

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAKIN BÖLGE YER HAREKETLERİNİN ÇELİK BİR BİNA
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammed Mahyoub Abdo SAIF

ŞUBAT 2021
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAKIN BÖLGE YER HAREKETLERİNİN ÇELİK BİR BİNA
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Mohammed Mahyoub Abdo SAIF

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 / 01 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 02 / 02 / 2021

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şevket ATEŞ

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

‘Yakın Bölge Yer Hareketlerinin Çelik Bir Bina Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi’ isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisansüstü tez olarak hazırlanmıştır. Lisansüstü eğitimim sırasında değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve destek almaktan çekinmediğim, araştırmalarımın planlanmasından tezimin hazırlanmasına kadar her aşamada yardımlarını esirgemeyen, değerli danışmanım beni cesaretlendiren ve aynı özenle yönlendiren Sayın Prof. Dr. Şevket ATEŞ’e teşekkürlerimi sunarım. Lisans eğitimim sırasında kıymetli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli öğretmenlerime teşekkürlerimi sunarım. Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığına destekleri için teşekkür ederim. Eğitim hayatım sırasında maddi ve manevi desteklerini ve beni her zaman destekleyen aileme teşekkür ederim. Bu çalışmanın faydalı olmasını temenni ederim.

Mohammed Mahyoub Abdo SAIF
Trabzon, 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Lisansüstü tezi olarak sunduğum “Yakın Bölge Yer Hareketlerinin Çelik Bir Bina Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şevket ATEŞ’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 02/02/2021

Mohammed Mahyoub Abdo SAIF

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tarihsel Bakış	2
1.3. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	4
1.4. Yer Hareketlerinin Seçilmesi	8
1.5. Yakın Fay	11
1.5.1. Yakın Fay Yer Hareketinin Genel Özellikleri	11
1.5.2. Yakın Fay Tanımı	13
1.5.3. Yapıların Yakın Fay Yer Hareketlerine Tepkisi	14
1.5.4. Yakın Böle Yer Hareketi.....	14
1.5.5. Fayın Kırılma Mekanizması.....	19
1.5.5.1. Yön Etkisi	21
1.5.5.2. Sıçrama Etkisi	24
1.5.6. UBC–1997 Yönetmeliğine Göre Yakın Fay Tasarım Parametreleri	25
1.6. Çelik Yapıların Deprem Dayanımı	28
1.7. Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi.....	30
1.8. Tek Serbestlik Dereceli Sisteminin Titreşimi	32
1.9. Amaç ve Kapsam	36
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	37
2.1. Yöntem.....	37
2.2. YDKT Yöntemine Bağlı Yapının Tasarımı	37
2.3. Üç Boyutlu Modelinin Oluşturulması.....	38
2.3.1. Yapı Akslarının Oluşturulması	40

2.3.2.	Malzeme Özelliklerinin Tanımı	40
2.3.3.	Kesit Özelliklerinin Oluşturulması	41
2.4.	Yüklemelerin Yapı Modeline Tanımlanması.....	42
2.4.1.	Düşey Yükler	43
2.4.2.	Rüzgar Yükü	44
2.5.	Zaman Tanım Alanında Spektral Uyuşum Yöntemiyle Ölçeklendirme	45
2.6.	Zaman Tanım Alanında Analiz İçin Verilerin Girilmesi	48
2.6.1.	Zaman Tanımı Modelinin Analiz Sonuçları	49
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	52
4.	SONUÇLAR	67
5.	KAYNAKLAR	69

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YAKIN BÖLGE YER HAREKETLERİNİN ÇELİK BİR BİNA ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mohammed Mahyoub Abdo SAIF

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şevket ATEŞ
2021, 72 Sayfa

Bu tez çalışmasında, faylara yakın bölgelerde yer hareketlerinin çelik yapılar üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Çelik yapıların uzak fay ve yakın fay yer hareketleri etkisi altındaki davranışı incelenmektedir. On bir yakın fay ve üç uzak fay yer hareketi kayıtları PEER veri bankasından tasarım ivme spektrumlarına uygun olacak bir şekilde, deprem büyüklüğü ve faya olan uzaklık dikkate alınarak seçilmiştir. SeismoMatch programı ile ölçeklendirme işlemleri tamamlandıktan sonra, analizde kullanılmak üzere yaklaşık on dört ölçeklenmiş kayıtlar elde edilmiştir. Bu ölçeklendirilmiş kayıtlar ve gerçek kayıtlarla birlikte, SAP2000 programında oluşturulan çelik yapının zaman tanım alanı analizinde kullanılmıştır. Hazırlanan bu çalışma, dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde yakın fay tanımı ve özellikleri ve yön etkisi anlatılmıştır. İkinci bölümde üç boyutlu modeli SAP2000 programında oluşturulmuş ve modeller analiz edilmiştir. Üçüncü bölümde, ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş kayıtların analiz sonuçları, maksimum ivme, hız ve yer değiştirme değerlerinin yanı sıra moment, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetlerin maksimum değerlerinin grafikleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Dördüncü Bölümde, en önemli sonuçlar ve öneriler açıklanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ölçeklendirilmemiş kayıtların analiz sonuçlarının ölçeklendirilmiş kayıtlara göre genellikle daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca uzak fay ve yakın fay yer hareketleri için elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılarak, deprem yer hareketlerinin bina davranışı üzerindeki etkileri vurgulanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Faya Yakın, Çelik Yapı, Ölçeklendirilmiş Deprem Kayıtları, Zaman Tanım Alanında Analiz

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF NEAR REGION GROUND MOVEMENTS ON A STEEL BUILDING

Mohammed Mahyoub Abdo SAIF

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Şevket ATEŞ
2021, 72 Pages

In this thesis, the effects of ground motions on steel structures in areas near to faults are discussed. The behavior of steel structures under the effect of far-fault and near-fault scaled ground motions are examined. Eleven ground motion records near to the fault and three far faults records were selected from the PEER database in accordance with the design acceleration response spectra, taking into account the magnitude of the earthquake, fault mechanism, soil properties and the distance to the fault. After the scaling process were completed with the SeismoMatch program, nearly fourteen scaled records were obtained to be used in the analysis. These scaled records and real records were used in the time history analysis of the steel structure modelled in the SAP2000 program. This study prepared consists of four chapters. In the first chapter, the definition and properties of near faults, and the directional effect are explained. In the second part, three-dimensional models were created in the SAP2000 program and the models were analyzed. In the third part, the analysis results of scaled and unscaled records are evaluated by comparing the graphs of maximum acceleration, velocity and displacement values as well as the maximum values internal forces of structural members. In Chapter Four, the most important results and recommendations are explained in this study. When the results obtained from this study were examined, it was noticed that the analysis results of the unscaled records were generally more than ten times more than the scaled records. In addition, by comparing the analysis results obtained for far faults and near fault ground motions, the effects of earthquake ground motions on building behavior were tried to be emphasized.

Key Words: Near Fault, Far Fault, Steel Structure, Scaled Earthquake Records, Time History Analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	19 Ağustos 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu kuzey – güney bileşeni hız – zaman grafiği	12
Şekil 2.	Yön ve sıçrama tesirlerinin ivme, hız ve yer değiştirme-zaman grafiklerindeki şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.	CHY006 istasyonu doğu-batı ivme-zaman kaydı	16
Şekil 4.	CHY006 istasyonu doğu-batı hız-zaman kaydı	17
Şekil 5.	CHY006 istasyonu doğu-batı yer değiştirme-zaman kaydı	17
Şekil 6.	CHY006 istasyonu kuzey-güney ivme-zaman kaydı	18
Şekil 7.	CHY006 istasyonu kuzey-güney hız-zaman kaydı	18
Şekil 8.	CHY006 istasyonu kuzey-güney yer değiştirme-zaman kaydı	18
Şekil 9.	Fay mekanizmaları (a) doğrultu atımlı fay, (b) eğim atımlı fay, (c) oblik atımlı fay (http://tag.eng.ankara.edu.tr/deprem.htm)	20
Şekil 10.	Yakın fayın geri yön, ileri yön ve nötr darbe tanımı	22
Şekil 11.	Landers Depremi'ne ait geri ve ileri yön bölgeleri	23
Şekil 12.	Abrahamson tarafında önerilen yön tesiri modeli ²³	
Şekil 13.	Yön ve eğilim atımlı fayın mekanizmalarında yön ve sıçrama tesirleri	24
Şekil 14.	Eğilim ve doğrultu atımlı fayın mekanizmalarında yön ve sıçrama tesirleri.....	25
Şekil 15.	TSD sistemini ifade eden tek kitle model	33
Şekil 16.	Darbe katarı	35
Şekil 17.	Üç boyutlu sistem görünmesi	38
Şekil 18.	Normal kat planı.....	39
Şekil 19.	Yapı eksenlerinin görünümü	40
Şekil 20.	Malzeme özelliklerinin tanımı	41
Şekil 21.	Programda yapı döşeme kesitinin tanımlanması	42
Şekil 22.	Yük tiplerinin tanımlanması.....	43
Şekil 23.	TS 498'e göre rüzgar yükünde kullanılan değerler.....	44
Şekil 24.	Çelik yapının bulunduğu konuma göre elastik tasarım spektrumu ve PGA değeri bulunması	46
Şekil 25.	SeismoMatch programının arayüzü	47
Şekil 26.	Hedef spektrumu ve tepki spektrumlarının karşılaştırılması.....	47
Şekil 27.	Sap2000 programında kullanılan deprem kayıtları tanımlanma	48

Şekil 28.	G+0,3Q başlangıç şartının tanımlanması	49
Şekil 29.	Zaman tanım alanında veri girişi.....	49
Şekil 30.	Sonuçları verilen kolonlar ve kirişler	50
Şekil 31.	Zaman tanım alanında analiz sonucu görüntülenmesi	51
Şekil 32.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat ivmeleri.....	54
Şekil 33.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat ivmeleri.....	54
Şekil 34.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat hızları.....	55
Şekil 35.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat hızları.....	55
Şekil 36.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat yerdeğiştirmeleri.....	56
Şekil 37.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat yerdeğiştirmeleri.....	56
Şekil 38.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon uç momentleri (M_{3-3}).....	57
Şekil 39.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon uç momentleri (M_{2-2}).....	57
Şekil 40.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon kesme kuvvetleri (V_{3-3}).....	58
Şekil 41.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon kesme kuvvetleri (V_{2-2}).....	58
Şekil 42.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon eksenel kuvvetleri	59
Şekil 43.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kiriş eğilme momentleri (M_{3-3}).....	59
Şekil 44.	Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kiriş kesme kuvvetleri (V_{2-2}).....	60
Şekil 45.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat yerdeğiştirmeleri.....	60
Şekil 46.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat yerdeğiştirmeleri.....	61
Şekil 47.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat hızları.....	61
Şekil 48.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat hızları.....	62

Şekil 49.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat ivmeleri.....	62
Şekil 50.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat ivmeleri.....	63
Şekil 51.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon uç momentleri (M_{3-3}).....	63
Şekil 52.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon uç momentleri (M_{2-2}).....	64
Şekil 53.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon kesme kuvvetleri (V_{3-3}).....	64
Şekil 54.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon kesme kuvvetleri (V_{2-2}).....	65
Şekil 55.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon eksenel kuvvetleri	65
Şekil 56.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kiriş eğilme momentleri (M_{3-3}).....	66
Şekil 57.	Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kiriş kesme kuvvetleri (V_{2-2}).....	66

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Seçilmiş deprem kayıtlarının karakteristikleri	10
Tablo 2. Fay mekanizmalarına göre yakın fay etkileri	19
Tablo 3. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Kısa dönem faktörü N_a "	25
Tablo 4. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Orta dönem faktörü N_v "	26
Tablo 5. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Sismik kaynak türleri"	26
Tablo 6. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Sismik katsayı, C_a "	26
Tablo 7. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Sismik katsayı, C_v "	27
Tablo 8. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak " Yer profil türleri"	27
Tablo 9. Deprem kayıtlarına ait yer özellikleri.....	28
Tablo 10. Taşıyıcı sistem elementleri enkesit profilleri (Bütün Katlarda).....	38
Tablo 11. Yüksekliğe göre rüzgar hızı ve emme.....	44
Tablo 12. Rüzgar yükünün yapının etkilenen yüzeyinin birim alanına göre dağılımı (TS 498)	45

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MDOF	: Multi-Degree-Of-Freedom
UBC	: Uniform Building Code
PGV	: Yer hareketinin maksimum hızı
PGA	: Yer hareketinin maksimum ivmesi
PGD	: Yer hareketinin maksimum yer değıştirmesi
M_w	: Deprem büyüklüğü
C_v , C_a	: UBC–1997 ’de yer alan sismik katsayılar
N_v , N_a	: Kaynak yakınlık faktörü
ÇYTHYE	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliğı
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım
T_p	: Darbe tipli titreşimin süresi
TSD	: Tek serbestlik dereceli sistem

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Deprem, fay boyunca kademeli olarak biriken elastik gerilim, elastik geri tepme sürecinde aniden serbest bırakıldığında meydana gelmektedir.

Fayın her iki tarafında depolanan elastik enerji, fay boyunca hareketi yönlendirmektedir. Elastik geri tepme, birkaç saniye ile birkaç dakika süren dinamik güçlü yer hareketleri oluşturur. Ayrıca, esnek geri tepme yeryüzünde statik deformasyon meydana getirir. Yeryüzünün statik deformasyonu, fayın kendisinde yer değiştirmede süreksizlikten ve bu yer değiştirmede fayın her iki tarafındaki faydan kademeli olarak azalmadan oluşur. Yüzey fayı varsa, zemin yüzeyindeki fay boyunca statik yer değiştirmeler süreksizdir ve temel bir sismik tehlike oluşturur.

Fay yüzeyi kırmasa bile, yer altı fayı nedeniyle zemin yüzeyinde statik deformasyon oluşabilir. Yakın fay alanında, belli bir bölgedeki zemin hareketleri fayın kırık mekanizması, fayın alana göre kayması ve tektonik hareketin neden olduğu sürekli yer değiştirmeden büyük derecede etkilenmektedir. Faya yakın yer hareketleri, sıradan yer hareketlerinden farklıdır, çünkü genellikle güçlü tutarlı dinamik uzun süreli darbeler ve kalıcı yer değiştirmeleri içerirler.

