklerden geçerek diğer donatılar ile kenetlenmeli ve süreklilik sağlanmalıdır. Donatılı yığma duvardaki donatıların yapı yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanırsa sistemin perde duvar gibi çalışması sağlanabilir. Bu uygulamanın detayları TBDY 2018’de verilmiştir.

Yerinde dökme betonarme perde duvar betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemden alınan taşıma gücü ve yapıya kazandırdığı rijitlik, donatılı ve donatısız yığma duvara göre çok daha fazladır. Genellikle iki kolon arasındaki açıklığa yerleştirilirler. İmalatları sırasında donatıların yatay ve düşey donatıların yapı yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanmalıdır. Yatay donatılar kolonlara, düşey donatılar kirişlere montajlanmalıdır. Çerçeve boşluğundaki perde duvarın mevcut kolon ve kiriş ile çalışmasını sağlamak için betonda kesme takozu kullanılır.

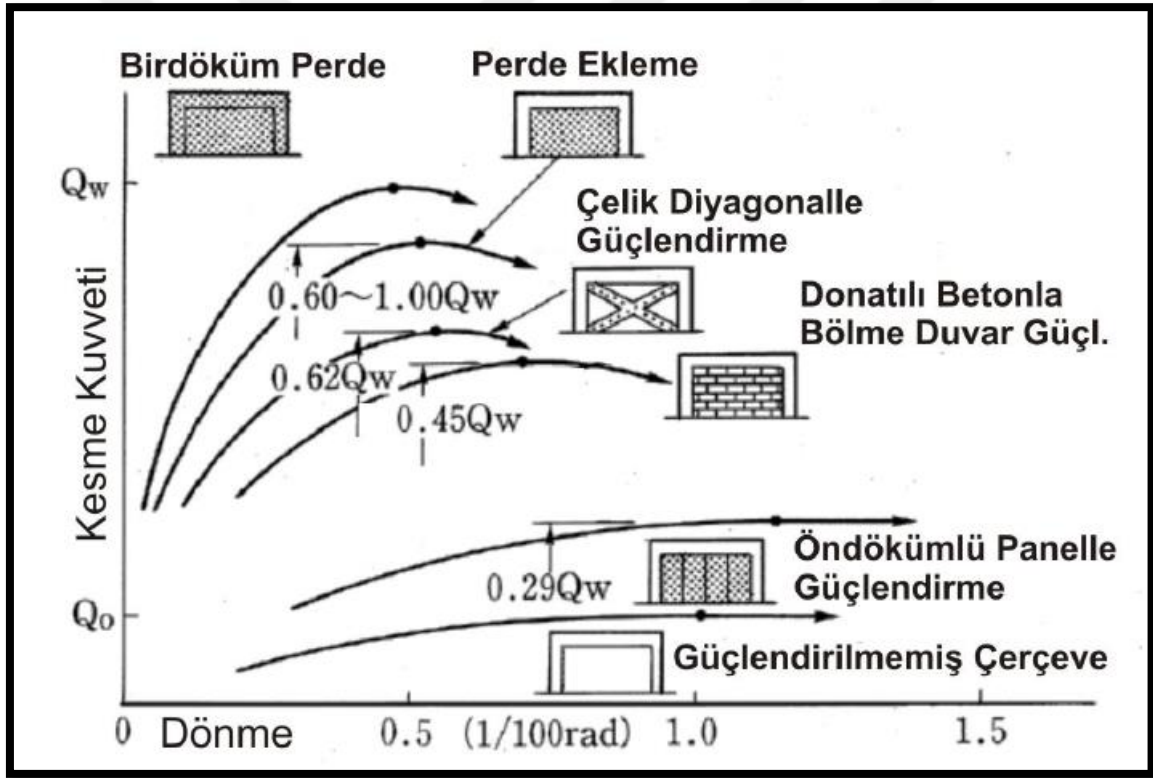
Yapıdaki çerçeve boşluklarına yerleştirilen perde duvarlar yapının rijitliğini arttırırlar. Deprem yükleri karşında perdeye aktarılan kuvvetler perdenin temelinde devrilme etkisi yaratacaktır. Bu sebeple eklenen perdelerin yükleri karşılayabilmesi için uygun taşıma gücünü sağlayan temellerinin bulunması gerekir.

Perdelerin genellikle eksenel yükleri azdır. Sonradan eklenen perdelerin ise kendi ağırlıklarından başka eksenel yükleri yoktur. Yalnızca moment etkisi altında olan bir temelin, üstelik depremde gelen yatay yüklerin tümünü alan bir perdenin temelinin, boyutları son derece büyük olacaktır. Bu sorunla 1992 Erzincan depreminde hasar gören konut

yapılarının perde duvarlar eklenerek takviyesi sırasında karşılaşılmış ve perdelerin temelleri yapının diğer kolonlarının temelleri ile bütünleştirilerek çözülmüştür. [32]

Yapıya eklenen perde duvarların oluşturduğu fazladan eksenel yük kolonlara düzgün bir şekilde aktarılabilirse perde temelinde oluşacak olan dönme azaltılır ve zeminde büyük gerilmeler oluşması engellenir.

Şekil 3.10'da çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon gücü üzerindeki etkisi verilmiştir. Bu tezde araştırma konusu olan okul yapısında betonarme perde ve yeni kolon eklenmesi ile güçlendirme yapılmıştır.



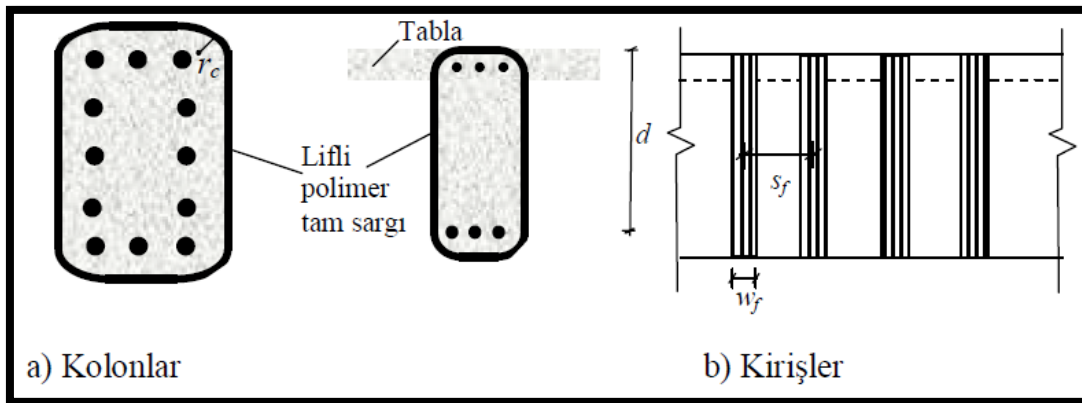
Şekil 3.10 Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon üzerindeki etkisi (Sugano, 1981)

3.3.4. Lifli Polimer Sargı (FRP)

Kiriş, kolon ve duvarlar gibi güçlendirme veya onarım gerektiren hasarlı betonarme elemanlarının basınç ve eğilme taşıma güçlerinin arttırılmasında kullanılan yöntemlerden biri lifli polimer sargıdır. Bu malzeme karbon, cam ya da aramid lifleriyle oluşturulan bir güçlendirme sargısıdır. Bu liflerin en önemli özelliği aksenal yönde çekme dayanımlarının çok yüksek olması ve kopma gerilmesine kadar doğrusal elastik davranmasıdır.

Bu yöntem kirişlerde uygulanarak kirişin sünekliği ve kesme dayanımı arttırılabilir. Sargı yüzeyin tamamını kaplayacak şekilde veya süreksiz olacak bir şekilde uygulanabilir. Eğer şekil 3.11'deki gibi süreksiz bir şekilde uygulanacaksa şeritler arası aralıklar, kesitin faydalı yüksekliğinin dörtte biri ($d/4$) ile lifli polimer şeritin genişliğinin (w_f) toplamını geçmemelidir [33].

Lifli polimerler kolonların çevresine yerleştirilirken liflerin enine donatılara paralel olacak şekilde sarılması sağlanır (Şekil 3.11). Bu sargılama ile betonarme kolonların süneklik kapasitesi, kesme dayanımları ve basınç dayanımları arttırılır. Kullanılan lifli polimer kolonunu yüzeyine sağlam bir şekilde tutunursa kolon ve polimer arasındaki yük aktarımı sağlanır ve sonuç olarak taşıyıcı elemanda oluşan basınç ve gerilmeler lifli polimere de aktarılmış olur. Böylelikle yapının sünekliği arttığından dolayı deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir kısmı şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeler ile sönmölenir. Dikdörtgen kesitli kolonlara tüm yüzeyi kaplayacak şekilde tam sargı yapılması gerekir. Yapılan sargının sonuna 20 cm'lik bindirme yapılmalıdır [33].



Şekil 3.11. Kiriş ve kolonlarda yapılan FRP sargı

4. ANALİZİ YAPILACAK OLAN YAPININ MODELLENMESİ

4.1. Giriş

Analiz için seçilen yapı SAP2000 analiz programı kullanılarak bilgisayar ortamında modellenmiştir. Yapıya etkiyen yüklerin hesaplanmasında TS498'den yararlanılmıştır. Modelleme yapılırken TBDY 2018'de belirtilen tasarım ve modelleme esaslarına uyulmuştur. Bu bölümde modellenen yapının özellikleri (kolon ve kiriş kesitleri, döşemeler, malzeme türü, etkiyen yükler, tasarım spektrumu) tanımlanacaktır.