Yapılar, doğal tesirler (deprem ve rüzgar) ve insan yapımı yapay tesirlerin etkisi altında meydana gelen titreşimler nedeniyle yer değiştirmeye zorlanmaktadır. Günümüzde depremden etkilenen yapılar için geliştirilmiş kontrol sistemleri bulunur ve bu sistemlerin tasarımında daha önceki deprem kayıtlarına ve bölgesel tahminlere göre yapay titreşimler kullanılır. Bir bölgedeki, deprem esnasında hareketi etkileyen birkaç faktör vardır. Depremin büyüklüğü, alanın faya olan mesafesi, yeryüzünün tarihsel jeolojisi ve topografik özellikleri dikkate alınması gereken faktörlerdir,

Son zamanlarda meydana gelen büyük depremlerde (1999 Tayvan Chi-Chi, 1989 Loma Prieta, 1994 US Northridge ve 1995 Japonya Hyogoken-Nanbu) kaydedilen faya yakın yer hareketleri, büyük bir hız darbesi ve yer hareketi ile karakterize edilir. Bu da depremin başlangıcında yapıları yüksek giriş enerjisine maruz bırakmaktadır, 1971 yılında San Fernando depreminden sonra sismologlar ve mühendisler, yer hareketlerinin faya yakın yapılarda sebep olduğu potansiyel zararın farkına varmıştır. 1994 yılında Northridge

California ve 1995 yılında Kobe Japonya depremlerinde görülen zararlar, mühendislerin, yakın fay bölgesinde olan yapıların, uzakta olan yapılara nisbetle daha fazla zarar gördüğü varsaymasını kanıtlamıştır. Depremlerin merkezi yerleşim alanlarında olduğundan, yapıların davranışları konusunda yeni bilgiler sağlanmıştır. Toplanan verilere dayanarak, yapı tasarımcıları yakın kaynağın yapılar üzerindeki etkilerini araştırmaya başlamıştır. İleri yön tesiri çoğunlukla faya dikey yönde önemli ve çok ağır zarara neden olabilecek, uzun süreli bir darbe tesirinin varlığını göstermektedir. Onların araştırma ve bulguları, yakın faylar hareketini dikkate alan 1997 Uniform Building Code’da (UBC–1997) tasarım faktörlerinin kullanılmasına sebep olmuştur. Köprü tasarımcıları da binalardaki muhtemel hasarın farkına varıp, köprünün de incelenmesi gerektiğini fark etmişlerdir (Orozco and Ashford, 2002).

Yakın fay hareketi temel olarak “Yön Titreşimi” ve “Sıçrama Titreşimi” ile karakterize edilmektedir. Yönlü titreşimi, fayın doğal bileşenidir ve kırılan fay, kısa periyotlu ama büyük kapasiteli titreşim üretmektedir. Buna ileri yön titreşimi denir. İleri yön titreşimleri iki yön yüksek hızlı titreşimleri oluşturmaktadır. İleri yön titreşiminin tersine, alandan çıkan ters yön titreşimi ve yansız titreşim uzun vadeli ve daha az genlikli olmaktadır. Fay boyunca kalıcı yer değiştirmeden mesul olan titreşim sıçraması, yan kayma faylarda fayın denk bileşeninde, dikey kayma faylarda fayın olağan bileşeninde olup büyük tek yön hız titreşimleri oluşturmaktadır.

1.2. Tarihsel Bakış

Yakın fay konus için ilk önemli sismik kanıt Benioff (1955) tarafından rapor edilmiştir. 1952 Kaliforniya depreminde, gözlenen şiddet modellerini açıklamıştır. Fay kırığının hareketli bir kaynak olarak yayılmasının kırılan alanın karşı uçlarında farklı zemin hareketlerine yol açabileceğini yayılma yönünde daha yüksek frekansta daha büyük yoğunluklarla ve karşı uçta daha küçük yoğunluk ve daha düşük frekanslar ile göstermiştir (Singh, 1985). Ayrıca, yer hareketi yayılım kaynağının düz bir çizgi boyunca kinematikliğini ve bunun dalga genlikleri ve şekilleri üzerindeki etkilerini gösterilmiştir.

1971'deki San Fernando depreminden sonra Mahin ve diğ. (1976), Pertero ve diğ. (1978), sismik kaynağın, yani fırlatmanın yakınındaki büyük hareket darbesine tuhaf yapısal tepkiden bahsetmişlerdir. Olive View Tıp Merkezi binasının, faya yakın yer hareketlerinin karakteristiği olarak tanımladıkları şiddetli darbe etkisi nedeniyle büyük hasar görülmüştür. Hasarın, sıradan yer hareketlerinde olduğu gibi çok sayıda titreşim yerine sadece birkaç

büyük yer değiştirmeden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca, yönetmelik şartlarına uygun tasarlanan kısa süreli yapıların, faya yakın yer hareketlerine maruz kaldıklarında çok büyük süneklik taleplerini karşılayabileceği sonucuna varmışlardır. Bu nedenle aktif fayların yakınında bulunan yapılar için özel tasarım önlemleri alınmalıdır (Alavi ve Krawinkler, 2001).

1979 Imperial Valley depreminden sonra Anderson ve Bertero (1987) yapı dayanımı, elastik olmayan faya karşı tepkinin hassasiyetini bildirmiş, yanı sıra yakın fay kaydında bulunan bir darbe süresi ile ilgili olarak yapının temel periyodu. MDOF yapıları üzerinde yaptıkları araştırmalar, eksenel yüklerin en büyük olduğu alt katlardaki süneklik taleplerinin artmasının önemli P-delta etkilerine yol açabileceğini göstermiştir. Ayrıca, darbeli yer hareketlerine maruz kalan yapılar için uzun vadede tasarım spektrumunun şeklinin değiştirilmesini önermişlerdir. 1994 Northridge ve 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe) depremlerinde nüfusun yoğun olduğu kentsel alanlarda meydana gelen yapısal hasar nedeniyle meydana gelen büyük kayıplar nedeniyle faya yakın etkiler büyük oranda tanınmıştır (Alavi ve Krawinkler, 2001).

Hall ve diğ. (1995), sürekli kesme yapısının darbeli tipi yer hareketlerine tepkisini incelemek için dalga yayılım teorisini kullanmışlardır. Onlar da, faya yakın yer hareketlerinin zararlı etkileri ve mevcut yönetmelik kurallarının, sorunu etkin bir şekilde ele almak için yetersizliği konusunda uyarılmışlar. Iwan (1997), darbeli tipi özelliklere sahip faya yakın yer hareketlerine maruz kalan MDOF yapıları için sismik talebin bir ölçüsü olarak sapma spektrumu elde etmek için benzer bir elastik kayma yapısı kullanmıştır. Fay etkilerine yakın elastik yapılar için bile, yönetmelik tabanı kesme katsayısının nispeten kısa bir sürenin ötesinde sabit bir faya yakın faktörle çarpılmasıyla açıklanamayacağını göstermiştir.

Birçok çalışma, faya yakın yer hareketlerine maruz kalan yapıların performansını artırarak faya yakın sorunun azaltılmasını amaçlamaktadır. Hall ve diğ. (1995) ve Makris ve Chang (2000), diğerlerinin yanı sıra, yapıları darbeli tipi ve faya yakın yer hareketlerinden korumak için çeşitli yayılma mekanizmalarla taban izolasyonunun verimliliğini incelemişlerdir. Bazı umut verici sonuçlar olmasına rağmen, faya yakın yer hareketlerinin şiddetli darbelerinden kaynaklanan büyük yer değiştirme talepleri birçok zorluk oluşturmaktadır. Anderson ve diğ. (1999), tek veya birleştirilmiş perde duvarlar (R / C çerçeveler için) ve yanal destek sistemleri (çelik çerçeveler için) ile güçlendirilmiş birkaç uzun açıklıklı betonarme ve çelik çerçevenin performansını değerlendirmiştir. Uzun dönemli yapıların şiddetli darbe tipi yer hareketlerine maruz kaldıklarında, perde duvarları ekleyerek

sistemin sertliğini ve / veya mukavemetini arttırmak gibi geleneksel güçlendirme stratejilerinin etkili olmadığı sonucuna varmışlardır. Bunun nedeni, artan rijitliğin sistem periyodunu kısaltarak daha yüksek spektral ivmeye dönüştürülmesidir. Bununla birlikte, enerji dağıtımı cihazlarının, özellikle viskoz sönümleyicilerin, faya yakın etkilere karşı koruma sağlamak için daha etkili bir teknik olarak kullanılmasını tartışmışlar (Alavi ve Krawinkler, 2001).

1.3. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Singh (1985), depremin dalgalarının yayılma kaynaklarının kinematığını, sözü edilen kaynağın deprem dalgaları genliği ve dalgaların şekli üzerindeki tesirlerini incelemiştir. Deprem dalgası yayılma yönünde meydana gelen kuvvetli frekansların ileri yönde etkisini, sözü edilen yayılmanın karşı ucunda daha düşük frekansların ortaya çıkmasının ise geri yönelim etkisini yarattığını ortaya koymuşlardır.

Iwan (1997), yapısal tasarımlardaki davranış spektrumlarına ilaveten yer değiştirme spektrumlarını önermiştir. Böylelikle faya yakın yer hareketleri etkisi altındaki yapıların sismik ölçümlerini yapılabilmesi muhtemel olabilmektedir. Yer değiştirme spektrumu metodunda temel kesme kuvvetlerinin gerçek bir şekilde hesaplanamadığını belirtmiştir.

Somerville ve diğ. (1997), güçlü yer hareketlerinin genlikleri ve periyotları üzerindeki darbe tesirlerini hesaplamak için, güçlü yer hareketlerinin tesirlerini azaltan ve faya yakın verilerinin deneyli çözümlemesine dayanarak bir araştırma yapmışlardır. faya yakın yer hareketleri koşullarını uygun biçimde yansıtan sismik kayıtlarının seçmesini kolaylaştırmak için, yakın fay parametrelerini içeren faya yakın kayıtlar listelemişlerdir.

Somerville (1998), darbe etkilerinin oluşumuna sebep olan faya yakın yer hareketleri hakkında parametreler geliştirmiştir, tepki spektrumuna ek olarak, yakın fayın darbe etkisini belirten zamana bağlı faktörler olan periyotlar ve genliklerin etkisini de incelemiştir. Depremlerin büyüklüğü ile depremler ve deprem kayıt istasyonu arasındaki mesafeye dayanarak bir ilişki kurmuş ve fayın yakınındaki yer hareketleri için uygun model geliştirmiştir.

Gülkan ve Akkar (2000), çerçeve tipi yapılarda yer değiştirmeyi temel alan sismik tasarım yöntemlerinden biri olan Genlik Spektrum Metodu'nu ve Yer Değiştirme Genlik Spektrum Metodu'nu kullanarak yer hareketinin faya yakın etkilerini incelemiştir. Faya yakın yer hareketlerinin yerel deformasyonları artırması sebebiyle yerel deformasyonlarla

ilgilenen Yer Değiştirme Genlik Spektrum Metodu'nu kullanmışlardır ve bu Metodun daha güvenilir neticeler verdiğini belirtmişlerdir.

Boore (2001), Chi-Chi (1999) depreminde ivmeölçerlerden alınan kayıtların birleştirilmesiyle elde edilen deplasman-zaman verilerinin eksen düzeltmesi operasyonundaki “0” noktalarına dayanan farklı statik deplasmanlar verdiğini belirtmiştir. Ortaya çıkan farkın eksen düzeltmesinde yanılmalara neden olduğunu ama sözü edilen farkın 20 saniyeden az bir sürede sahip tepkime spektrumlarında aktif olmadığını vurgulamıştır. Daha gelişmiş ivmeölçerler ve ağ üzerinden data paylaşımıyla daha dakik datalar sunan sistemlerin kurulacağını belirtmiştir.

Stewart ve diğ. (2001), yer hareketlerini değerlendirmek için performansa dayanarak tasarımıda kullanılan metodu vurgulamışlardır. Sözü edilen metodu üç aşamada tartışmışlardır. İlk olarak, yer hareketlerini spektral ivme veya periyot gibi klasik parametreler içeren yoğunluk ölçümleriyle değerlendirmişlerdir. Daha sonra katlar ve plastik mafsallar arasında yer değiştirme gibi ifade etmeleri belirleyen parametreler, sistem davranışları veya hasar ölçümlerini değerlendirmek için incelemişlerdir. Üçüncü aşamada ise hasar ölçmelerini dikkate alınarak, sözü edilen hasarların tamirleri için gerekli zaman konusunda bir değerlendirme yapmışlardır.

Wang ve diğ. (2002), kayıt istasyonlarının faya uzaklığı, yerel alan koşulları, deprem mekanizması, fay kırılma yönelimi gibi faktörlerin faya yakın yer hareketlerini etkilediğini belirtmiştir. Chi-Chi (1999) deprem modelini üç boyutlu bir dalga şeklinde çıkarmışlardır.

Somerville (2002), yakın fay etkilerinin yüksek ölçüde ürettiği enerjiyi gerçek bir şekilde yansıtmadığını düşünmesiyle yakın fay karakteristikleri taşıyan tepkime spektrumlarının tek olarak yetmeyeceğini belirtmiştir. Bu statüsü gerçek kılmak için zaman tanım kapsamında doğrusal olmayan bir analiz önermiştir. Depremin büyüklüğü ve fay mesafesinin darbe hızı üzerindeki etkisini belirten bir eşitlik ortaya koymuştur.

Ashford ve Cox (2002), laboratuvar ortamında büyük hızlı darbeleri içeren faya yakın yer hareketlerinin karakteristiklerini incelemişlerdir. Sözü edilen incelemeleri ölçeklendirilmiş betonarme kiriş ve kolon bölgelerinin büyük hızlı darbe etkili yakın fay yer hareketleri etkisinde gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına dayanarak modelleme ve tasarım verileri oluşturmuşlardır.

Gülkan ve Akkar (2003), çerçeve türü yapıların katlar arasındaki yer değiştirme talepleri ve limitlerini, faya yakın yer hareketlerinin mesafe ve büyüklüğüne dayanarak incelemişlerdir. Elde edildikleri sonuçları Uniform Building Code yönetmeliklerinin

kurallarıyla kıyaslamışlardır. Uniform Building Code kurallarının, 7.0'dan büyük ve 5 km'ye yakın gerçekçi depremlerin neden olduğu sismik taleplere bağlı olarak oldukça küçük sonuç verdiğini kanıtlamışlardır.

Yamazaki ve Shabestari (2003), Chi-Chi (1999) depreminin fay ve yön etkilerini temsil eden deney modeller oluşturmuşlardır. Yakın fay tesiri altında sözü edilen modelleri, eğim atımlı fay sistemlerinde kullanımı büyük ve sığ depremlere maruz bırakan uzun süreli yapıların sismik tasarımında uygulamaya yapmışlardır.

Somerville (2003), yer hareketlerinin spektral genlik ve deprem büyüklüğü arasındaki ilişkiye göre tasarlandığını ifade etmiştir. Ancak yakın fayların etkilerinin depremler büyüklüğü üzerinde tesirli olduğu ve sözü edilen bu etkilerinin de gerekli olduğunu ifade edilmiştir. Toprak ve kaya bölge koşulları için sözü edilen ilişkiyi kurarak çeşitli büyüklük değerleriyle depremler için ivme spektrum değerleri elde edilmiştir.