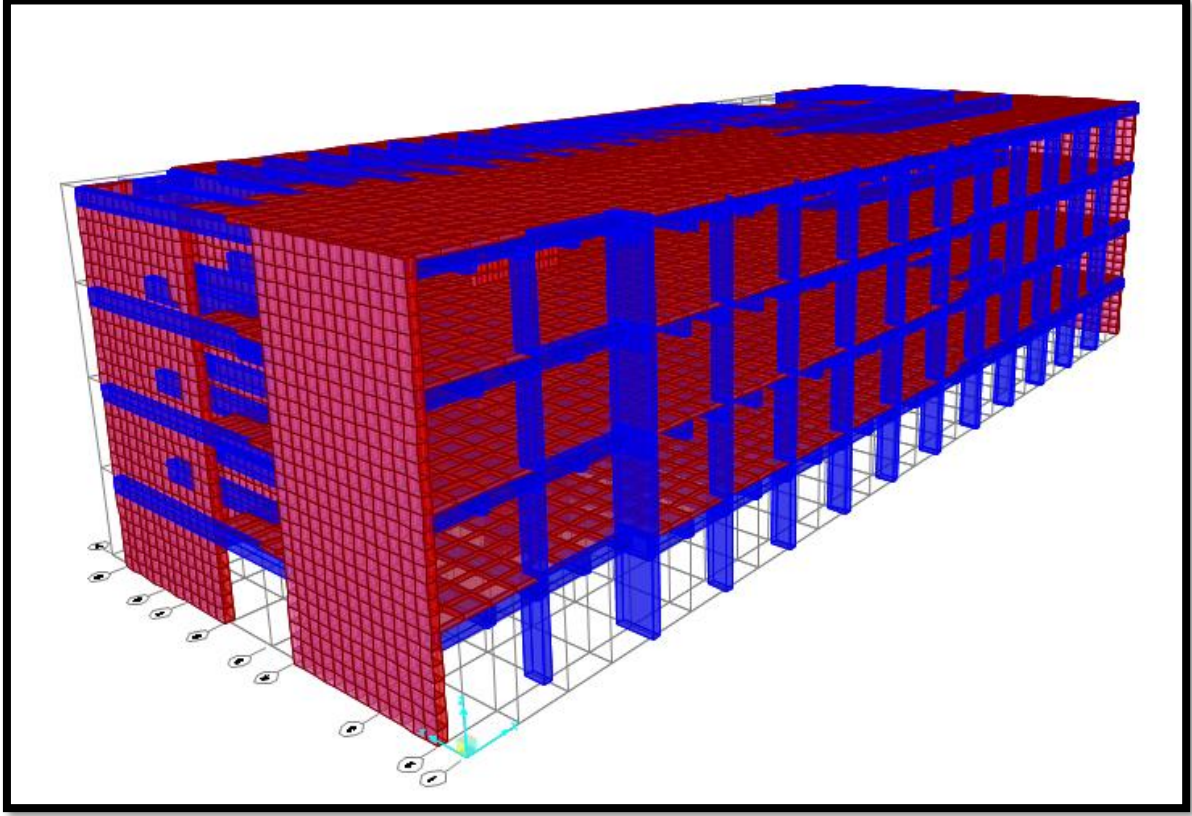
4.2. Modellenen Yapının Özellikleri

Analizde kullanılan yapı 4 katlı asimetrik bir betonarme bir yapıdır. Yapıda kullanılan dikdörtgen kolon kesitleri aşağıda verilmiştir. Yapıda kullanılan iç kirişler 30 cm genişliğinde ve 60 cm yüksekliğindedir, dış kirişler ise 30 cm genişliğinde ve 50 cm yüksekliğindedir. Yapıdaki döşemeler 15 cm kalınlığındadır. Kolonlar kesitlerine göre aşağıdaki tabloda verilmiştir. Yapıya ait kalıp planı Ek-2'de verilmiştir.

S1	30/80 cm
S2	30/70 cm
S3	30/150 cm
S4	80/40 cm
S5	70/30 cm
S6	30/150 cm
S7	120/30 cm
S8	30/120 cm
S9	30/60 cm
S10	80/30 cm

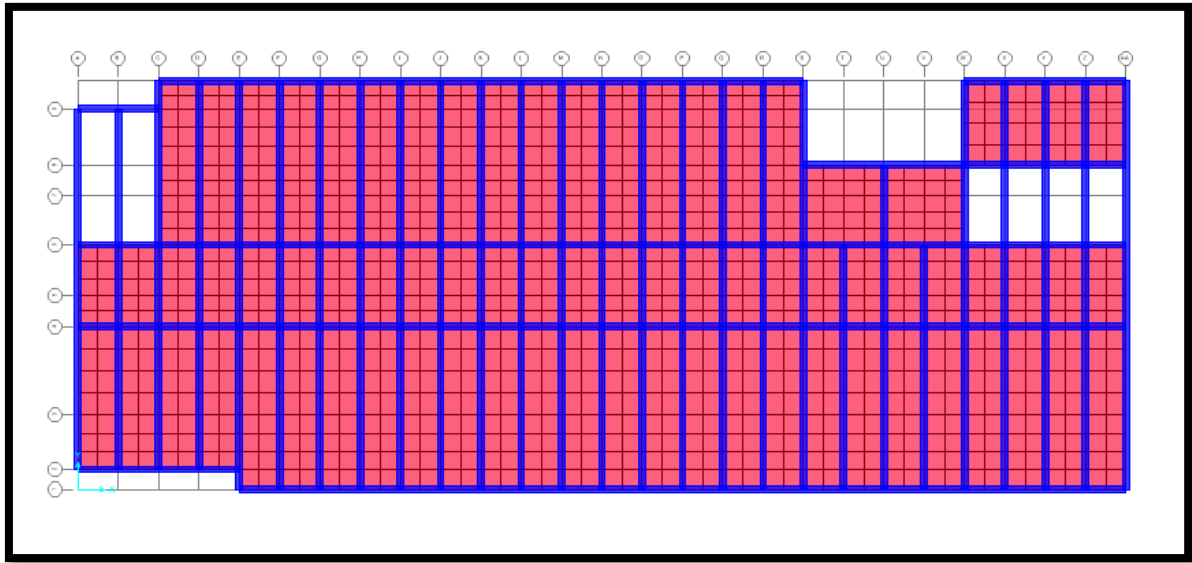
Tablo 4.1. Kolon Kesitleri

Yapının taşıyıcı elemanlarında kullanılan beton malzemesi C16 betondur. Şekil 4.1’de yapının üç boyutlu modeli verilmiştir.



Şekil 4.1. Yapının üç boyutlu modeli

Şekil 4.2’de yapının X-Y kesiti verilmiştir. X eksenindeki aksların arasındaki mesafe 47,45 metredir. Y eksenindeki aksların arasındaki mesafe 18,45 metredir. Yapının yüksekliği ise 13 metredir. Yapıdaki döşemeler 0,5 metrelik sonlu elemanlara bölünmüştür. Şekil 4.3’te modellenen yapının taşıyıcı elemanlarının kesitleri verilmiştir. Bu kesitler yönetmelikte belirtilen etkin kesit rijitliği çarpanları ile düzenlenmiştir. Şekil 4.4’te dairesel kolona ait kesitin özellikleri, Şekil 4.5’te de dikdörtgen kolonlardan birine ait kesitin özellikleri verilmiştir. Şekil 4.6’da tanımlanan döşemenin özellikleri görülebilir.



Şekil 4.2. Yapının X-Y kesiti

Section Name KIRIS (30/50) **Display Color**

Section Notes

Dimensions

Depth (t3) **Section**

Width (t2)

Material

C16/20

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.3. Kiriş kesiti ve özellikleri (30/50)

Section Name: KIRIS (30/70) Display Color: ■

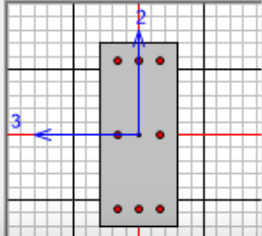
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3) : 70,

Width (t2) : 30,

Section



Material

+ C16/20

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.4. Kiriş kesiti ve özellikleri (70/30)

Section Name: S1 Display Color: ■

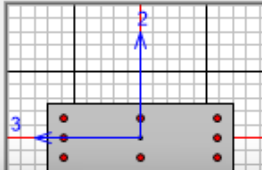
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3) : 30,

Width (t2) : 80,

Section



Material

+ C16/20

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.5. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/80)

Section Name: S2 Display Color: ■

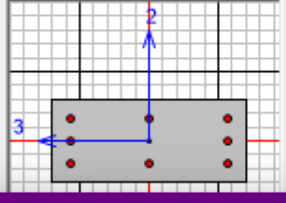
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3) : 30,

Width (t2) : 70,

Material: C16/20

Section: 

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.6. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/70)

Section Name: S3 Display Color: ■

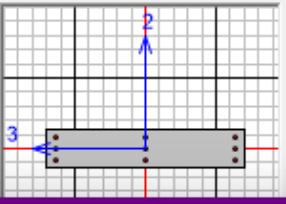
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3) : 30,

Width (t2) : 150,

Material: C16/20

Section: 

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.7. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/150)

Section Name: S4 Display Color: ■

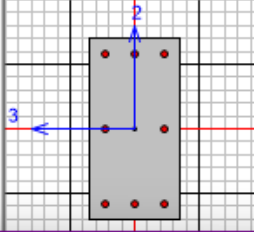
Section Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Dimensions

Depth (t3) : 80,

Width (t2) : 40,

Section



Material

+ C16/20

Concrete Reinforcement

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.8. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (80/40)

Section Name: S5 Display Color: ■

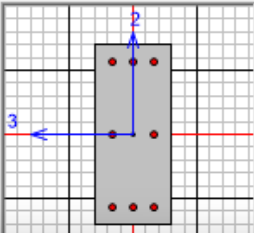
Section Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Dimensions

Depth (t3) : 70,

Width (t2) : 30,

Section



Material

+ C16/20

Concrete Reinforcement

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.9. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (70/30)

Section Name S6 **Display Color** ■

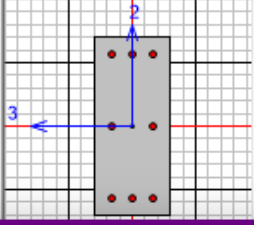
Section Notes

Dimensions

Depth (t3) 70,

Width (t2) 30,

Section



Material

+ C16/20 ■

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.10. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (70/30)

Section Name S7 **Display Color** ■

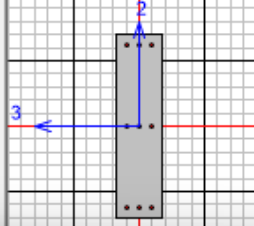
Section Notes

Dimensions

Depth (t3) 120,

Width (t2) 30,

Section



Material

+ C16/20 ■

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.11. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (120/30)

Section Name: S8 Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Depth (t3) : 30,

Width (t2) : 120,

Material

+ C16/20

Section

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.12. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/120)

Section Name: S9 Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Depth (t3) : 30,

Width (t2) : 60,

Material

+ C16/20

Section

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.13. Dikdörtgen kesit ve özellikleri (30/60)

Section Name PERDE **Display Color** ■

Section Notes

Type

☐ Shell - Thin

☒ Shell - Thick

☐ Plate - Thin

☐ Plate Thick

☐ Membrane

☐ Shell - Layered/Nonlinear

Concrete Shell Section Design Parameters

Thickness

Membrane 30,

Bending 30,

Material

Material Name + C16/20

Material Angle 0,

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Membrane f11 Modifier	0,5
Membrane f22 Modifier	0,5
Membrane f12 Modifier	0,5
Bending m11 Modifier	0,25
Bending m22 Modifier	0,25

Şekil 4.14. Perde kesiti ve özellikleri (30)

Section Name S10 **Display Color** ■

Section Notes

Dimensions

Depth (t3) 80,

Width (t2) 30,

Section

Material

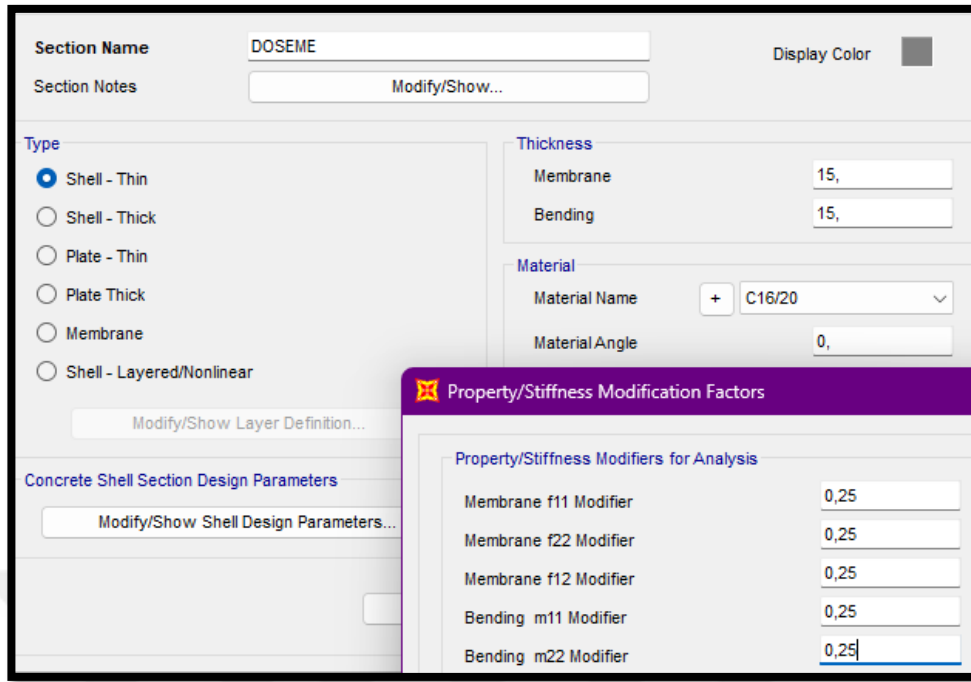
+ C16/20

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness 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

Şekil 4.15. Dikdörtgen Kolonun kesiti ve özellikleri



Şekil 4.16. Döşeme kesitinin özellikleri

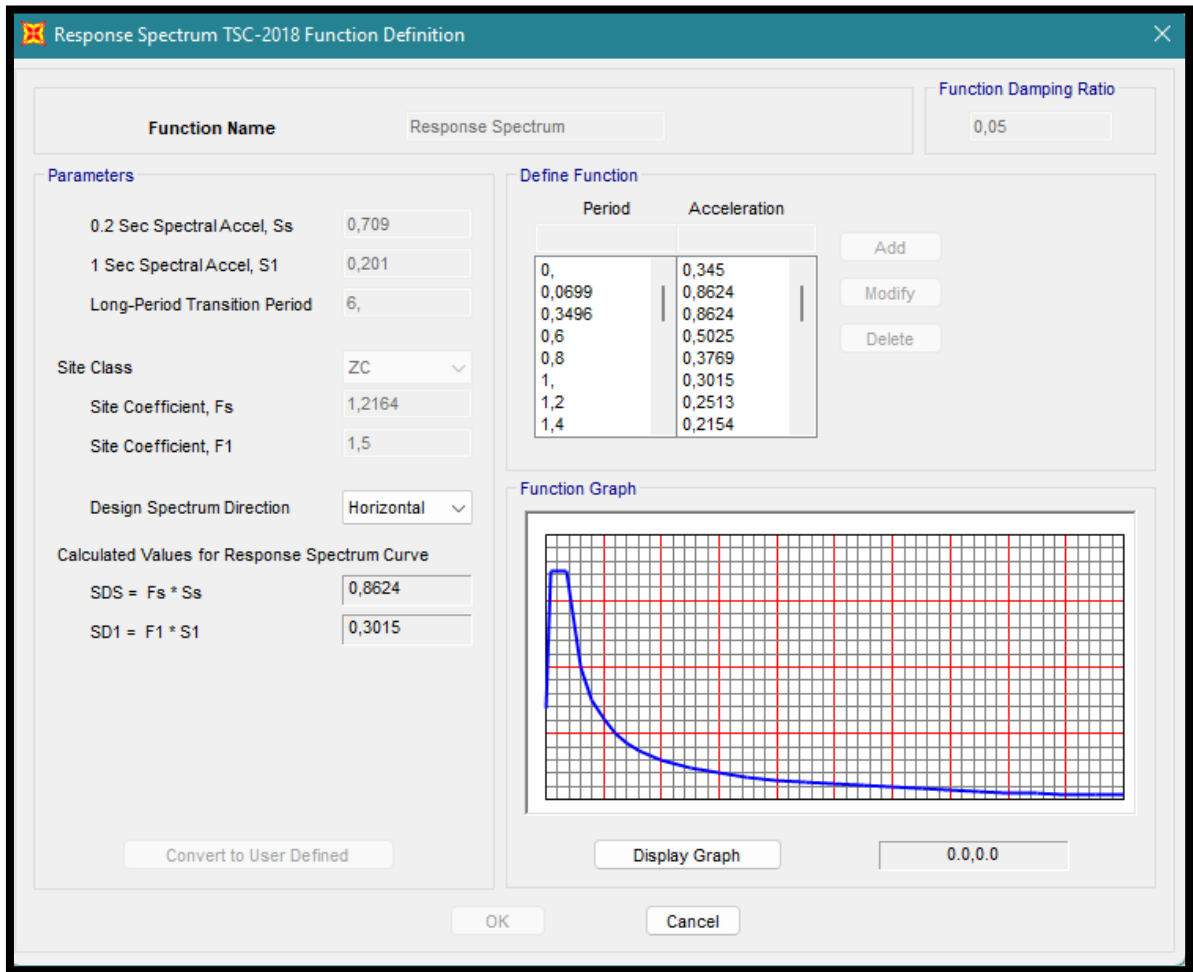
İncelenen yapının güçlendirilmiş bir varyasyonu bulunmaktadır. Bu güçlendirmede yapıya perde duvar eklenmiş ve depremin etkisi kontrol edilmiştir. Etkin kesit rijitlikleri ve sonlu elemanlar tanımlandıktan sonra katlara rijit diyafram davranışı tanımlanarak tasarım tamamlanmıştır.

4.3. İvme Spektrumu ve Deprem Kayıtları

Yapının bulunduğu yerin ivme spektrumu projeden alınan veriler ile elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak ivme spektrumu çizilmiştir. Deprem yer hareketi düzeyi olarak 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD-1) tanımlanmıştır. Zemin yapısı ZC olan Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar grubundadır. Elde edilen çıktıların özeti Şekil 4.17’de verilmiştir. Şekil 4.18’de TBDY’ye göre SAP2000’de tanımlanan deprem ivme spektrumu verilmiştir.

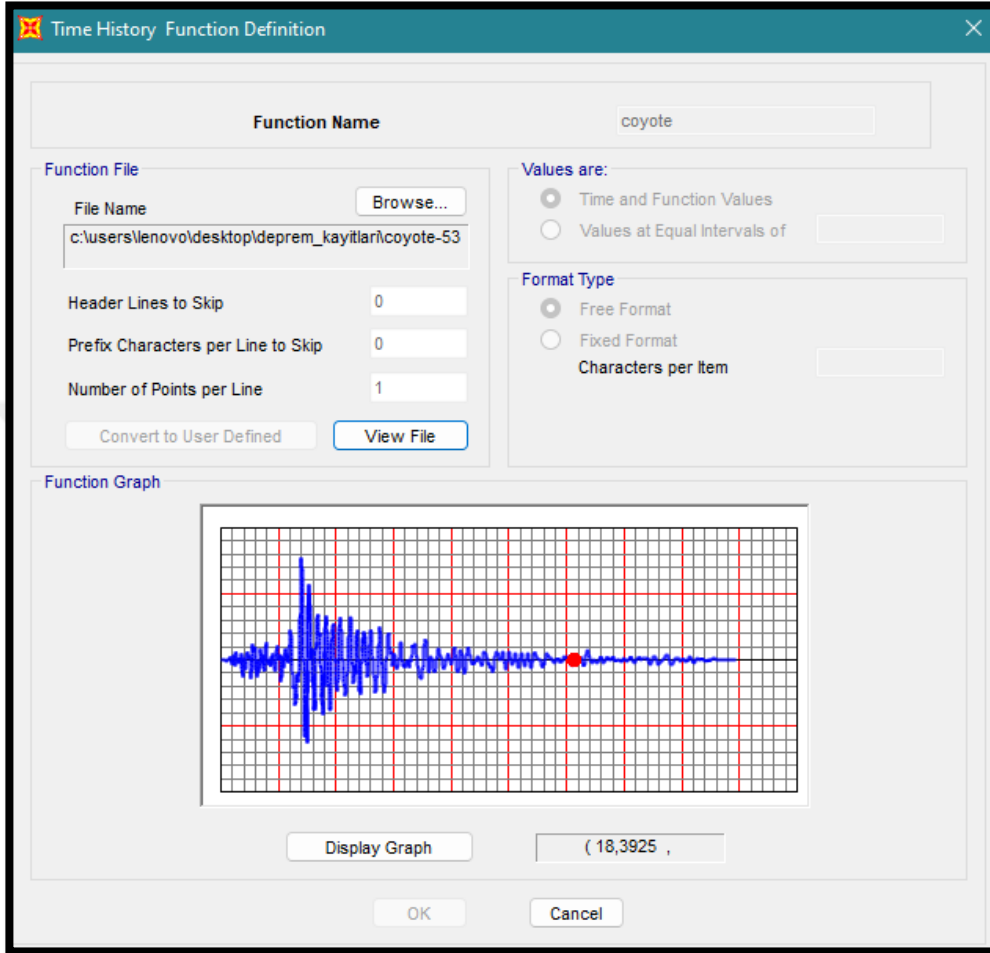
Deprem Parametreleri	
Bina Kullanım Sınıfı	1
Bina Önem Katsayısı	1
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	4
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	2,5
Yerel Zemin Sınıfı	ZC