Rodriguez-Marek ve Bray (2004), hız-periyot kayıtlarındaki kapasite ve darbe dönemlerini basitleştirilmiş parametrelendirmelerle ifade etmeyi hedefleyen bir araştırma yapmışlardır. Yakın fay yer hareketinin darbe etkin bileşeni için en büyük hız ve darbe periyodunu tahmin etmesi için bazı bağıntılar belirtmişlerdir. Bu araştırma sonunda, küçük depremlerin düşük darbe periyotlarının katı yapılarda daha tehlikeli reaksiyonlara neden olduğunu belirtmişlerdir.

Akkar ve diğ. (2004), istatistiksel olarak, faya yakın yer hareketlerinin yapısal sistemlere olan etkilerinin maksimum esnek ve esnek olmayan deformasyon gereksinimleri arasındaki alakayı incelemişlerdir. Darbe etkili faya yakın yer hareketlerinin büyük bir şekilde etki olduğu esnek olmayan yer değiştirmelerle darbesiz kayıtların tesirinde meydana gelen esnek olmayan yer değiştirmelerin daha doğru hesap etmesini amaçlamışlardır.

Akkar ve diğ. (2005), çerçeve türü yapılarda deplasmanları tahmin edebilmek için esnek sınırlar belirlenmiştir. Spektral deplasmanları ve kolon, kiriş rijitlik matrislerini göz önünde bulundurarak katlar arasındaki ve zemin kattaki deplasmanlar hakkında bir fikir elde etmişlerdir. Böylece, darbe içermeyen yakın fay yer hareketleri etkisinde 0,3 saniye ve 1,5 saniye hakim periyoda sahip olan çerçeve tipi yapıların sismik davranışlarını gözleyebilmişlerdir. Bu söz konusu yöntemin mevcut yapıların sismik davranışlarının incelenmesinde ve inşa edilecek yeni yapıların tasarlanmasında yararlı olduğunu belirtmişlerdir.

Mollaioli ve diğ. (2006), yakın fay yer hareketlerinin darbe etkisini yapılar üzerindeki hasarlarının belirlenmesini araştırmışlardır. Yapının üzerinde aktarılan enerjinin kısa süreçte

etkisini belirtmişlerdir. Bu amaçla bir sistemin tek serbestlik derecesine sahip esnek ve esnek olmayan sistemin analizlerini yapmışlardır. Yakın fayın darbe periyodunun uzunluğuna bağlı olarak bulunan yönetmeliklerle kıyaslandığında inceledikleri yapısal sistemlerinin büyük deplasman ve enerji yutma gibi sismik reaksiyonlara neden olduğunu bulmuşlardır.

Umut ve Hasgür (2007), 6 açıklıktan oluşan izolatörlü betonarme köprüdeki depremlerin etkilerinin ve 5 kattan oluşan betonarme bir binanın yakınında bir fay etkisinin araştırılmasını incelemişlerdir. Binayı mevcut şekli, kauçuk izolatörlü, viskoz sönümleyicili ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün viskoz sönümleyiciler ve kurşun çekirdekli ile birlikte kullanıldığı dört durum için analiz edilmiştir. Yer değiştirme ve hız değerleri, yakın fayın etkisini arttırırken, viskoz sönümleyicilerin önemli ölçüde azaltılmış etkilere sahip olduğunu göstermiştir.

Buddaram ve Dicleli (2007), yakın fay bir yönelimin etkisi altında sismik izolasyonlu köprüler tasarlamak ve değerlendirmek amacıyla zaman tanım alanında karşılaştırmalı doğrusal ve doğrusal olmayan analizler gerçekleştirmişlerdir. Eşdeğer doğrusal analizin sonuçlarının fayın yapılara olan mesafesi, faya yakın yer hareketlerinin büyüklüğü ve izolatörün akma kuvvetine bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir. Netice olarak, faya yakın alanlarındaki köprülerin ön tasarımında eşdeğer doğrusal analiz kullanılması gerekli olduğunu, fakat son tasarımda üç boyutlu zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmasının daha uygun olacağını önermişlerdir.

Adanur ve diğ. (2012), Fatih Sultan Mehmet ve Boğaziçi asma türü köprülerinin uzak ve yakın fay yer hareketlerinin etkisi altında doğrusal olmayan, dinamik analizini yapmışlardır. Sonlu elemanlar metodu ile köprü deplasmanı ve kesit etkilerini hesaplamışlardır. Köprü sistemlerinde yakın fay etkisinin daha etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ronagh ve Mortezaei (2013), betonarme kolonların, uzak ve yakın fay yer hareketleri etkisindeki plastik mafsallık uzunluklarını ve doğrusal olmayan davranışlarını araştırmışlardır. Zaman tanım alanında 1316 adet esnek olmayan analiz yapmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel verilere göre yakın fay yer hareketlerinin betonarme kolonları için plastik mafsallık uzunluklarının kısa olduğunu belirtmişlerdir.

Ling-kun ve diğ. (2014), darbe etkili faya yakın yer hareketleri altında yüksek hızlı demiryolu köprüsünün doğrusal olmayan analizlerini yapmışlardır. En yüksek sismik deplasmanının, normal deprem kayıtlara kıyasla köprünün kirişleri ve ayaklarında meydana geldiği sonucuna varmışlardır.

Sevim ve diğ. (2016), uzak ve yakın fay yer hareketlerinin etkisi altında tarihsel kemer köprülerinin sismik tepkilerinin sayısal ve deneysel olarak incelenmesini yapmışlardır. Yakın fay yer hareketlerinin etkisi altında daha fazla deplasman ve basıncın meydana geldiği kemerli köprünün daha yüksek bir enerjiye maruz kaldığını belirtmişlerdir.

Soyluk ve Karaca (2017), yakın ve uzak fay yer hareketlerinin tamamen farklı olduğunu belirtmişlerdir. Northridge 1994, Kobe 1995, Kocaeli 1999 ve Chi-Chi 1999 depremlerinde faya yakın bölgesinde kaydedilen yer hareketlerinin ilk aşamasında yapısal sistemlerin yüksek enerjili iletimini sağlayan darbe tipinin özelliklerini göstermişlerdir. Bu sebeple, özel olarak büyük açıklıklı yapılar için faya yakın alanlarındaki yer hareketlerinin dikkate alınması gerekli olduğunu belirtmişlerdir.

Soyluk ve Karaca (2017), kablolu köprülerin sismik davranışlarını uzak ve yakın yer hareketlerinin etkisi altında incelemişlerdir. Faya yakın yer hareketini darbeli ve darbesiz şeklinde sınıflandırmış, darbe etkili yer hareketinin yapıların sismik davranışını büyük ölçüde etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Yılmaz (2018), faya yakın yer hareketi karakteristiklerinden darbe ve sıçrama etkilerini içeren yapay ve gerçek deprem kayıtlarının kıyaslayan dinamik analizler yapılmıştır. Yakın fay yer hareketlerinin özellik karakteristiklerinden uzun periyotlu büyük genlikli ve deprem sırasında yakın fay alanlarında statik yer değiştirmeye sebep olan sıçrama tesirlerinin uzun vadeli çelik bir köprüde çok yıkıcı tesirler meydana getirebileceğini gözlemlenmiştir.

Altunisik ve diğ. (2019), uzun dönemli yakın fay yer hareketlerinin beton ağırlık barajlarının yapısal performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, beton ağırlık barajlarının Euler su modelleme yaklaşımı kullanılarak yakın ve uzak fay yer hareketleri altında yapısal performansının belirlenmesi amaçlamışlardır. Analizlerin sonucunda, yerdeğiştirmelerin barajın yüksekliği boyunca arttığını göstermişlerdir.

1.4. Yer Hareketlerinin Seçilmesi

Darbe etkisi faya yakın yer hareketlerinin en önemli ayırdedici özelliğidir. Yakın fay yer hareketi, ilk aşamasında yüksek darbe karakteristikleri gösterir ve darbe periyodu genellikle 2-3 saniyeden fazladır. Bu çalışmada, son zamanlarda kaydedilen yer hareketlerinden Tabas (1978), Imperial Valley-06 (1979), Irpinia (1980), Landers (1992), Erzincan (1992), Northridge-01 (1994), Kobe (1995), Dinar (1995), Düzce (1999), Chi-Chi (1999) ve Kocaeli (1999) depremleri dikkate alınmıştır. Bu yer hareketlerinin faya yakın

ve uzak fay yer hareketlerinin karakteristiklerini göstermektedir. Deprem kayıt istasyonunun faya olan mesafesi 10 km'den küçük ve en büyük hız en büyük ivmesine oranı (PGV/PGA) 0,1 saniyeden büyük yer hareketleri bu çalışmada faya yakın yer hareketleri olarak tanımlanmıştır.



Tablo 1. Seçilmiş deprem kayıtlarının karakteristikleri

	Deprem	Kayıt	Yer Hareketi	RSN	Yıl	Mw	d (km)	Vs30 (m/sec)	PGV (cm/sn)	PGA (g)	PGV/PGA (sn)	Tp(s)
1	Chi-Chi, Taiwan	CHY006	Yakın Fay	1182	1999	7.62	9.76	438.19	42.31	0.3587	0.118	2.570
2	Dinar, Turkey	Dinar	Yakın Fay	1141	1995	6.4	0	219.75	45.311	0.3263	0.139	4.20
3	Duzce, Turkey	Duzce	Yakın Fay	1605	1999	7.14	6.58	281.86	84.094	0.515	0.163	6.310
4	Erzincan, Turkey	Erzincan	Yakın Fay	821	1992	6.69	4.38	352.05	107.1	0.3867	0.277	3.560
5	Imperial Valley-06	El Centro - Meloland Geot. Array	Yakın Fay	171	1979	6.53	0.07	264.57	92.606	0.2976	0.311	4.85
6	Kobe, Japan	Takarazuka	Yakın Fay	1119	1995	6.9	0.27	312	86.26	0.6139	0.141	2.249
7	Kocaeli, Turkey	Yarimca	Yakın Fay	1176	1999	7.51	4.83	297	71.88	0.3218	0.223	9.877
8	Landers	Lucerne	Yakın Fay	879	1992	7.28	2.19	1369	133.472	0.7252	0.184	5.124
9	Northridge-01	L.A Dam	Yakın Fay	1013	1994	6.69	5.92	628.99	74.829	0.4263	0.176	3.208
10	Tabas Iran	Tabas	Yakın Fay	143	1978	7.35	1.79	766.77	123.3	0.8618	0.143	7.885
11	Irpinia, Italy-01	Bagnoli Irpinio	Yakın Fay	285	1980	6.9	8.18	649.67	34.716	0.190	0.183	2.228
12	Chi-Chi, Taiwan	HWA032	Uzak Fay	1281	1999	7.62	47.31	573.04	8.205	0.153	0.055	1.685
13	Duzce, Turkey	Bolu	Uzak Fay	1602	1999	7.14	12.04	293.57	55.947	0.739	0.080	1.315
14	Kobe, Japan	Chihaya	Uzak Fay	1102	1995	6.9	49.91	609.0	5.33608	0.092	0.060	0.830

1.5. Yakın Fay

1.5.1. Yakın Fay Yer Hareketinin Genel Özellikleri

Son zamanlarda meydana gelen büyük depremlerde büyük hasara neden olan faya yakın yer hareketleri tipik olarak fay normal yönünde güçlü bir hız darbesi içermektedir. İleri kopma yönü, kopma yönünün kesme dalgasıyla aynı hızda yayılması nedeniyle oluşmaktadır. Ölçülen kayıtlar ve analitik çalışmalar, ileri yönün, fayının farklı kısımlarından yayılan S dalgalarının süperpozisyonu nedeniyle nispeten uzun süreli ($T > 0.5$ sn) yapılarda yüksek hızlı dürtüsel titreşime yol açtığını göstermiştir. Ancak kopma yönünün arkasında, kopma fayının farklı kısımlarından gelen dalgaların varış süreleri farklıdır ve bu nedenle daha küçük genliklere ve daha uzun süreye sahip daha dağıtılmış bir hız geçmişi ölçülmektedir.

Faya yakın yer hareketleri genellikle kalıcı yer değiştirmeleri de içerir. Bu yer değiştirmelere, depremin meydana geldiği fayının her iki ucunun bağlı hareketi neden olur. Bu yer değiştirmeler, yüzey kopması olan bir fay boyunca süresizdir ve bir fayı geçen bir köprüyü önemli diferansiyel yer değiştirmeler meydana gelebilir. Bu statik yer değiştirmeler, büyük dinamik hareketlerin meydana geldiği yaklaşık olarak aynı zamanda meydana gelir. Bu da statik ve dinamik yer değiştirmelerin eş zamanlı yükler olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

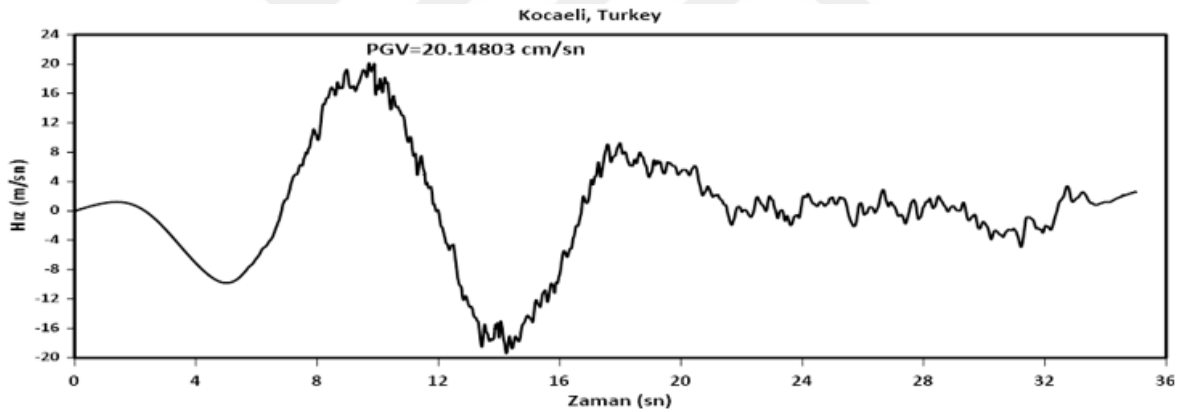
Bir deprem sırasında fay düzgün ve bir defada kırılmaz, parçalara ayrılır. Kırılan daha büyük parçanın tesiri, yakın bölgedeki yer hareketlerinde bir hızlanma darbesi olarak ortaya çıkmaktadır. Depremin büyüklüğü arttıkça fayın kırık parçalarının magnitudü artar, dolayısıyla yaydığı sismik enerji artıp yakın bölge yer hareketlerinde daha uzun bir hızlanma darbesi üretmektedir.