Şekil 4.17. Analizde kullanılan parametreler



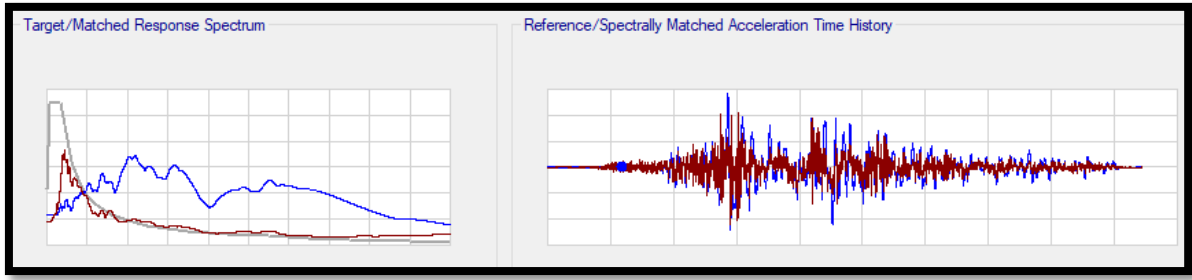
Şekil 4.18. Deprem İvme Spektrumu

İvme spektrumu oluşturulduktan sonra 22 deprem kaydı da programa kaydedilmiştir. Şekil 4.19'da ChiChi depremine ait kaydın eklenmesi gösterilmiştir.

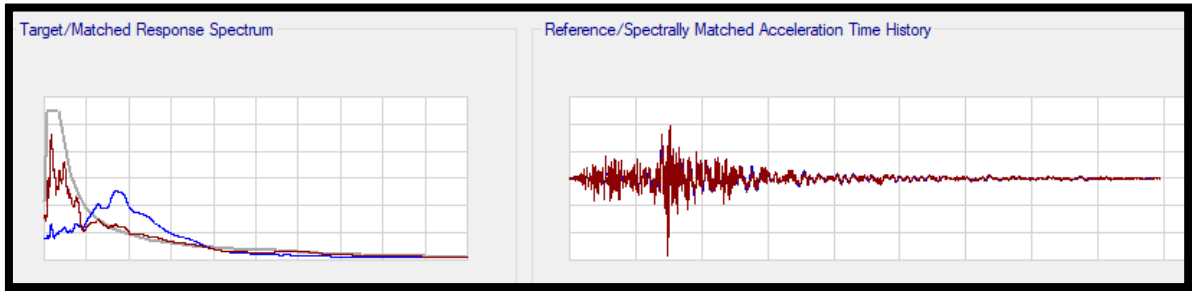


Şekil 4.19. ChiChi depreminin analiz programına tanımlanması

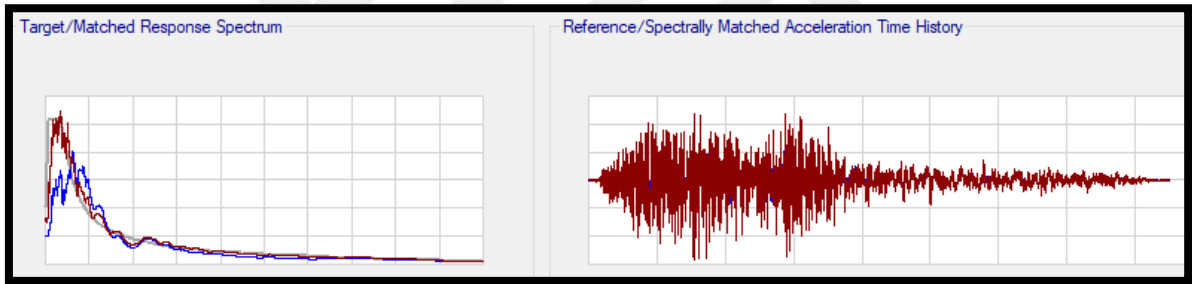
TBDY Bölüm 2.5 'e göre Zaman Tanım Alanında herhangi bir üç boyutlu deprem hesabı yapılıyor ise deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi veya spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu sebeple, elde edilen ivme spektrumu kullanılarak deprem kayıtları ölçeklendirilmiştir. Bu ölçeklendirme işlemi sonrası elde edilen deprem ivme kayıtları aşağıdaki gibidir. Kahramanmaraş depremine ait ivme kaydı yapının yakınındaki bir istasyondan alındığı için ölçeklendirilmemiştir.



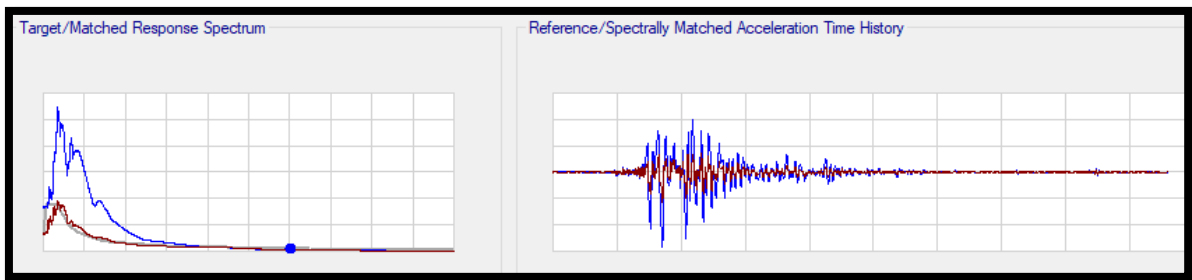
Şekil 4.20. ChiChi ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



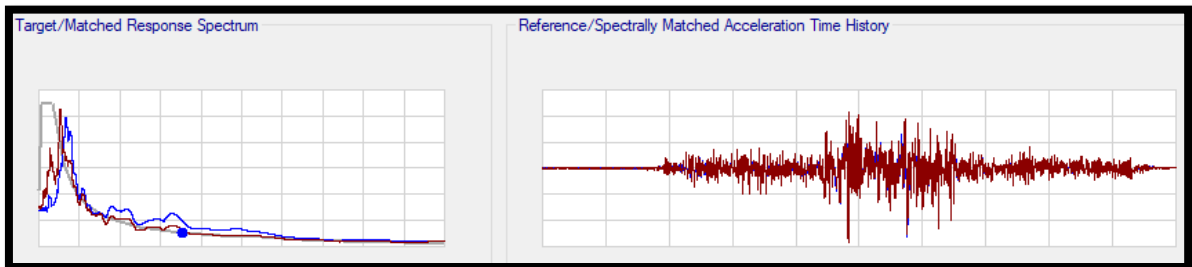
Şekil 4.21. Coyote ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



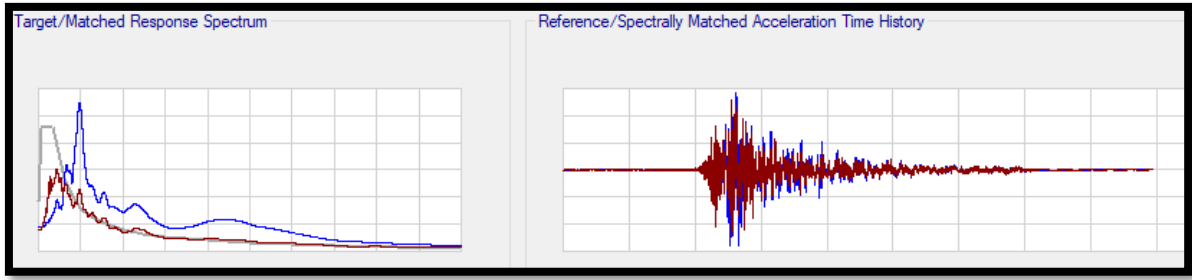
Şekil 4.22. Imperial Valley ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



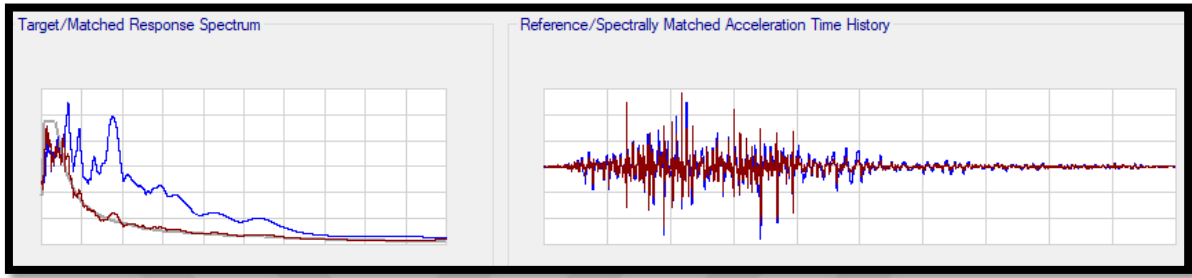
Şekil 4.23. Kobe ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