Faya yakın yer hareketleri uzak alan yer hareketlerinden daha karmaşık ve daha değişken olma eğilimindedir. PGV / PGA oranı, yer hareketinin frekans içeriği özelliğini bir dereceye kadar yansıtabilmektedir. Yer hareketi bir hız darbesi içeriyorsa, PGV / PGA oranı daha büyüktür ve karakteristik süresi daha uzundur. Yer hareketi darbeleri olmayan bir tipse, PGV / PGA oranı genellikle küçüktür. Yer hareketinin elastik ivme spektrumunun karakteristik periyodu (veya geçiş periyodu) frekans özelliğini yansıtır ve yapısal sismik tasarım için önemli bir spektral parametredir (Güneş, N., 2009).

Yer hareketlerinin özellikleri kopma yönü gibi uzak kayıtlardan oldukça farklıdır. Fay kopması yakınındaki yerlerden gelen yer hareketi kayıtları, şiddetli bir hız darbesi ile uzak fay kayıtlarından ayırt edilebilmektedir. Şiddetli yapısal hasara yol açabilen bu uzun süreli darbe, kırılma faydan yayılan enerjinin çoğunun, depremin başlangıcında kısa bir süre içinde yapıya uygulanmasına neden olmaktadır.

Bu özellikle yön etkisi veya fırlatma aşaması olarak atfedilebilmektedir. Yer hareketinin doğal fay bileşenindeki bir dalga, yön etkisi, kopma, kayma dalgası hızına yakın bir hızda bir bölgeye doğru yayıldığında ve konumun fay kopması ile hizalandığı zaman meydana gelmektedir. Fırlatma adımı, hem fay normal hem de fay paralel bileşenlerinde tektonik yer hareketinden kaynaklanan önemli bir kalıcı yer değiştirme ile üretilmektedir.

Şekil 1, Kaydedilen yer hareketinin hız - zaman grafiğini göstermektedir. Yakın fay bölgesinin genellikle fay düzleminin yüzey projeksiyonundan yaklaşık 10 km uzaklıkta varsayılmaktadır.



Şekil 1. 19 Ağustos 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu kuzey – güney bileşeni hız – zaman grafiği

Depremin kaynağına yakın alanlarda meydana gelen faya yakın yer hareketleri, bu hareketin yapılara olan etkisi, yakın fayın tesiri olarak tanımlanmaktadır. Northridge (1995) ve Kobe (1995) depremlerinden sonra, 10 km'ye kadar olan yakın alanlarda bulunan yapıların, faydan uzak alanlarında bulunan yapılardan daha fazla hasar gördüğü, böylece yakın fayın araştırmaları hızlandırılmıştır. Sismometrelerden alınan kayıtlar incelendiğinde, faya yakın bulunan sismik kayıtlarının faya uzak olan sismik kayıtlarından tamamen farklı özelliklere sahip olduğu açıklanmıştır. Deprem esnasında kırık fay iki tip titreşim yaratır; yön titreşimi ve sıçrama titreşimi. Faya paralel olan ve sürekli deplasmanlara neden olan

titreşimlere sıçrama titreşimleri denirken, Faya dikey olan ve önemli hız değişimleri yaratan titreşimlere yön titreşimleri de denmektedir.

1.5.2. Yakın Fay Tanımı

Genellikle, fay yakınındaki alan faydan yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan bir alan olarak tanımlanmaktadır. Faya yakın yer hareketlerinin kayıtları, fay kopmasından daha uzak bir mesafeden kaydedilenlerden oldukça farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bu yer hareketleri bazen hız zaman geçmişinin başlangıcında büyük bir titreşim içerir ve ve sismik kaynağa yakın olan özellikle yapılara zarar verebilmektedir. Alanın yayılma fayının yönüne göre geometrik oluşturması, faya yakın yer hareketlerinin ayırt edici özelliklerine katkıda bulunmaktadır. Bir fay kopması, kesme dalgasının hızına neredeyse eşit bir hızla sahaya yayıldığında, fay normal yönünde büyük bir genliğe ve kısa süreye sahip bir hız darbesine neden olabilmektedir.

Deprem meydana geldiğinde, levhaların zayıf olduğu yerlerde fay olarak adlandırılan kırılmalar oluşmaktadır. Fay hatları olan bölgelerde, deprem dalgaları yüzeye ulaştığında yapılar titreşmeye başlamaktadır. Yapılar için depremin kaynağı olan fayın yapılara yakın veya uzak olması son derece önemlidir. Deprem dalgalarının enerjisi yüzeye doğru ilerledikçe azalmaktadır. Bir depremin faydan uzak noktalarda sarsıntısı ve birbirine yakın noktalarda sarsıntısı normaldir.

Araştırmacılar, Northridge (1994) depreminden sonra faya yakın yapıların fayın dışındaki yapılara kıyasla çok büyük ve tamamen farklı bir etkiye uğradıklarını gözlemiştir. Faylara yakın istasyonlardan edinilen ivmeölçerlerden edinilen sonuçlar hız ve deplasman spektrumlarının faylardan çok uzak olanlardan tamamen farklılaştığını, yakın fay tesiri hakkında daha kapsamlı araştırmalar yapıldığını göstermiştir.

Yakın fayın etkisi altındaki yapıların çeşitli nitelikte deprem kuvvetlerine maruz kalması yapılar tasarımı üzerinde çeşitli bir perspektife sebep olmuştur. Aynı şey, var olan yapılar için hem geçerli olup, güçlendirme ve onarım konularında hem araştırmacıları tedbir almaya zorunda bırakmıştır (Kızılpınar, 2018).

1.5.3. Yapıların Yakın Fay Yer Hareketlerine Tepkisi

Yakın alan bölgesinde bulunan binalar, faya yakın yer hareketlerinin ayırt edici özelliklerinden dolayı sismik çökme riski daha yüksek olabilmektedir. Konumdan kaynağa geometrisine bağlı olarak, ileri yönlülükten kaynaklanan büyük sismik enerji darbeleri binalar için çok yıkıcı olabilmektedir. İleri yönlülüğün bir sonucu olarak geçmiş depremlerden kaynaklanan kapsamlı yapısal hasarlara ilişkin birkaç örnek tanımlanmıştır. San Fernando depreminde (1971) ağır hasar gören Olive View Hastanesi'nin iyi bilinen hikayesi, deprem mühendislerin binanın çökmesini yakın fay yönünün etkilerine bağladığı ilk sismik olaydır (Chopra, 2001). Northridge (1994), Kobe (1995), Chi-Chi (1999) ve diğerleri gibi daha yakın zamanda depremler sırasında meydana gelen önemli yıkım, aynı zamanda faya yakın yer hareketlerinin nabız benzeri özelliklerine atfedilmiştir. Sonuç olarak, bu tür yer hareketleri daha fazla ilgi görmeye başlamış ve yakın alandaki yapısal tepki davranışını daha iyi anlamak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

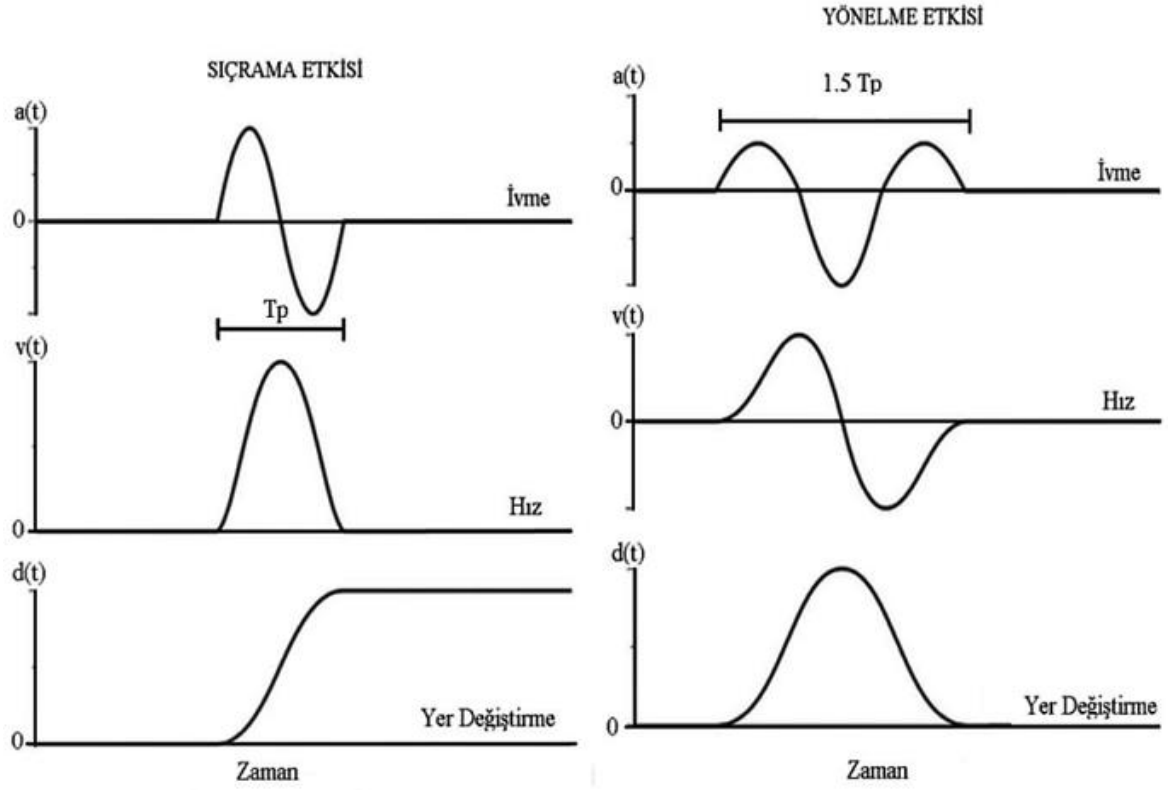
Faya yakın deprem kayıtları yüksek frekanslar açısından zengindir. Çünkü sismik dalgaların kısa hareket mesafesi, yüksek frekans içeriğinin sönümlenmesi için yeterli zaman tanımayacaktır. Ayrıca, ileri yön bölgesinde yakın fay deprem kayıtları uzun süreli büyük genlik hız darbesi içerebilmektedir. Bu özellikler hem yüksek frekanslı hem de uzun dönemli yapıların tepkisini ve tasarımını etkiler. Faya yakın deprem yer hareketi karakteristiklerinin uzak alandaki kayıtlardan farklı olduğu kabul edilmektedir. Fay normal bileşeni, aynı kayıt istasyonundaki fay paralel bileşeninden daha yüksek pik yer ivmesine sahiptir. İleri yön bölgesinde, hız kaydı uzun süreli darbe tipi hareket ile karakterizedir. Bu darbe tipi hareketin tepki üzerindeki etkisi, faya yakın olaylar için yapıların tasarımında önemlidir (Ghobarah, 2004).

1.5.4. Yakın Böle Yer Hareketi

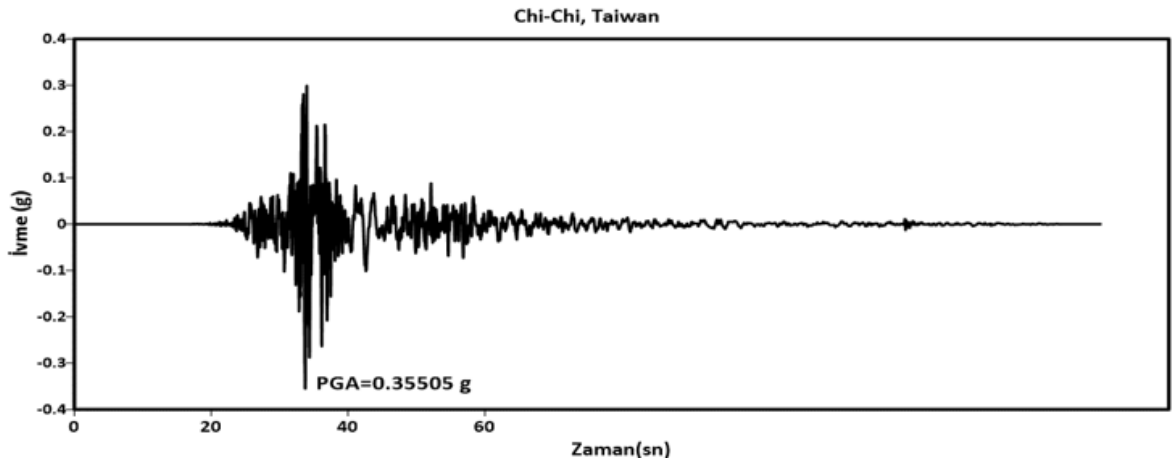
Yakın fayın hareketleri deprem kayıtlarının ölçüldüğü yerin faya olan mesafesinden ve fayın kırılan yönünden etkilenen, güçlü yer hareketidir. Yakın fay bölgelerdeki güçlü yer hareketleri fayının mekanizmasından ve fayın kopma yönünden büyük ölçüde etkilenmektedir. Uzak fay yer hareketleri ile karşılaştırıldığında, faya yakın kayıtlar, daha yaygın sismik kayıtlardan birkaç önemli açıdan farklıdır. İleri yön koşulları yerine getirilirse, kayıt periyodu daha kısa olacak, frekans içeriği daha yüksek olacak ve sismik enerjinin

çoğunluğu büyük bir hız darbesi verilecektir. Faya yakın hız darbesine benzeyen yer hareketleri yapılarda şiddetli hasar potansiyeline sahiptir. İleri kopma bölgelerindeki yer hareketi, fay normal yönünde uzun vadeli büyük darbelerle karakterizedir. Fay kopmanın ters yönündeki bölgeler veya geriye doğru bölgeler, kopma yayılma yönünde yer hareketinin normal fay bileşeninden daha uzun süreli daha düşük genlik darbeleri vardır. Uzak fay bölgesindeki yer hareketinin farklılığı, faya olan mesafe, yola ve yerel konum etkilerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, faya yakın bölgede yer hareketinin farklılığı yön etkisi, fayının türü, fayın yönü ve fay üzerinde kayma yönü ile ilişkilendirilir. Kaydedilen deprem genellikle depremin merkezine 10 km'den daha kısa bir mesafede faya yakın bir yer hareketi olarak tanımlanır. Kayıt istasyonu ile deprem merkez üssü arasında kısa bir mesafe olmasına rağmen, faya yakın kayıtlarda temsil edilmesi gerekli değildir, ancak fay kırığı yerine istasyon konumu önemlidir (Ardebili, 2012).

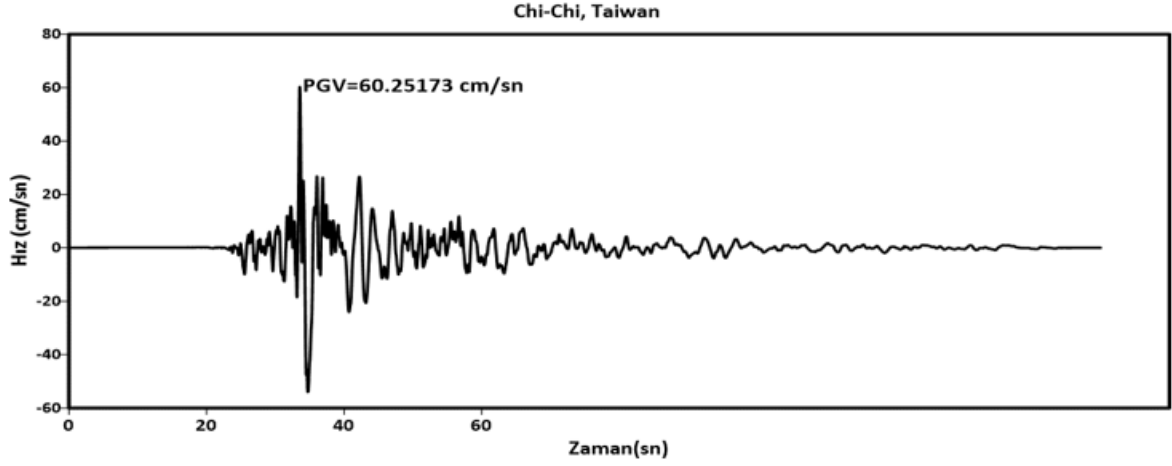
Yakın fayın alanı olarak belirtilen bölge, kırık faya 20-60 km mesafedeki alan olarak tarif edilebilir. Bu alanda meydana gelen deprem kayıtları, uzak noktalarda meydana gelen kayıtlardan tamamen farklı karakteristikler göstermektedir. Fayın tektonik özellikleri, kırılma mekanizması ve fay kırılmanın yayılma hızına göre faya yakın yer hareketlerinde “sıçrama tesiri” ve “yön tesiri” olarak adlandırılan faya yakın özellik karakteristikleri ortaya çıkmaktadır. Bu özellikler büyük enerji emilim ve süreklilik gerektiren, yakın fay alanındaki yapılarda üzerinde dikkate alınmalıdır (Steawart ve diğerleri, 2001). Faya yakın kayıtlarında yön ve sıçrama tesiri, genellikle deprem kayıtlarının şeklinden anlaşılabilir. Farklı özellik karakteristiğe sahip yön ve sıçrama tesirleri farklı şekillerde kendini göstermektedir. Genel olarak, yön etkisi ivme-zaman kaydında açık bir biçimde gözlenmemektedir. Bununla birlikte, PGV değerleri içeren hız-zaman kayıtları başlangıcında uzak fayları kaydına kıyasla çok daha büyüktür. Buna ek olarak hız-zaman kaydının başlangıcında açık olarak ani darbe tesiri ortaya çıkmaktadır (Bray ve Marek-Rodriguez, 2004). Söz konusu yön tesiri deprem esnasında kırılma faydan kayma dalgaları hızı ve meydana çıkılan sismik enerjilerinin birikimli tesiri ile meydana gelmektedir. İleri yönün tesiri olarak açıklanan bu olayın faya dik yönde büyük genlik darbe tesirine ve sonuç olarak, dikey bileşenin maksimum hızı paralel bileşenin maksimum hızından daha büyüktür (Somerville ve diğerleri, 1997).



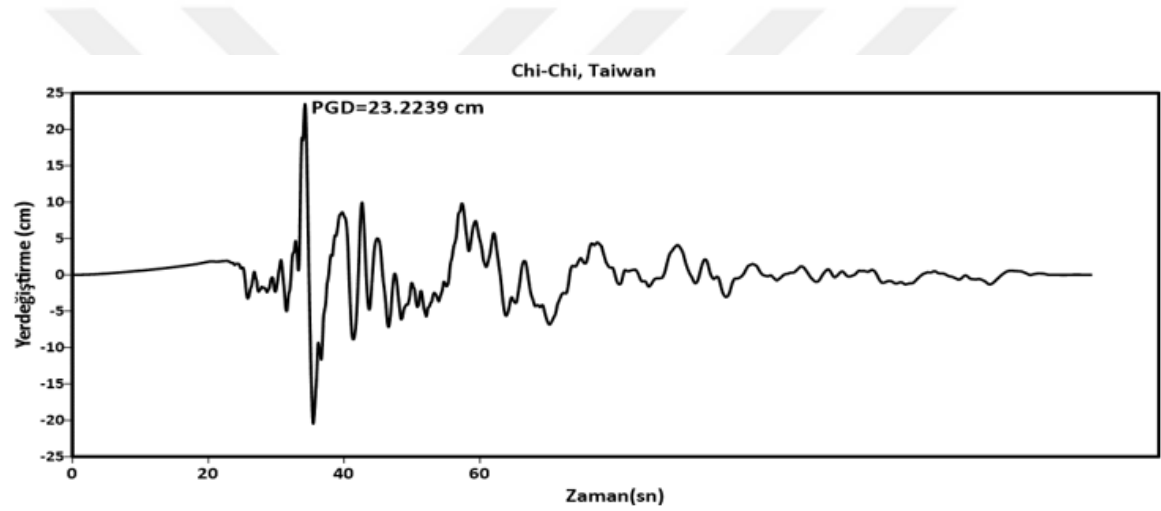
Şekil 2. Yön ve sıçrama tesirlerinin ivme, hız ve yer değiştirme-zaman grafiklerindeki şematik gösterimi (Kalkan ve Kunnath, 2006)



Şekil 3. CHY006 istasyonu doğu-batı ivme-zaman kaydı

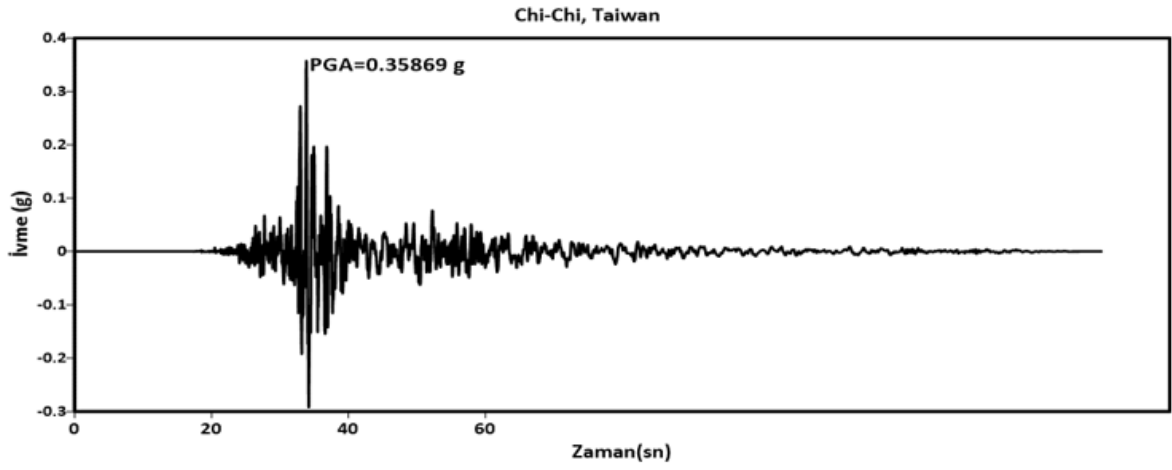


Şekil 4. CHY006 istasyonu doğu-batı hız-zaman kaydı

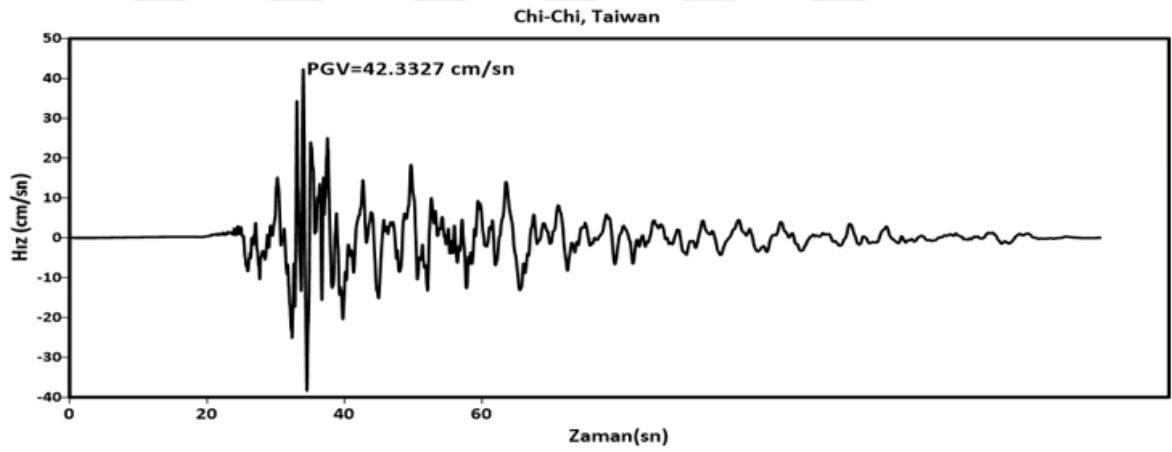


Şekil 5. CHY006 istasyonu doğu-batı yer değiştirme-zaman kaydı

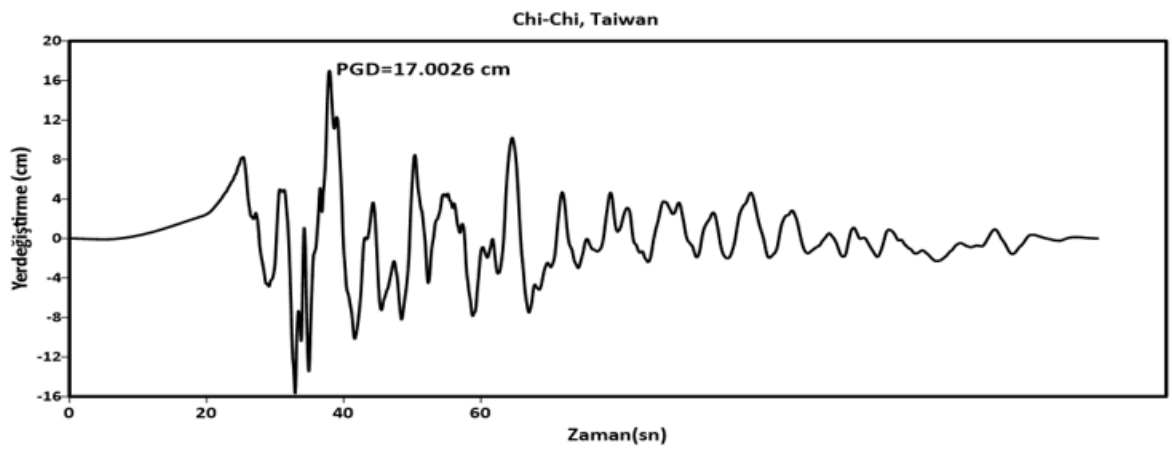
Şekil 3, 4, ve 5'te gösterildiği gibi CHY006 istasyonu doğu-batı yönü hız-zaman faya yakın yer hareketleri kaydında darbe tesiri açık olarak görülmektedir. Faya yakın yer hareketlerinin önemli karakteristiklerinden başkası de sığrama tesiri olarak açıklanan kalıcı deplasmanlara neden olan tesirdir. Kırılan fayın kenarlarının depremden sonra ilk konumlarına bağlı olarak farklı noktalara ulaşmalarından kaynaklanan sığrama tesiri, kalıcı deplasmanlara sebep olarak göstermektedir. Söz konusu daimi deplasmanlar, yapılarının üzerinde büyük deplasman talepleri hatta sismik hasarlarına sebep olmaktadır. Yön tesiri ile meydana gelen darbe fayın kırık yönüne dikey yönde ve sığrama tesiri ile meydana gelen daimi deplasmanlar ise fayın kırık mekanizmasına göre fayın kırık yönüne paralel veya dikey olmaktadır (Park ve diğ., 2004).



Şekil 6. CHY006 istasyonu kuzey-güney ivme-zaman kaydı



Şekil 7. CHY006 istasyonu kuzey-güney hız-zaman kaydı



Şekil 8. CHY006 istasyonu kuzey-güney yer değiştirme-zaman kaydı

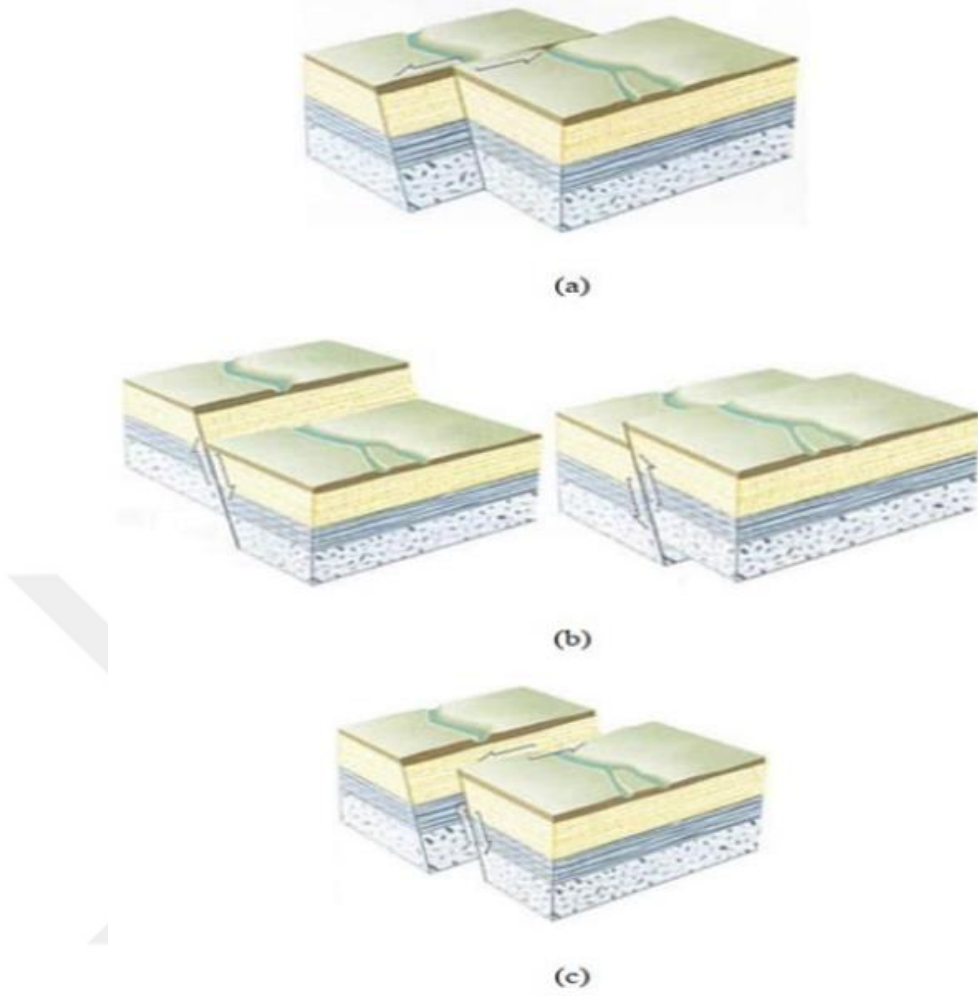
Şekil 6-8’de CHY006 istasyonu deprem kaydına ait ivme, hız ve yerdeğiştirme grafikleri görülmektedir. Bu deprem kaydı darbe etkili olup yerdeğiştirme grafiğinde sıçrama etkisi açık bir şekilde görülmektedir.