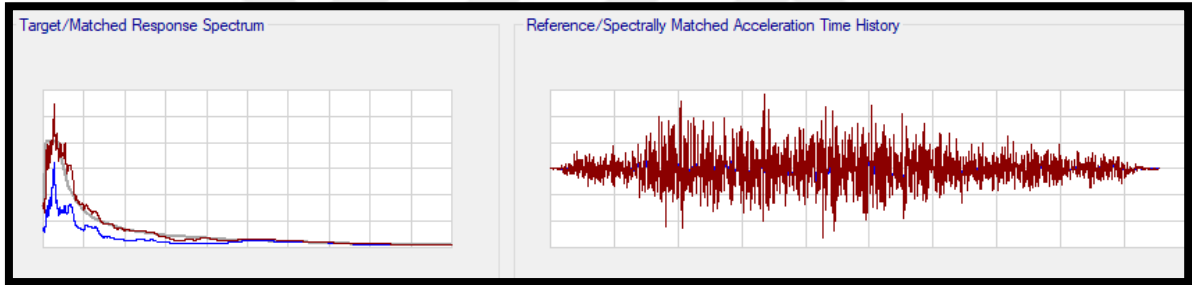
Şekil 4.24. Kocaeli ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



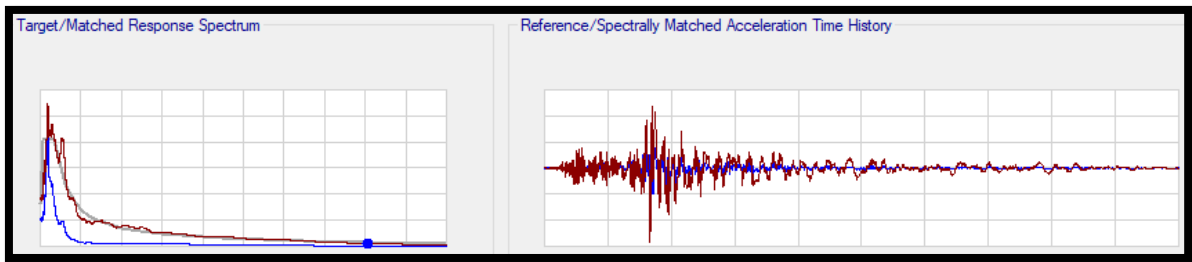
Şekil 4.25. LomaGilroy ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



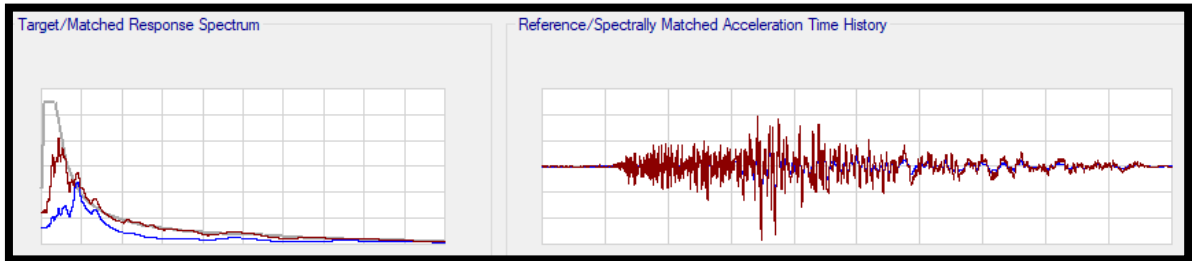
Şekil 4.26. Mammoth Lake ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



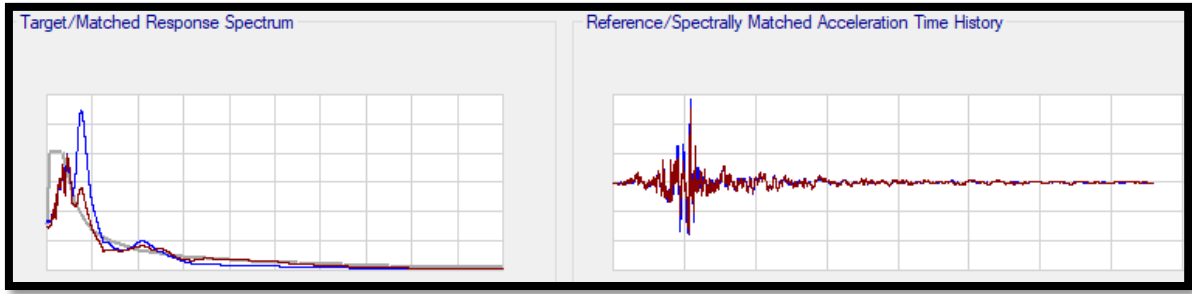
Şekil 4.27. Nahanni ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



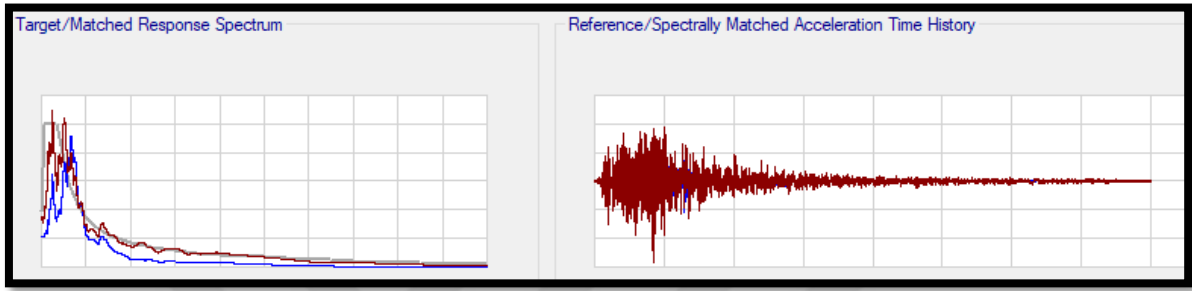
Şekil 4.28. Northridge ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



Şekil 4.29. Northridge2 ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı



Şekil 4.30. Parkfield ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı

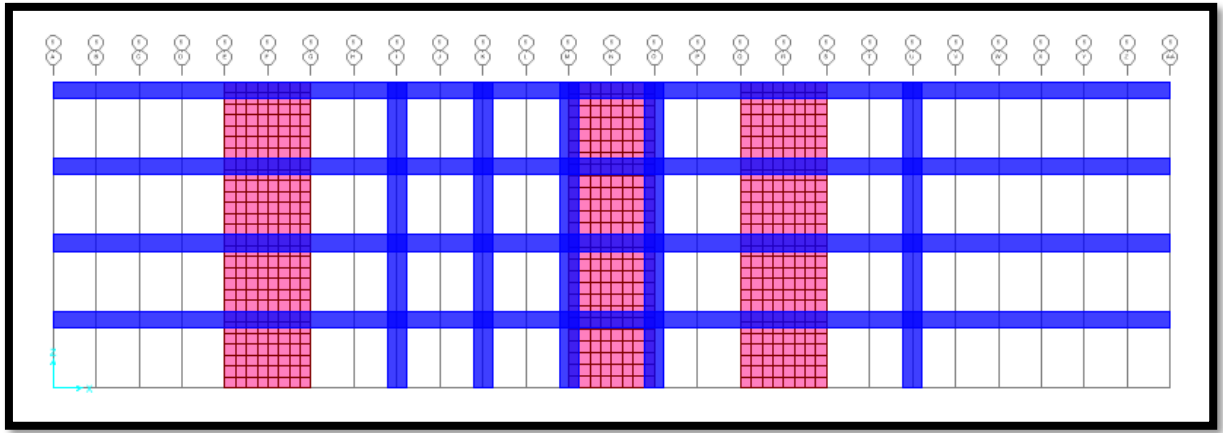


Şekil 4.31. Whittier Narrows ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydı

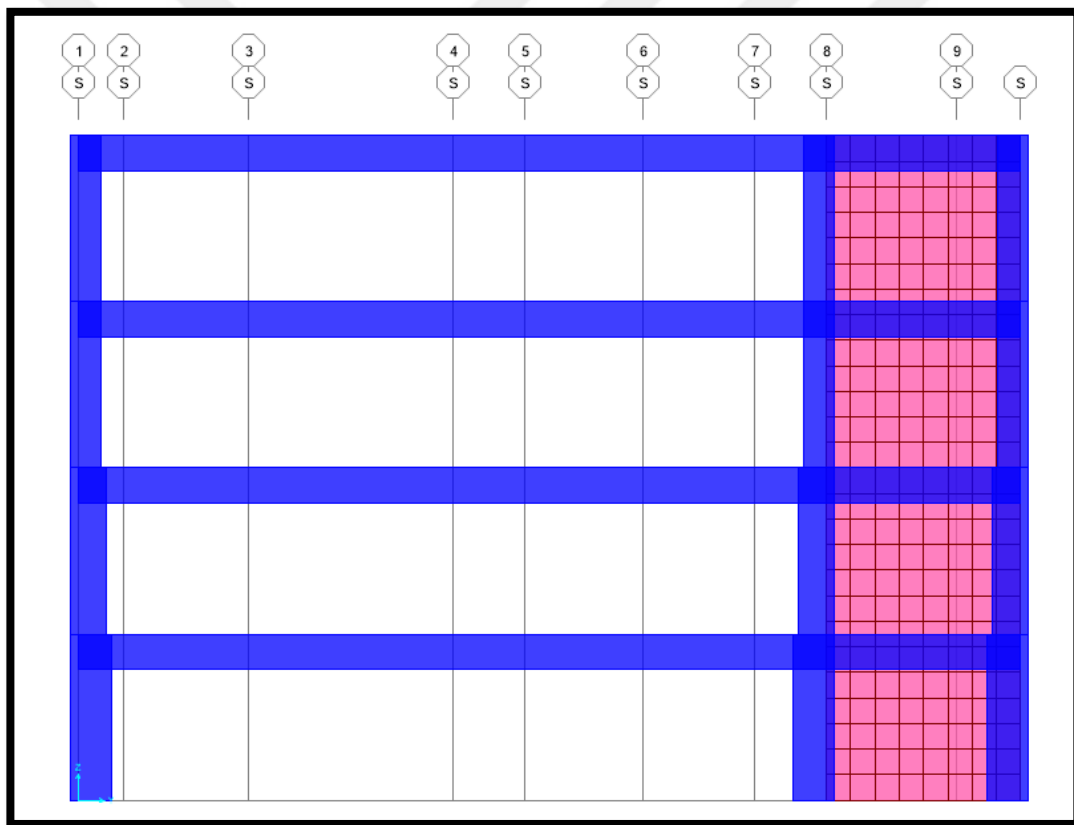
4.4. Perde ile Güçlendirilen Yapının Özellikleri

İncelenen yapıya bir güçlendirme uygulanmıştır. Bu güçlendirme türü yapıya perde duvar eklenmesidir. Bu güçlendirme yöntemi yapıdaki kolonlara etkiyen yükleri azaltır. Ayrıca yapının yanal taşıma kapasitesi ve rijitliği önemli ölçüde arttırılmış olur. Perdeler yapıya Y-Z ve X-Z kesitine ikişer adet olarak eklenmiştir ve sonlu elemanlara bölünmüştür. Eklenen perdelerin kalınlığı 0.3 metredir. Betonarme perdelerde kullanılan beton sınıfı C30'dur. Aşağıdaki şekillerde betonarme perde duvar eklenen yapının kesitleri ve eklenen perdenin özellikleri verilmiştir (Şekil 4.32, Şekil 4.33).