1.5.5. Fayın Kırılma Mekanizması

Faya yakın yer hareketi, en önemli karakteristikleri olan “Sıçrama Tesiri” ve “Yön Tesiri” ile belirlenen bilmektedir. İleri teknoloji ile faya yakın tesiri altında ortaya çıkan kayıtlarda “Sıçrama Tesiri” olarak açıklanan statik deplasmanlara, deplasman-zaman kayıtları olan belirlenmektedir. Fay mekanizmaları bakımından yön atımlı ve eğim atımlı fayların davranışları incelendiğinde, doğrultu tesirinin ve sıçrama tesirinin fay mekanizmasına göre farklı yönlerde etkilediği bilinmektedir. Doğrultu atımlı mekanizmaya sahip olan bir fayda, yön tesiri fayın natürel bileşeni yönünde başka bir ifadeyle faya dikey yönde ilerlerken, sıçrama tesiri faya dikey başka bir ifadeyle faya paralel yönde ilerlemektedir. Doğrultu atımlı fay mekanizmasının aksine, eğim atımlı mekanizmaya olan bir fayda, sıçrama tesiri ile yön tesiri birlikte faya dikey görünmektedir (Stewart ve diğerleri, 2001). Şekil 9’da doğrultu atımlı fay mekanizmaları, eğim atımlı fay mekanizmaları ve oblik atımlı fay mekanizmaları gösterilmektedir. Doğrultu atımlı fay mekanizmalarında darbe kapsayan ileri yön tesiri faya dikey yönde yayılmaktadır. Bu fay mekanizmasında sabit deplasmanlar faya paralel yönde meydana gelmektedir. Eğim atımlı fay mekanizmaları şekil üzerinde incelendiğinde, ileri yön tesirinin yine faya dikey yönde yayıldığı, bununla birlikte, sıçrama tesirinin zemin kesitinden görülebileceği gibi, fayının hem yatay hem de dikey bileşenlerinde gözlemlenmektedir (Somerville, 2002).

Tablo 2. Fay mekanizmalarına göre yakın fay etkileri

Fay Mekanizması	Yön Tesiri	Sıçrama Tesiri
Doğrultu Atımlı Fay	Faya Dikey	Faya Paralel
Eğim Atımlı Fay	Faya Dikey	Faya Dikey
Oblik Atımlı Fay	Faya Dikey	Faya Dikey ve Paralel



Şekil 9. Fay mekanizmaları (a) doğrultu atımlı fay, (b) eğim atımlı fay, (c) oblik atımlı fay (<http://tag.eng.ankara.edu.tr/deprem.htm>)

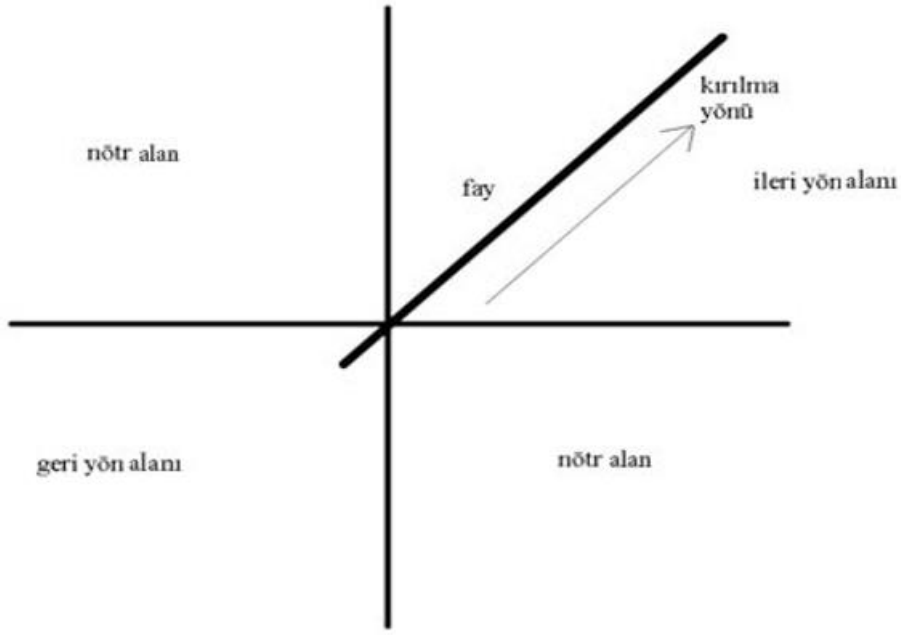
İleri yön tesiri, kırık ve kayma yönelmelerinin çakıştığı yönde oluşmaktadır. O derece ki, kırık sırasında kırılan fay kısmının hareketi ile kayan dalgalarının yayılma yönelmelerinin birbirine geçmesi ile ileri yön tesiri belli olmaktadır (Stewart ve diğerleri, 2001). İleri yön tesiri genellikle fay yönüne dikey olarak 2-3 saniyelik süreyle yıkıcı vuruşlar olarak görülmektedir. Bu durum, yer kayma dalgası hızlarının faydaki kırık hızları ile yaklaşmasına bağlı olarak oluşturmaktadır (Hasgür ve Umut, 2007). Sıçrama tesirinin neden olduğu darbeler ile yön tesirinin neden olduğu darbe birbirinden farklı olmaktadır. Kalıcı deplasmanlara sebep olan sıçrama tesiri tek yön hızın darbeleri ve sabit deplasmanlar ile meydana gelmektedir, ancak yön tesirinin sebep olduğu darbe iki yönlü, kalıcı deplasmanlara sebep olmayan yer hareketi ve dinamik özelliği olarak gözlenmektedir (Bray ve Marek-Rodriguez, 2004).

1.5.5.1. Yön Etkisi

Deprem mühendisliğinde esas ilke yapıya etkileyen kritik deprem tesirlerinin bilinmesidir. Daha önceki deneyimler, fayın yakınındaki yer hareketlerinin yön tesirinin yüksek düzeyde enerji sahibi olduğunu ve sözü edilen enerjinin yapılarda ciddi bir hasara sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır(Alavi ve Krawinkler, 2001). Faya yakın yer hareketlerinin önemli parametresinden biri olan yön tesiri büyük bir hız darbeleri kapsamaktadır. Bu darbe tesirleri deplasman-zaman ve ivme-zaman kayıtlarında gözlenebilir, ancak yüksek enerji yüksek hızı ifade ettiğinden hız-zaman kaydının ciddi hasarların meydana gelmesi noktasında bir darbe kapsayıp kapsamaması önem sunmaktadır (Cox ve Ashford, 2002). Hız-zaman kaydında titreşimin büyüklüğü ile belirtilen darbeler yön tesirinin bir ölçüsüdür. Yön tesiri üç şekilde sınıflandırılmaktadır:

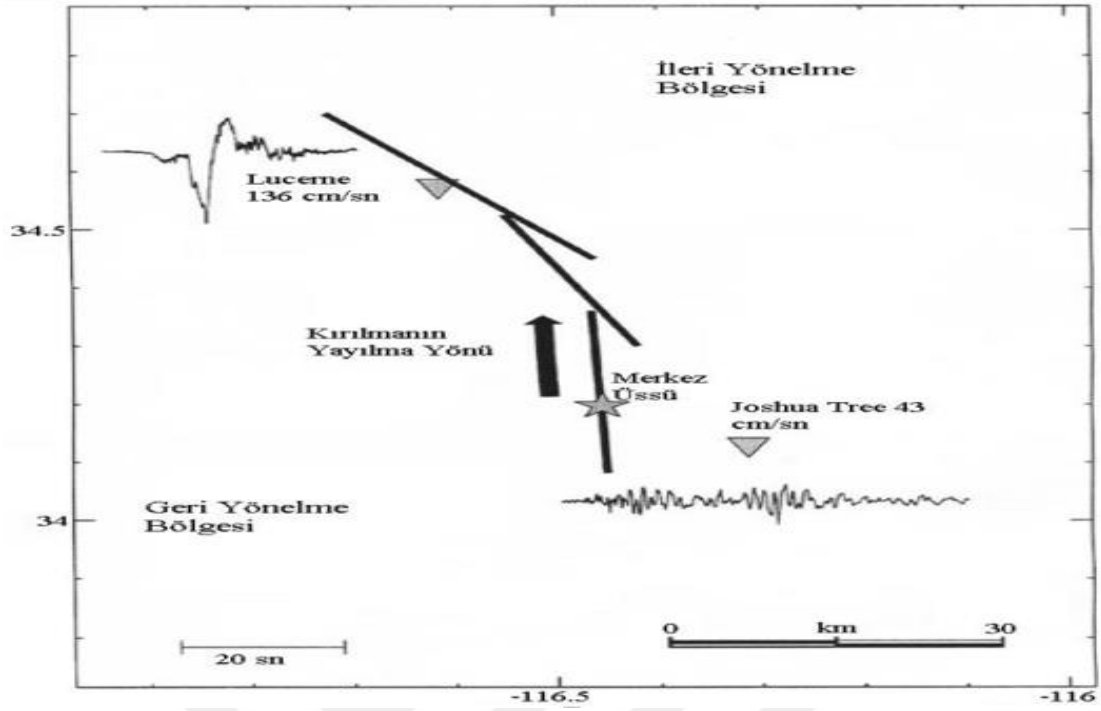
- İleri yön tesiri
- Geri yön tesiri
- Nötr titreşim

İleri yön tesiri, faya yakın yer hareketlerinin başladığı yeryüzüne ait kayma dalgaları hızının, faydaki kırık hızlarına yakın olmasıyla ortaya çıkmaktadır. Yer hareketleri kaydının başlangıcında, büyük bir titreşim hareketleri olarak görüldüğü dalga, kısa vadeli, orta ya da uzun vadeye sahip ama büyük genlik titreşim hareketleri olarak meydana gelmektedir (Hasgür ve Umut, 2007). Faya yakın yer hareketlerinin yön tesirinde oluşturduğu darbenin genel olarak ileri yön tesirinden oluştuğu gözlenmiştir. Doğrultu atımlı mekanizmayla gerçek olan bir depremde, deprem merkezinden yayınlanan enerji, fay yönünde ilerleyen kırılma boyunca, her kırık düzleminde depremin başında meydana gelen ve fay yönüne dikey şekilde yayılan darbenin tesiri ile meydana gelmektedir. Bu darbe hız-zaman kaydının başlangıçlarındaki ani değişikliklerle açık şekilde gözlemlenmektedir. Deprem kaydının sonunda doğru, kırığının yayılması ile geri yön tesiri meydana gelmektedir ve genel olarak genliği küçük bir yer hareketleri olarak gözlenmektedir (Stewart ve diğerleri, 2001). Dikey atımlı mekanizmayla gerçek olan bir depremde, ileri yön tesiri fay kırığının civarında meydana gelmektedir. Buradaki önemli noktalardan biri, kırık yönünün fay mekanizmasından bağımsız olarak belirlenememesidir (Gibson ve diğerleri, 2002). Yukarıda tanımlanan geri ve ileri yön tesirleri dışında kalan tesir ise fay kırılmasına dikey doğrultudaki bölgede keşfedilen nötr yön tesiri olarak gösterilmektedir (Somerville ve diğerleri, 1997). Bu durum şekil 10'da tanımlanmaktadır.



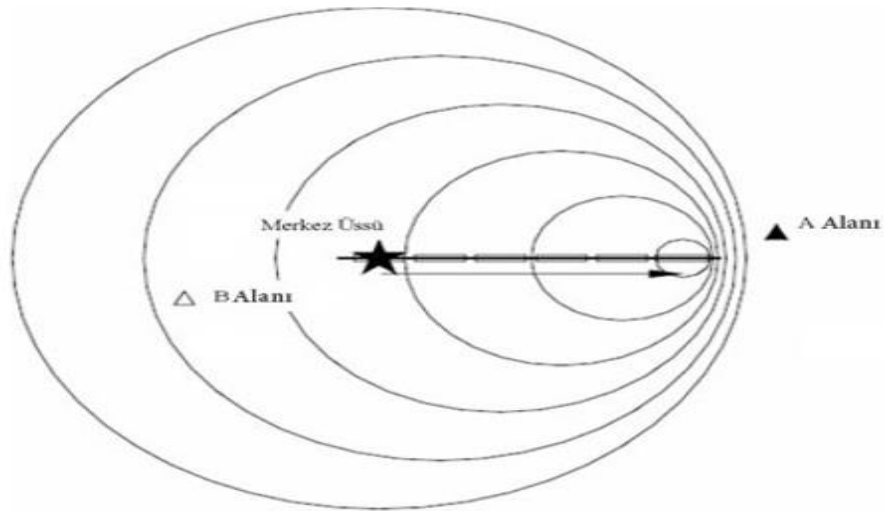
Şekil 10. Yakın fayın geri yön, ileri yön ve nötr darbe tanımı (Cox ve Ashford, 2002)