Yapıya ait kalıp planı Ek-2 Şekil 7.5'te verilmiştir. Yapıya eklenen yeni perde duvarlar koyu gri renk ile belirtilmiştir.



Şekil 4.32. Yapının Y-Z kesitinden görünüşü



Şekil 4.33. Yapının X-Z kesitine eklenen perde duvar

Section Name PERDE **Display Color** [Grey Box]

Section Notes [Modify/Show...]

Type

- ☐ Shell - Thin
- ☒ Shell - Thick
- ☐ Plate - Thin
- ☐ Plate Thick
- ☐ Membrane
- ☐ Shell - Layered/Nonlinear

[Modify/Show Layer Definition...]

Concrete Shell Section Design Parameters

[Modify/Show Shell Design Parameters]

Thickness

Membrane 30,

Bending 30,

Material

Material Name + C16/20

Material Angle 0,

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

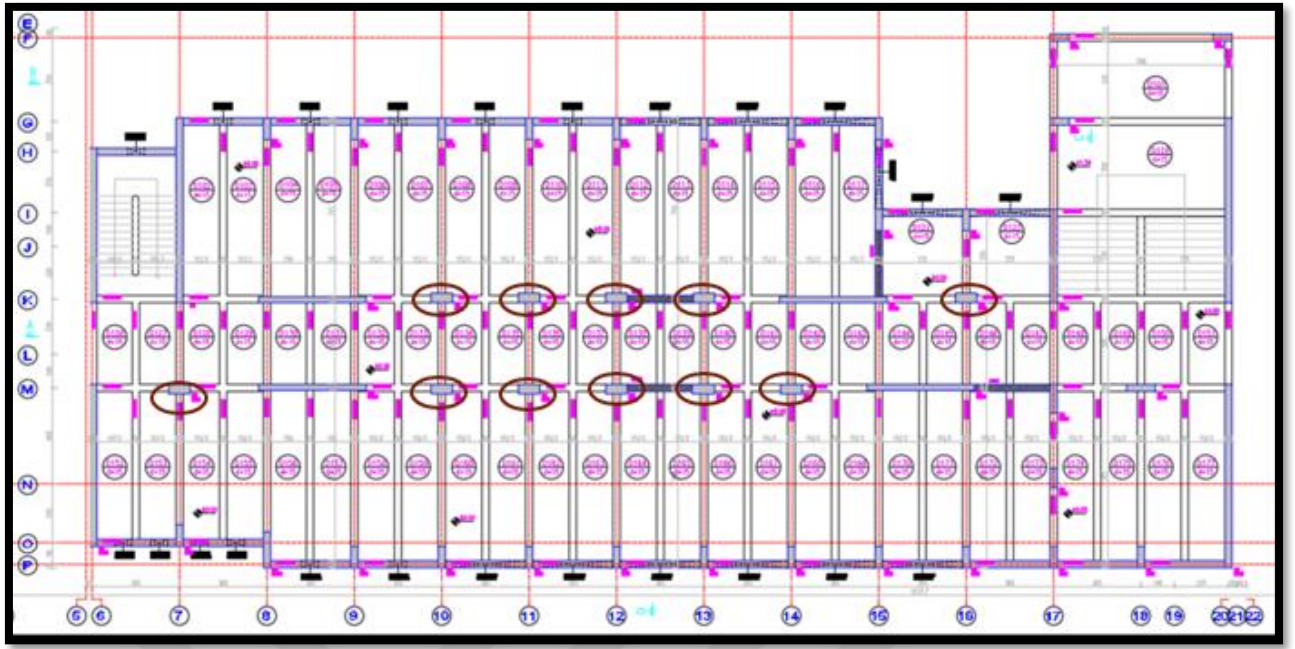
Membrane f11 Modifier	0,5
Membrane f22 Modifier	0,5
Membrane f12 Modifier	0,5
Bending m11 Modifier	0,25
Bending m22 Modifier	0,25

Şekil 4.34. Perde kesiti tanımlanması

4.5. Kolon Kesitlerinin Arttırılması ile Güçlendirilen Yapının Özellikleri

Betonarme perde ile güçlendirilmiş modele ek olarak güçlendirilmemiş yapıda 80×40 olan kolon kesitlerinin 120×50 (kesit alanı yüzde %87,5 artıyor) ve 150×80 (kesit alanı yüzde %275 artıyor) olarak büyütülmesi sonucu üçüncü bir model elde edilmiştir.

Bu güçlendirme yöntemi uygulanırken K ve M akslarında bulunan kolon kesitleri seçilmiştir. Bu kolonlarda beton sınıfı C30 olarak belirlenmiştir. Güçlendirilen kolonlar Şekil 4.35’te verilmiştir.



Şekil 4.35. Kesitleri büyütülen kolonlar

5. ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde modellenen yapıların zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu aşamada analizi yapılacak olan dört katlı yapının modeli hazırlanmış, perde eklenmesi ile yapılan güçlendirme türü dikkate alınarak kesitler tanımlanmış, yönetmeliklere uygun bir şekilde yapıdaki yükler atanmıştır. Ayrıca seçilen 22 adet deprem kaydının yapının bulunduğu zemine göre ölçeklendirilmesi yapılmış ve model analize hazır hale getirilmiştir.

5.1. Yapı Modeline Göre Analiz Sonuçları

Analiz sonuçları model türlerine göre 3 farklı grupta incelenmiştir. Bunlar, güçlendirme öncesi yapı modeli, betonarme perde duvarlar eklenen yapı modeli ve kolon kesitlerinin artırılması ile güçlendirilen yapı modelidir. Belirlenen deprem kayıtları yapı modellerinin iki eksenine de uygulanarak sonuçlar incelenmiştir.

Üç farklı yapı modeline göre incelenen analiz sonuçları Şekil 5.1’de verilmiştir. Yapının en üst katında gerçekleşen en büyük yerdeğiştirmeler aynı deprem kayıtlarına göre gruplandırılmıştır. Farklı istasyonlardan alınan aynı deprem kayıtları en büyük aynı kategoride gruplandırılmıştır. Rijit kat tanımlaması yapıldığı için kat boyunca elde edilen yer değiştirmeler sabittir. Sönüm oranı %5 olarak alınmıştır ve yapının mod toplama yöntemi ile zaman tanım alanında doğrusal analizi yapılmıştır.

Deprem Kayıtları	En Büyük Yerdeğiştirme (cm)		
	Güçlendirme Öncesi Yapı	Perde ile Güçlendirilmiş Yapı	Kolon Kesitleri Arttırılmış Yapı
Kahramanmaraş	17,71	9,03	14,86
PuertoQuellon	22,4	12,8	15,82
ChiChi	6,1	2,9	4,41
Coyote	11,5	8,6	9,8
Imperial	24,1	12,7	16,1
Kobe	20,4	9	11,4
Kocaeli	13,4	6,9	8,26
LomaGilroy	12,6	5	8,52
MammothLake	19,6	11,5	12,5
Nahanni	28,6	13	18,9
Northridge	22,2	14	18,03
Parkfield	16,5	8,4	9,62
WhittierNarrows	20	11	15,5
Calama	21,9	15,5	18,04
Ferndale	23,6	12,3	14,85
KiraKira	18,2	12,2	16,68
Koadiak	20,6	12,1	18,07
Malango	19,3	12,5	16,1
Perryville	20,7	11,2	15,28
Sumatra	18,3	14,2	16,7

Şekil 5.1. Analiz Sonuçları

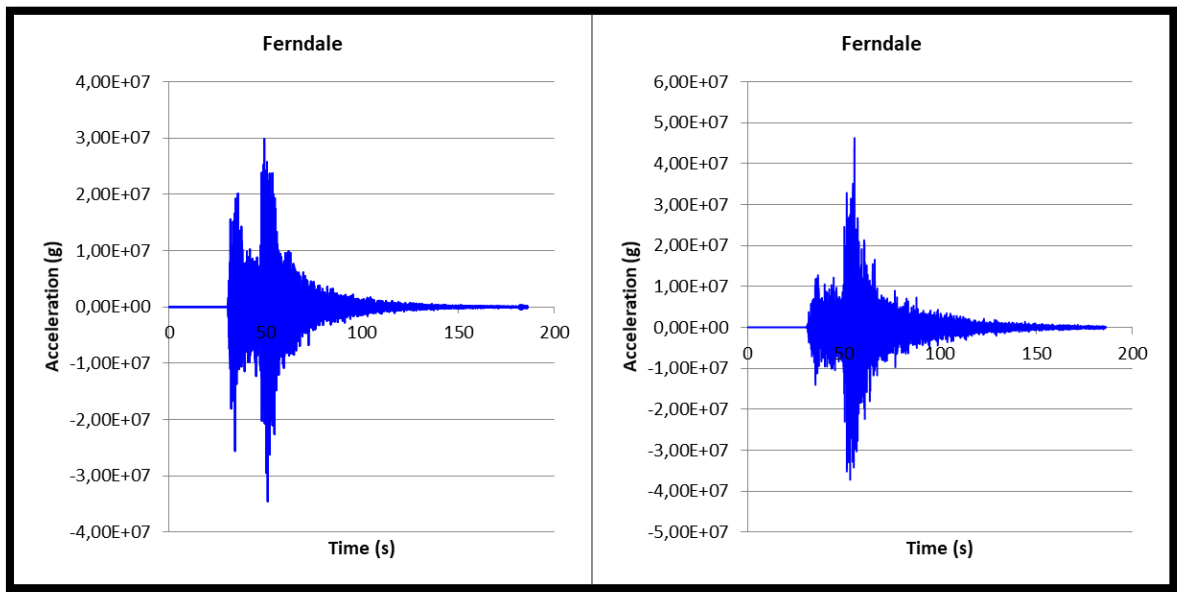
5.2. Analiz Sonucunda Elde Edilen Bulgular