İleri yön tesiri genlik değerleri büyük, kısa vadeli yer hareketleri olarak meydana gelirken geri yön tesiri genlik değerleri düşük, uzun vadeli yer hareketleri olarak görülmektedir (Bray ve Marek-Rodriguez, 2004). Şekil 11’de Landers depremindeki değişik istasyonlardan elde edilen kayıtlarla ileri yön ve geri yön tesirleri açıkça gözlemlenmiştir. Lucerne istasyonu deprem sırasında ölçülen yüksek hız sebebiyle ileri yön bölgesidir, diğer taraftan Joshua Tree istasyonu ölçülen maksimum hız değerinin merkez noktasına yakın olduğu Lucerne istasyonuna kıyasla çok düşük olması sebebiyle geri yön bölgesi olarak açıklanmıştır (Somerville ve diğerleri, 1997). Abrahamson 1998 yılında geri ve ileri yön tesirlerini Şekil 12'deki sistem üzerinde anlatmıştır. Sözü edilen şekilde deprem merkezinin kaynağından meydana gelen fay “A” olarak açıklanan alana doğru yayılmaktadır. Yukarıda belirtildiği şekilde, kayma dalgası hızının fayın kırık hızına yakındır, bu da kısa süre periyodunda ileri yönün etkilemesi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 11. Landers Depremi'ne ait geri ve ileri yön bölgeleri (Somerville ve diğerleri, 1997)

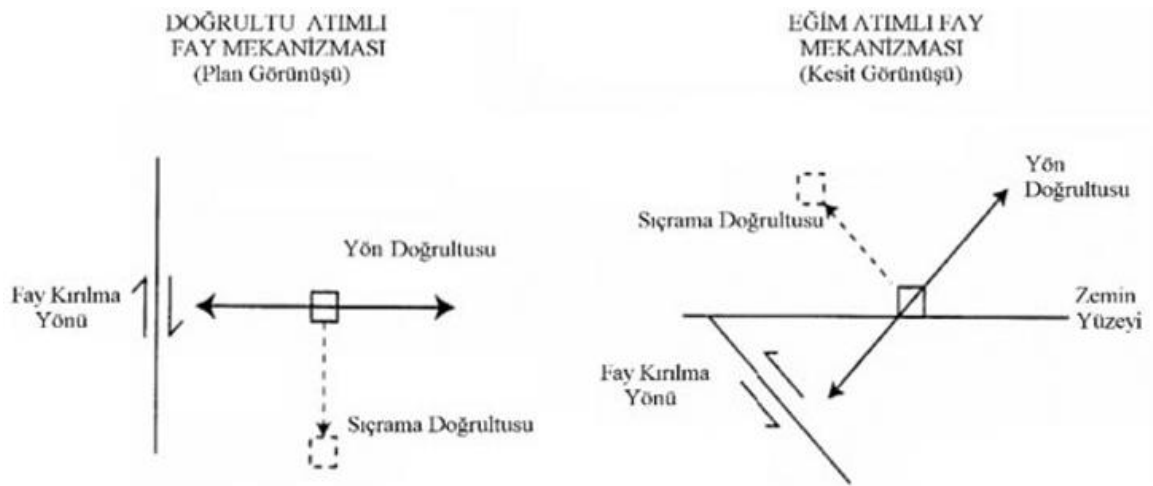
Şekil 12'den görülebileceği gibi, A alanında gözlenen kayıtlar, büyük bir genlik ve kısa bir periyot değerine sahipken B alanında gözlenen kayıtlar, dalgaların B alanına daha geç varması ile birlikte düşük bir genlik değeri ve uzun bir periyotlara sahiptir (Gibson ve diğerleri, 2002).



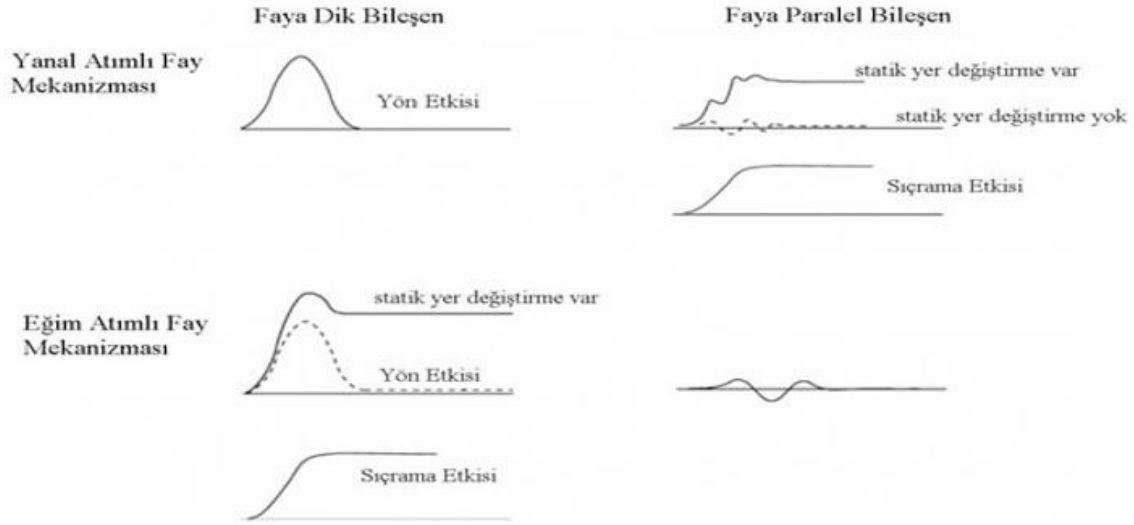
Şekil 12. Abrahamson tarafında önerilen yön tesiri modeli (Gibson ve diğerleri, 2002)

1.5.5.2. Sıçrama Etkisi

Faya yakın yer hareketlerinin en önemli karakteristiklerinden biri kalıcı deplasmanlara sebep olan sıçrama tesiridir. Başka bir deyişle, bir deprem esnasında fay mekanizması tarafından üretilen hızın genliği yüksek yer hareketi olarak ifade edilmektedir. Kalıcı deplasmanlar açısından dile getirilen sıçrama tesiri, kırık fay parçalarının hareketleri yönünde gerçekleşir, bu sebeple yön tesirinin gözlemlendiği yöne dikey yönde meydana gelmektedir. Sıçrama tesiri deplasman-zaman kayıtlarında açık açık kalıcı deplasmanlar şeklinde gözlemlenebildiği gibi ve hız-zaman kaydında da tek yönde olan hız titreşimi olarak ayırt edilebilir. Şekil 13 ve 14'te gösterildiği şekliyle faya yakın mekanizmalarında gerçekleşen yön ve sıçrama tesiri birbirine dikey yönlerde ortaya çıkmaktadır. Fayın mekanizmalarına bağlı olarak eğim atımlı faylarda yön ve sıçrama tesiri faya dikey, yön atımlı faylarda yön tesiri faya dikey, sıçrama tesiri da faya paralel olma şekilde ortaya çıkmaktadır (Stewart ve diğerleri, 2001). Sıçrama etkisinin birçok yapı üzerindeki bugüne kadar yeterince dikkate alınmadığı ancak yapılar üzerinde önemli tesirlere sebep olduğu tanınmaktadır. Chi-Chi (1999) ve son senelerde kaydedilen birkaç depremde faya yakın karakteristiklerinden kalıcı deplasmanların oldukça önemli olduğu göstermiştir. Birçok çalışmada belirtildiği gibi (Byerly ve DeNoyer 1958, Bonilla 1970, Bray 1994 ve Lazarte 1994) fay kırık merkezinden uzakta önem arz eden deplasmanlar gerçekleşebilmektedir. Başka bir ifadeyle, kalıcı deplasmanlar uzak fay noktalarında bulunan yapılar üzerinde ayrıca tesirli olabilmektedir (Stewart ve diğerleri, 2001).



Şekil 13. Yön ve eğim atımlı fayın mekanizmalarında yön ve sıçrama tesirleri (Stewart ve diğ., 2001)



Şekil 14. Eğilim ve doğrultu atımlı fayın mekanizmalarında yön ve sıçrama tesirleri (Hasgür ve Umut, 2007)

1.5.6. UBC–1997 Yönetmeliğine Göre Yakın Fay Tasarım Parametreleri

Birkaç araştırmacı kuralların öngördüğü deprem tasarım standartlarının San Fernando (1971), Northridge (1994), Kobe (1995) gibi önemli depremlerde yakın fayların önemli tesirlerinin yoksun olduğunu ve bunun soruşturması gereken bir sorun olduğunu deneyimlemiştir. Bu nedenle, ilk kez UBC–1997 yönetmeliğinde tasarımda kullanılmak üzere deprem parametrelerine faya yakın tesirleri eklenmiştir (Cox ve Ashford, 2002). Buna bağlı olarak UBC–1997 yönetmeliği faya yakın tesiri için, orta dönem (hız) N_v ve kısa dönem (ivme) N_a faktörlerini ihtiva etmektedir. Fayın türüne bağlı olarak, 15 km'den fazla olmayan mesafelerde üç farklı fay tipi için faya yakın faktörleri verilmiştir (Stewart ve diğerleri, 2001). Tablo 3-5 UBC 1997 yönetmeliğine ait faya yakın faktörlerini göstermektedir.

Tablo 3. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Kısa dönem faktörü N_a "

Sismik Kaynak Türü	Bilinen Sismik Kaynağa En Yakın Mesafe		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1,5	1,2	1,0
B	1,3	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0

Tablo 4. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Orta dönem faktörü N_V "

Sismik Kaynak Türü	Bilinen Sismik Kaynağa En Yakın Mesafe			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2,0	1,6	1,2	1,0
B	1,6	1,2	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

Tablo 5. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Sismik kaynak türleri"

Sismik Kaynak Türü	Sismik Kaynağın Tanımı	Sismik Kaynağın Tanımı	
		Maksimum Moment Büyüklüğü, M	Kesme Miktarı, SR (mm/yıl)
A	Büyük Boyutlu Deprem Üretebilen ve Yüksek Sismik Aktiviteye Sahip Faylar	$M \geq 7,0$	$SR \geq 5$
B	Tür A ve C Haricindeki Bütün Faylar	$M \leq 7,0$ $M < 7,0$ $M \leq 6,5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Büyük Boyutlu Deprem Üretemeyen ve Düşük Sismik Aktiviteye Sahip Faylar	$M < 6,5$	$SR \leq 2$

UBC–1997 yönetmeliği hükümleri, bir deprem kaynağına en yakın mesafenin, fay düzlemesinin yüzey projeksiyonu ile alan arasındaki minimum mesafe olduğunu şeklinde belirtilmiştir. 10 km'den daha derin yüzey projeksiyonunun kaynakları içermesine de gerek görülmemiştir (Uniform Building Code, 1997). Orta dönem hız ve kısa dönem ivme faktörlerine göre C_V , C_A sismik alan faktörleri bulunmaktadır. Ek olarak, UBC–1997 yönetmeliğinde dördüncü derece deprem alanına ait dizayn spektrumu değerleri, N_V ve N_A değerlerine göre büyütülmektedir. Aagaard, yakın fay tesirlerinin UBC–1997 yönetmeliğinde açıkça ifade edilen N_V ve N_A değerleri ile yeterli derecede doğru neticeler verdiğini ispatlamıştır (Erdik ve diğerleri, 2003).

Tablo 6. UBC–1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Sismik katsayı, C_A "

Yer Profil Türü	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	Z = 0,075	Z = 0,15	Z = 0,2	Z = 0,3	Z = 0,4
Sa	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 N_A
Sb	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 N_A

Tablo 6'nın devamı

Yer Profil Türü	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	Z = 0,075	Z = 0,15	Z = 0,2	Z = 0,3	Z = 0,4
Sc	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40 Na
Sd	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44 Na
Se	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36 Na
Sf	Bölgeye Özel Geoteknik Dinamik Davranış Analizi Yapılarak Bulunur				

Ancak, artırılmış spektrum tabanına dayanan dizaynın, gerçek faya yakın tesirlerinin karşılaşmasında yeterli olmadığı bakışını savunan Somerville, yerel zemin koşullarına, tasarım spektrumunun binanın faylara olan mesafesine ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak belirlenecek katsayılarla artırmasının daha uygun olacağını belirtmiştir (Gibson ve diğerleri, 2002).

Tablo 8'de yer inceleme etütleri neticesi belirlenen kesme dalgası hızına göre sınıflandırılan yer profilleri gösterilmektedir. UBC-1997 Yönetmeliği'nde sınıflandırılan yer profillerine bağlı olarak Tablo 6 ve 7'dan yer hareketlerinin deprem katsayıları belirlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan yer hareketlerinin yer profilleri, sözü edilen yer hareketlerinin kesme dalgası hızı PEER'dan alınarak Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 7. UBC-1997 Yönetmeliğine bağlı olarak "Sismik katsayı, C_v "

Yer Profil Türü	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	Z = 0,075	Z = 0,15	Z = 0,2	Z = 0,3	Z = 0,4
Sa	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 N _v
Sb	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 N _v
Sc	0,13	0,25	0,32	0,45	0,56 N _v
Sd	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64 N _v
Se	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96 N _v
Sf	Bölgeye Özel Geoteknik Dinamik Davranış Analizi Yapılarak Bulunur				

Tablo 8. UBC-1997 Yönetmeliğine bağlı olarak " Yer profil türleri"

Yer Profil Türü	Yer Profili	Kesme Dalgası Hızı, Vs (m/sn)
S _a	Sert Kaya	V _s > 1500
S _b	Kaya	760 < V _s < 1500
S _c	Çok Yoğun Yer ve Yumuşak Kaya	360 < V _s < 760

Tablo 8'in devamı

Yer Profil Türü	Yer Profili	Kesme Dalgası Hızı, Vs (m/sn)
S _d	Sert Yer	180 < Vs < 360
S _e	Yumuşak Yer	Vs < 180
S _f	Bölgeye Özel Geoteknik Dinamik Davranış Analizi Yapılarak Bulunur	

Tablo 9. Deprem kayıtlarına ait yer özellikleri

Deprem Kaydı	Kesme Dalgası Hızı, Vs (m/sn)	Yer Profil Türü
CHY006	438.19	S _C
Dinar	219.75	S _C
Duzce	281.86	S _C
Erzincan	352.05	S _C
El Centro - Meloland Geot. Array	264.57	S _C
Takarazuka	312	S _C
Yarimca	297	S _C
Lucerne	1369	S _C
LA Dam	628.99	S _C
Tabas	766.77	S _C
Bagnoli Irpinio	649.67	S _C

1.6. Çelik Yapıların Deprem Dayanımı

Türkiye meydana gelen yıkıcı depremler nedeniyle, çelik birçok açıdan önde gelen yapı malzemesi olarak ortaya çıkmaktadır. Depremi yükleri altında yüksek olduğu süneklik seviyenin çelik bina sistemler, betonarme binalara göre daha iyi performans göstermektedirler. Yapıya gelen depremin kuvveti, yapının ağırlığı azaldıkça azalmaktadır. Çelik yapılarda yapı ağırlığı, betonarme yapılardan yaklaşık %50 daha az olduğu için yapıya etki eden deprem kuvvetleri aynı oranda azalmaktadır. Çeliğin malzemesi sünektir. Betonarmeden 18 kat daha esnektir. Süneklik, esnek davranışın üzerindeki deformasyonda enerji emme kapasitesi sağlandığından bu karakteristik dinamik yükler altında ehemmiyet kazanmaktadır. Tekrarlı yükler altında betonarme yapılarının tek yönlü ve belirli olan enerji emme kapasitesi her iterasyonda azalarak çöker ve şekil değiştirme oluşmadan kırılma meydana gelir. Çelik yapılarda ise esnek sınırlar aşıldığında, diğer bir deyimle beklenenin

üstünde yükler yapıya etkilediğinde, çelik yapı elametleri yüksek deformasyon kabiliyetleri sayesinde öncelikle deforme olur ve şekil değiştirir. Deformasyon esnasında, üretilen enerji yutulup aktif yüklerin etkisi altında, bina ayakta kalarak fonksiyonunu devam ettirmeye sürdürmektedir. Ancak elemanların enerji emilimini ve deformasyonunu sağlamak için yük kolonlar ve kirişler arasında dağıtılmalıdır. Bunun gerçekleştirilmesi için, çelik yapılardaki kiriş- kolon bağlantıları yük aktarması için yeterli bir moment kapasitesi olmalıdır.