Toplamda 22 adet deprem kaydının iki farklı yapı modeline uygulanmasıyla 44 adet analiz yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır;

- Güçlendirilmemiş yapıda Nahanni depremi incelendiğinde elde edilen değerler güçlendirilmemiş yapıda en üst kattaki en büyük yer değiştirme 28,26 cm'dir. Bu değer perde duvar ile güçlendirme sonrasında 13 c m değerine gerilemiştir. Bu analiz sonuçlarına bakılarak ana yapı ve perde duvar eklenen yapı arasındaki yer değiştirmelerin %53'lük bir azalmaya uğradığı görülmektedir.
- Perde ile güçlendirilen yapı ile güçlendirilmemiş yapı modeli kıyaslandığında KOBE depreminde %53'lük bir değişim olurken, ChiChi depreminde %52'lik bir değişim gözlenmiştir.
- Kobe depremi incelendiğinde, perde ile güçlendirilmiş yapının en alt katında, 8-L aksında bulunan S3 kolonunda oluşan en büyük moment 319,17 kN×m'dir. kesme kuvvetleri ise bu değer 185,77 kN×m olarak hesaplanmıştır.
- Calama depremine ait analiz sonuçları için en üst üç kattaki x eksenindeki deplasmanlar incelendiğinde güçlendirme öncesi model için yukarıdan aşağıya sırasıyla 21,9, 17 ve 11 cm olarak hesaplanmıştır. Güçlendirilmiş modelde ise sırasıyla 15,5, 12 ve 3 cm olarak hesaplanmıştır.
- Birbirleri ile aynı büyüklükte olan Calama ve Sumatra depremleri (7.8 M_w) incelendiğinde güçlendirme öncesi yapının en üst katında, x ekseninde gerçekleşen en büyük yer değiştirmeler sırasıyla 21,9, 18,3 cm olarak hesaplanmıştır. Nahanni depremi ise 6.9 M_w büyüklüğünde olmasına rağmen güçlendirme öncesi yapının en üst katındaki x ekseninde gerçekleşen en büyük yer değiştirme 28,6 cm olarak hesaplanmıştır.
- Perryville depremi için güçlendirme öncesi yapı modelinde depremin EW ve NS

ivme kayıtları, modelin U1 ve U2 eksenlerine yerleri değiştirilerek uygulandığında x ekseninde elde edilen yer değiştirmeler sırasıyla 20,7 ve 11 cm olmaktadır.

- Calama depreminde farklı ölçüm istasyonlarına ait iki farklı ivme kaydı kullanılmıştır (Station Sierra Gorda Chile ve Station El Tigre Chile ait deprem ivme kayıtları sırasıyla şekil 5.23'te verilmiştir.). Bu ölçüm istasyonlarında alınan deprem kayıtları ile analiz yapıldığında güçlendirme öncesi yapının en üst katındaki x eksenindeki yer değiştirme 21,9 ve 22 cm olarak ölçülmektedir.



Şekil 5.23. Sırasıyla Station El Tigre Chile ve Station Sierra Gorda Chile deprem ölçüm istasyonlarına ait deprem ivme kayıtları

- Bütün deprem kayıtlarının sonuçları dikkate alındığında en üst kattaki en büyük yer değiştirme güçlendirme öncesi için 28,6 cm, perde ile yapılan güçlendirme için 15,5 cm, kolon ile kesitleri güçlendirilen yapıda ise 18,9 cm olarak hesaplanmıştır.
- Eğer kesit boyutları 120×50 yerine 150×80 olarak tasarlandığında en üst kattaki en büyük yer değiştirme 18,9 cm olarak hesaplanmıştır.
- On bir adet kolonun kesitinin büyütüldüğü güçlendirilmiş modeldeki ve betonarme perde eklenmesi ile yapılan güçlendirme modelindeki en büyük deplasmanlar

kıyaslandığında aynı yer değiştirmeleri elde etmek için kolon kesitlerinin en düşük 150×80 olarak tasarlanması gerektiği görölmektedir.

- Kolon kesitlerinin arttırıldığı güçlendirme yönteminde, diğer yönteme göre benzer bulgular elde edildiği görölmektedir. Fakat perde ile yapılan güçlendirmede yapıdaki net alanda daha az bir azalma görölmektedir (Perde ile yapılan güçlendirme her katta toplam 3,3 m², kolon artırımı ise fazladan 9,68 m² yer kaplamaktadır.).



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada TBDY 2018'e göre betonarme bir yapı yirmi iki farklı deprem kaydı ile ve iki farklı tasarım durumunda bilgisayar ortamında (SAP2000 kullanılarak) analiz edilmiştir. Yapılan bu araştırmanın sonucunda dört katlı bir yapıya uygulanan, betonarme perde ekleme yoluyla yapılan güçlendirme türünün sağladığı dayanımlar ve etkiler incelenmiştir. Bölümlere ayrılarak incelendiğinde, Bölüm 2'de deprem ivme kayıtları belirlenmiş, Bölüm 4'te ise yapının farklı tasarım koşulundaki modeli sunulmuştur ve 5. Bölümde de analiz sonuçları verilmiştir. Bu bölümde ise analiz sonucunda elde edilen sonuçlar incelenecektir.

Mod toplama yöntemine göre zaman tanım alanında yapılan bu analizin sonucunda yapıya perde eklenmesinin yapının davranışına etkisinin olumlu olduğu görülmektedir. Aynı deprem etkileri altında yapıdaki yer değiştirmelerin azalmasının yanında yapının taşıyıcı sistemine etkileyen yüklerde azalma gerçekleştiği görülmektedir. Yapının Kolonlarında ölçülen kesme kuvveti ve eğilme momentlerinde önemli ölçüde değişiklik (azalma) gözlemlenmiştir. Bu durum yapının deprem davranışa fayda sağlamakla beraber kolon kesitlerinde herhangi bir değişikliğe gidilmeden güçlendirme yapılabileceğini göstermektedir. Ayrıca güçlendirilmiş yapıda kolon kesitlerine bakıldığında yapıya eklenen perde duvarlar yapının deprem performansını arttırmakla beraber taşıma gücünü de arttırmaktadır.

Bu çalışmada 22 farklı deprem kaydıyla analizi yapılan, güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası olmak üzere iki farklı yapı modelinin en üst katında oluşan en büyük deplasmanlar incelenmiştir. Bu çalışmadaki değişkenlerden olmayan farklı kolon kesitleri ve döşeme tipleri ile analiz çeşitlendirilebilir. Yapılan analizde zemin tipi yapının bulunduğu yer ile sınırlandırılmıştır. İncelenen tasarımın farklı zemin tipleri üzerinde ölçeklendirilen deprem kayıtları ile de analiz yapılabilir.

Yapılan çalışmada da görüldüğü gibi ülkemizde görülen büyük depremlerden birisi olan Kocaeli depremi, Kobe depremi gibi bir deprem ile kıyaslandığında etkisi oldukça düşük kalmaktadır. Bu sebeple can güvenliği sağlamak ve ekonomik zararları engellemek için mevcut betonarme yapıların gerekli dayanımı ve dayanıklılığı sağladığından emin olunması gerekmektedir. Bu çalışmanın sonrasında farklı güçlendirme türlerinin (FRP, Çelik Sargı,

Kanat Geçirme) yapıya sağladığı performans değerleri araştırılabilir.



KAYNAKLAR

1. YÜZBAŞI, Jülide, ve Hüseyin R. YERLİ (2018). "Betonarme Yapıların Deprem Etkisi Altında Performans Analizlerinin Yapılması ve Güçlendirilmesi." Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 33.2, 273-286.
2. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu
3. Tankut T. (2004). "Türkiye'deki Bina Yapıları İçin Güçlendirme Stratejisi", Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
4. Yılmaz, Züleyha, Fikret Çankaya, ve Aykut Karakaya (2018). "Bina Maliyet Oranı Ve Bina Güçlendirme Maliyetini Etkileyen Faktörler Arasındaki İlişki." Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 51, 151-174.
5. Siddika, A., Al Mamun, M. A., Alyousef, R., & Amran, Y. M. (2019). Strengthening of reinforced concrete beams by using fiber-reinforced polymer composites: A review. Journal of Building Engineering, 25, 100798.
6. Raza, S., Khan, M. K., Menegon, S. J., Tsang, H. H., & Wilson, J. L. (2019). Strengthening and repair of reinforced concrete columns by jacketing: state-of-the-art review. Sustainability, 11(11), 3208.
7. Atay, H. (2010). Depremde hasar görmüş yapıların güçlendirme yöntemleri ve güçlendirmede kullanılan malzemeler. Sakarya Üniversitesi.
8. Erdel, B. (2019). Deprem dayanımı yetersiz bir yapının TBDY2018'e göre incelenmesi ve bir güçlendirme önerisi (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
9. Aşıkoğlu, A. (2018). Numerical investigation on the effectiveness of seismic retrofitting of a historical masonry mosque (Master's thesis, Anadolu Üniversitesi).
10. TETİK T. (2015), Mevcut betonarme bir binanın deprem güvenliğinin değerlendirilmesi ve çelik çaprazla güçlendirme önerisi, Kocaeli Üniversitesi.
11. Tuncay, K. A. P., ÖZGAN, E., & UZUNOĞLU, M. M. (2017). Betonarme Bir Okul Binasının 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Performans Analizi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 6(1), 1-10.
12. TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). T. C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018.
13. BUZUKU J. (2019), "Seismic Performance Evaluation Of 24 Story Rc Building By Nonlinear Time History Analysis Utilizing Tbdy2018 And Ec8" (İstanbul Teknik Üniversitesi)
14. YILDIZ E. (2021), "Mevcut 44 Katlı Betonarme Yüksek Bir Binanın Tbdy 2018'e Göre Deprem Performansının Zaman Tanim Alanında Doğrusal Olmayan Yöntemle Belirlenmesi." (İstanbul Teknik Üniversitesi)

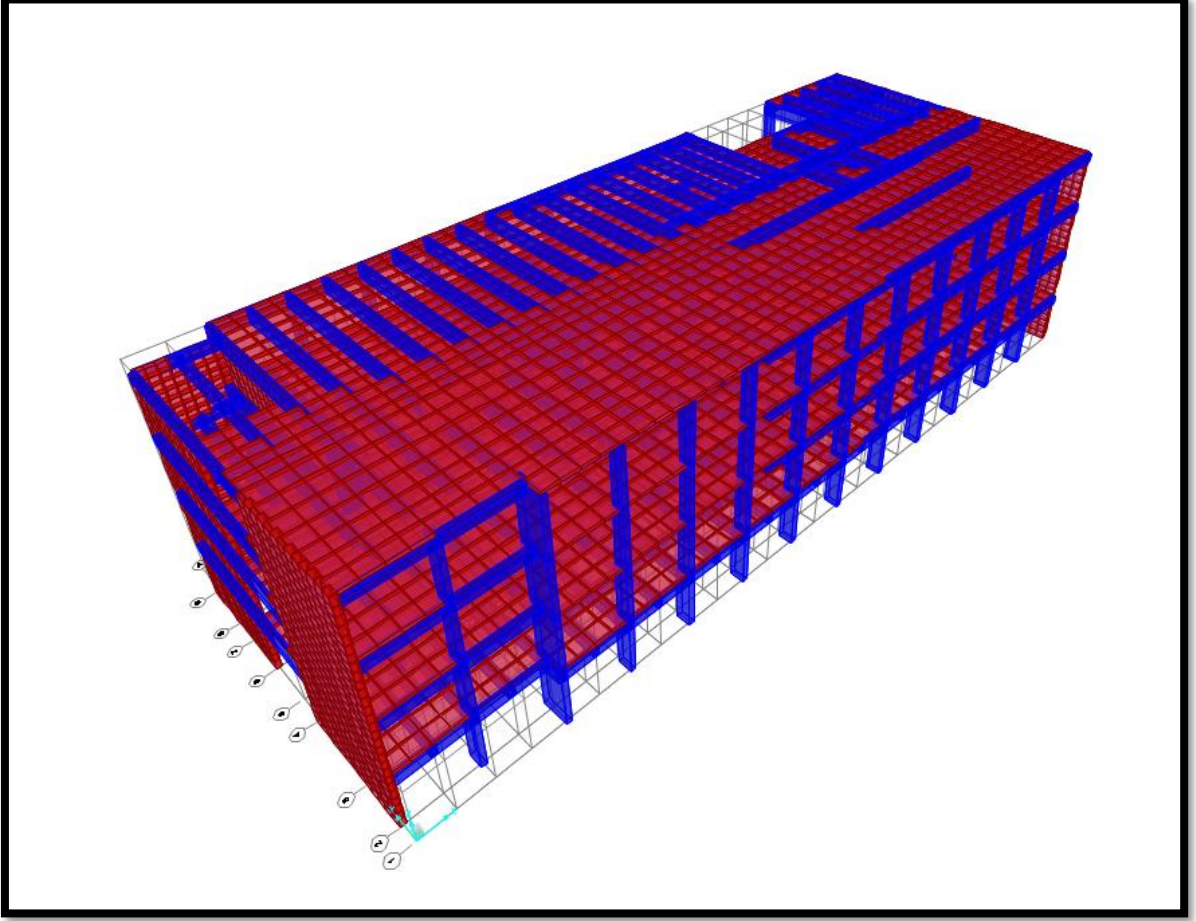
15. ALDADDU A. A. (2022). Comparison study on the effect of diaphragm types and slab voids on planner irregular asymmetrical structures using time history analysis. Işık Üniversitesi
16. ALABDEEN R. (2019), Time history analysis for high rise braced and unbraced steel structures. Gaziantep Üniversitesi.
17. Börekçi M. (2020), Günümüz tasarım yöntemlerinin betonarme binaların deprem performansına etkisinin park-ang hasar indeksi ile belirlenmesi
18. Aydınoglu N. M., (2018). TBDY 2018 'e Göre Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarım Esasları, Tmmob İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul
19. Patil, A. S., & Kumbhar, P. D. (2013). Time history analysis of multistoried RCC buildings for different seismic intensities. International Journal of Structural and Civil Engineering Research, 2(3), 194-201.
20. Duggal S K (2010), "Earthquake Resistance Design of Structure", Fourth Edition, Oxford University Press, New Delhi.
21. Fahjan, Y. M. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. Teknik Dergi, 19(93), 4423-4444.
22. KAYHAN, A. H. (2012). Armoni araştırması ile ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirme. Teknik Dergi, 23(111), 5751-5775.
23. Earthquake Engineering Research Institute. December 1999. "The Chi-Chi, Taiwan Earthquake of September 21, 1999"
24. Stover, C. W.; Coffman, J. L. (1993), Seismicity of the United States, 1568–1989 (Revised) – U.S. Geological Survey Professional Paper 1527, United States Government Printing Office, pp. 94, 165, 166
25. Bouchon, M. (1982), "The rupture mechanism of the Coyote Lake earthquake of 6 August 1979 inferred from near-field data", Bulletin of the Seismological Society of America, 72 (3): 745, 748, 749, 756
26. Uhrhammer, R. A. (1980), "Observations of the Coyote Lake, California earthquake sequence of August 6, 1979", Bulletin of the Seismological Society of America, 70 (2): 559, 561, 565
27. San Francisco Earthquake History 1915-1989, 4 Mart 2016
28. Hauksson, E.; Jones, L. M.; Davis, T. L.; Hutton, L. K.; Williams, P.; Bent, A. L.; Brady, A. G.; Reasenber, P. A.; Michael, A. J.; Yerkes, R. F.; Etheredge, E.; Porcella, R. L.; Johnston, M. J.S.; Reagor, G.; Stover, C. W.; Bufe, C. G.; Cranswick, E.; Shakal, A. K. (1988), "The 1987

- Whittier Narrows Earthquake in the Los Angeles Metropolitan Area, California", Science, 239 (4846): 1409–12,
29. Earthquake information : Detail information Issued on 2022/03/16 15:11". Japan Meteorological Agency. 16 March 2022.
30. Işık, E., & Özdemir, M. (2016). Betonarme Yapılarda Güçlü Kiriş-Zayıf Kolon Durumunun Yapı Performansına Etkisi. In 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC) (pp. 1-10).
31. M. ALTIN (2008). Betonarme perde duvar ilavesi ve kolon mantolama yöntemiyle güçlendirilen eğitim yapılarında maliyet analizi.
32. N. BAYÜLKE (1995). Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi.
33. TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). T. C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018.



EKLER

EK-1 Güçlendirme öncesi yapının analiz öncesi modeli



Şekil 7.1. Güçlendirme öncesi yapının analiz öncesi modeli

DİZİN

A

analiz · iv, ix, 4, 5, 7, 8, 17, 30, 34, 37, 44, 50, 57, 63

B

betonarme · iv, 1, 2, 3, 20, 23, 26, 28, 30, 40, 63, 64, 65

C

ChiChi · ix, x, 12, 13, 37, 38, 44, 51, 57, 63

Coyote · ix, x, 13, 14, 38, 45, 51, 57, 66

D

dayanım · 1, 2

deprem · iv, ix, xi, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 14, 16, 17, 18,
19, 21, 27, 28, 35, 37, 38, 39, 40, 44, 50, 56, 57, 62,
63, 64, 65, 66, *Bakın* depremler

deprem ivme spektrumu · 35

Deprem İvme Spektrumu · 36

Deprem yer hareketi düzeyi · 35

depremler · iv, 8

doğrusal · iv, 2, 3, 4, 5, 28, 63

Doğrusal Dinamik Analiz · 4

Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz · 4

Doğrusal Olmayan Statik Analiz · 4

Doğrusal Statik Analiz · 4

donatı · ix, 1, 23, 24

Döşeme · ix, 34

F

FRP · iv, v, vii, ix, 1, 23, 28, 64

G

güçlendirme · iv, 1, 2, 3, 19, 20, 23, 25, 27, 28, 34, 40,
44, 64, 65

I

Imperial · ix, x, 9, 10, 38, 45, 52, 58

i

ivme kayıtları · iv, 6, 7, 8, 18, 37, 63

ivme-zaman grafiği · ix, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,
18

K

kesit · iv, ix, 31, 34, 43, 64

Kobe · ix, x, 9, 18, 21, 38, 46, 52, 58, 64

KOBE · 50, 56, 62, 63, 64

Kocaeli · ix, x, 14, 15, 38, 46, 53, 59, 64, 65

kolon · ix, 2, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 34,
42, 43, 63, 64, 66

Kolon · viii, x, 20, 44, 50, 56, 66

L

LomaGilroy · ix, x, 39, 47, 53, 59

M

maliyet · 1, 2, 17, 66

malzeme · 4, 28, 30

MammothLake · x, 47, 54, 60

mantolama · iv, 2, 23, 24, 27, 42, 66

N

Nahanni · ix, x, 16, 17, 39, 48, 54, 60

Northridge · ix, x, 10, 11, 39, 48, 55, 61, 63

Ö

ölçeklendirme · 37, 66

P

Parkfield · ix, x, 11, 12, 40, 49, 55, 61

PEER · iv, v, xi, 8

perde · iv, ix, x, 2, 20, 23, 26, 27, 34, 40, 41, 57, 62, 63,
64, 66

S

SAP2000 · iv, 30, 35

Sismik Tehlike Haritası Detay Raporu · ix, 36

T

TBDY · 1, 2, iv, v, vii, ix, xi, 3, 5, 7, 8, 26, 30, 35, 37, 65,
66

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği · xi, 2, 65, 66

W

WhittierNarrows · x, 49, 56, 62

Y

yapı · iv, x, 1, 2, 5, 23, 24, 26, 27, 30, 44, 50, 56, 57, 62,
63, 64

yük · 2, 24, 27, 28, 34

Z

zaman tanım alanında · iv, 3, 4, 5, 7, 8, 44



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