Çelik yapıların depremlere karşı üstün performans göstermesinin nedenlerinden birkaçı;

- Çelik çerçeveli yapı hem hafif hem de yüksek dayanıklıdır. Bu özellik, depremlere dayanıklı çelik yapılar için daha ekonomik bir yapı sağlamaktadır.
- Yapısal çelik malzemelerin özellikleri tutarlıdır ve bellidir. Bu hal, çelik çerçeveli yapının davranışının diğerlerinden daha güvenli olmasını sağlamaktadır.
- Yapısal çelik, esnek olmayan limite kadar tekrarlanan yüklere karşı değişmez davranış göstermektedir. Bu süneklik veya kırılma olmadan tekrarlanan yüklere dayanma kapasitesi, çelik çerçeveli yapılarının büyük deformasyonlarla yatay ve dikey tasarım yüklerine dayanmasını sağlar.
- Basit ve yarım-rijit çelik elemanların birleşimlerinin Dönebilen olması ve kauçuğu; dinamik enerjileri azaltarak, dikey yükü taşıyan çelik çerçeveli yapıların yatay kudretleri karşılayan orjinal sisteme güvenilir ve güçlü bir desteklemesini sağlar. Bu destekleme sistemi, orijinal sistemin çalışmadığı veya uygun biçimde tasarlanmadığı birçok durumda, yapıların çöküşünü önlemiştir.
- Çelik çerçeveli yapı, beton gibi kırılğan malzemelerden yapılan diğeri yapılara göre yapım hataları ve tasarıma daha az duyarlıdır. Üstelik, fabrikada kolayca üretilen ve denetlenen çelik çerçeve elementleri ile bunların son derece basit olan montajında hatalar riski yok sayılamayacak kadar çok azdır.
- Depremlerde ciddi hasar gören yığma yapıların ve betonarme çerçeveli yapıların tam tersine; çelik çerçeveli yapının zarar gören elementleri, sökülme ve geniş kapsamlı yıkım gerek kalmadan, ekonomik ve kısa sürede olarak değiştirilir veya tamir edilebilir.
- Modern üretim aletleriyle fabrikada yapılan çalışmaların çoğalması, daha güvenilir performansın olmasına ve nitelik kontrolünün artmasına yol açmıştır.
- Depremlere karşı sunduğu yüksek dayanıklılık gücü, fabrikasyon olasılıklarının ve yardımcı malzemeler özelliklerinin geliştirilmesi; çelik çerçeveli yapının, kolayca

alınabilen özel tedbirlerle fay hatlarının yakınında depremlerin en etkin olduğu alanlarda dahi inşa edilebilmesini sağlamaktadır.

- Dahası, müeyyideleri az olan eski Standartlara uygun çelik yapı çerçevelerine sahip olanlar büyük depremden en az zararla çıkarken diğer materyallere yapılanların en fazlası ya tam olarak çökmüş ya da maruz kaldıkları ağır zararlar sebebiyle kullanılamaz ortaya çıkmıştır (Wakabayashi, (1986), Newman, (1997).

1.7. Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi

Bu analizi, gerçek depreme benzer yapıya tipik titremlerin uygulanması için gerçekleştirin, burada Newton'un ikinci kanununa göre blokları ivmelerle çarparak atalet kuvvetlerini veya oluşan yükleri etkinleştirmektedirler. Bu, net bir kuvvet tarafından kaynaklanan bir cismin ivmesi, aynı kuvvetteki o kuvvetin miktarı ile doğru orantılı ve cismin kütlesi ile ters orantılı olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, ikinci kanun bize kuvvet (F), kütle (M) ve ivme (A) arasında kesin bir ilişki vermektedir. Matematiksel bir denklem olarak ifade edilebilir:

$$F = M \times A \quad (1.1)$$

Yer ivmelerinin zaman geçmişi açısından bu yöntemle göre sismik hareket temsili olmak (geçiş ve hız), ve standart kabul esas olarak ilgili olduğu kalır, önerilen spektrumun kapsamı spektrum esnek tepkisi ile aynı fikirde olmaktadır. Zaman geçmişi analizi üç modele ayrılabilir:

1. Doğrusal zaman tanım alanı analiz: Başlangıç koşullarının analizi sıfıra veya bir önceki devir analizinin sonunun koşullarına eşittir. Yeni analiz devri boyunca doğrusal olan tüm maddelerin davranışı dikkate alınır.
2. Periyodik Analiz modeli: Bu tür analiz başlangıç koşullarından başlar, önceki analiz devrinin sonuna göre ayarlanır, tüm elemanların davranışı da yeni analiz devri boyunca doğrusaldır.
3. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz modeli: Tüm nllink elemanlarının doğrusal olmayan ve diğer elemanların davranışlarının doğrusal olduğu varsayımıyla ilk analize benzerdir. Boşluklar, amortisörler ve İzolatörler gibi bir yapının doğrusal davranışını modellemek için kullanılan nllink elemanıdır.

Doğrusal olmayan statik ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinde, çerçeve ve tendon maddelerine konsantre plastik menteşeler atanarak verim sonrası davranış simüle edilmiştir. Eleman uzunluğu üzerinde elastik davranış meydana gelir ve daha sonra elastik sınırların ötesindeki deformasyon tamamen ayırık yerlerde modellenen menteşeler içinde meydana gelmiştir. Esnek olmayan davranış, tipik bir eleman derinliği sırasına göre, belirli bir menteşe uzunluğu içinde meydana gelen plastik gerinme ve plastik eğriliğin entegrasyonu ile elde edilmiştir (FEMA 356, 2000). Dinamik analiz ile lineer ve lineer olmayan sistemlerle ilgilenen bu tür analizler oldukça etkilidir, çünkü bu analiz yer hareketinin bir sonucu olarak depremlerin gerçek zamanlı olarak uğraşmayı içerir ve bir yapıdaki potansiyel mekanizma deformasyonu ve çöküşünün gerçek tanımını gösterir. Bununla birlikte, çok sayıda karmaşık matematiksel denklemin varlığı için donuk ve karmaşık bir analizdir. Buna rağmen, doğrusal olmayan dinamik analiz hazır analiz yöntemlerinden daha doğru olarak kabul edilir, yer hareketlerini Ölçeklendirilmek için güncel teknikler kullanılarak belirlenen taleplerde önemli zıtlıklar vardır ve tasarımı yorucuymuş. Alternatif analitik teknikler, tasarım etkinliğindeki talep beklentisiyle biraz ilişkili olabilecek tasarım miktarlarına yol açan hipotezlerin (daha yüksek modların ihmal edilmesi, doğrusallık hipotezleri ve potansiyel olarak esnek olmayan her “modal” tepkinin bağımsızlık hipotezleri gibi) basitleştirilmesini içerir. Notlar, zaman tanım alanı yönteminin avantajlarından dikkate alınmıştır:

1. Bir yapının analizi, ivme, kuvvet, moment ve yer değiştirmenin bir fonksiyonu olarak artan zaman basamaklarına veri uygulanması.
2. Zaman adımlarının aralığı ne kadar yakın olursa, çözüm o kadar doğru olur.
3. Zaman tanım alanına verilen tepki temelinde yapı için oluşturulan özdeğerler.
4. Tepki spektrumu analizine kıyasla daha gerçekçi olduğu düşünülmektedir.
5. Çok uzun veya çok yüksek yapılar (esnek yapılar) için en kullanışlıdır.

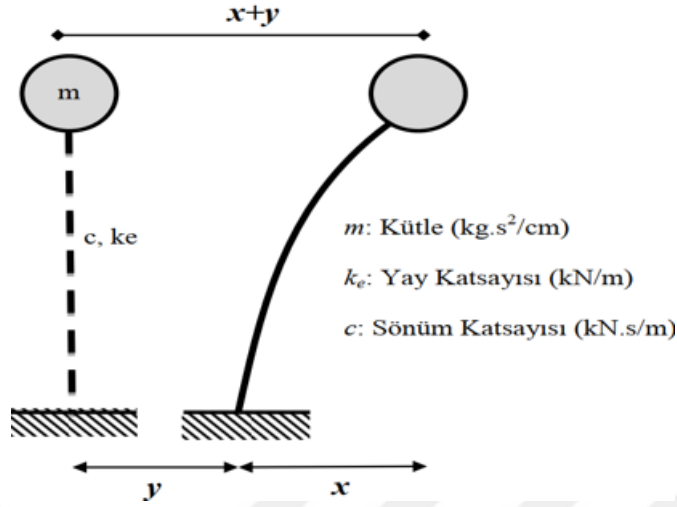
Zaman tanım alanında analizi, uzun zaman alıcı gibi bir dezavantaj olarak düşünülebilecek, büyük miktarda veri üreten ve bir yapıdaki sismik kuvvetleri her zaman azaltmayabilecek bir noktaya sahiptir. Zemin özelliklerine, yapı tipine ve mevcut verilere bağlıdır (Rashid, 2015).

1.8. Tek Serbestlik Dereceli Sisteminin Titreşimi

Serbestlik derecesi, titreşim durumunda yapının konumunu belirlemek için gereken deplasman sayısıdır. Eğer hareket halinde olan bir sistemin bulunduğu konumu tek bir parametre verilerek belirlenebiliyorsa bu sisteme tek serbestlik derecesi (TSD) sistemi denilmektedir. Elde edilen çözüm, TSD sistemlerinin davranışını mesnet koşulları ve hareket denklemlerinin başlangıç koşulları dikkate alınarak belirlenir (Celep, 2008). Titreşim sistemleri iki başlıca sınıfa ayrılabilir. Bunlardan birincisi, içerisinde birim deformasyonların meydana gelmediği sert sistemler olarak isimlendirilirken, diğeri ise içerideki noktaların birbirinden değişik hareket edebildiği elastik sistemler olarak isimlendirilmektedir ve elastik sistemler, kitlelerin dağıtması ile tarif edilmektedir (Kramer, 2003). Davranış spektrumu açıklanmadan önce, tek kitle sisteminin titreşiminin ilkelerinin anlatılması, davranışsal spektrumunun esasını oluşturması açısından daha uygun olacaktır. Şekil 15, TSD sisteminin sadece yatay hareket edebilen bir modelini gösterip burulma ve dönme gibi diğer özgürlükler ihmal edilmektedir. Bu model yapının sistemleri bakımından değerlendirilecek olursa, yapı ağırlığı, kütesini (m); yay katsayısı (k), yapının yere göre deplasmanından sonra yapıyı ilk durumuna geri döndüren elastik kuvvettir ve sönümleme katsayısı (c) ise, yapıların titreşime maruz kaldıktan sonra titreşimin zayıflığını sağlayan sönümleyiciyi belirtmektedir. Bu sistemin modelinde, zemine desteklenen kısmın, eğilme deformasyonuna yol açtığı kabul edilirse, kitle dönmektedir, bu sebeple, desteklenen kısmın kayma deplasmanı yaptığı varsayılmaktadır. Yer hareketinin TSDS modelinden etkilenmesi durumunda, yerin (y) kadar ve kitlenin, yerine göre (x) kadar göreceli yer değiştirdiği kabullenirse, sistemin mutlak deplasmanı ($x+y$) kadar olur. Hareket denklemi, kitle ile ivmenin çarpmanın, denklem (1.2)'te gösterildiği gibi, etkiyen kuvvete eşitlendiğini belirten Newton'un ikinci kanununa göre yazılabilir. M kitlesinin eylemsizlik kuvveti, m kitlesinin ivme ile çarpılmasının bir sonucu olarak, zaman içinde mutlak deplasmanının ikinci türevi olarak elde edilmektedir. Göreceli deplasmanının birinci türeviyle sönümleme katsayısının çarpması, sönümleyici kuvveti belirtirken, göreceli deplasmanla yay katsayısının çarpması ise sistemin orijinal durumuna dönmesini sağlayan esnek kuvveti göstermektedir.

$$m(\ddot{x} + \ddot{y}) + c\dot{x} + kx = 0 \quad \Rightarrow \quad m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{y} \quad (1.2)$$

Denklem (1.2)'in sönümsüz durum için çözmesinde, sinüs ve kosinüs ifadelerinin varlığı sebebiyle, sistem (ω) açısal frekansın harmonik titreşimini göstermektedir.



Şekil 15. TSD sistemini ifade eden tek kitle model

Bu frekans, sönümsüz serbest titreşimin doğal açısal frekans olarak adlandırılmakta ve (1.3) denkleminde ifade edilmektedir.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (rad / s) \quad (1.3)$$

Deprem yer hareketine ait tepki spektrumunun elde edilebilmesi için ikinci dereceden homojen diferansiyel denklem olarak bilinen ve denklem (1.4) olarak verilen hareket denkleminin çözümünden elde edilmektedir. Bu denklemde ξ sönüm oranını, ω açısal doğal frekansı göstermektedir.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \Rightarrow \ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2x = 0 \Rightarrow \begin{cases} x(0) = 0 \\ \dot{x}(0) = \dot{x}_0 \end{cases} \quad (1.4)$$

Belirtilen ifadelerle göre ve başlangıç şartları altında, denklem (1.4) çözümlendiğinde, denklem (1.5) ile belirtilen hız ve deplasman ifadesi elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} x &= \frac{\dot{x}_0}{\omega_d} e^{-\xi\omega t} \sin\omega_d t \\ \dot{x} &= \frac{\dot{x}_0}{\omega_d} e^{-\xi\omega t} (-h\omega \sin\omega_d t + \omega_d \cos\omega_d t) \end{aligned} \quad (1.5)$$

Burada sönümlü doğal açısal frekans, (ω_d) parametresi ile ifade edilmektedir.

$$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (1.6)$$

Hareket denkleminin çözümü incelendiğinde, sönümün etkisiyle genliğin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmektedir. Bu sebeple, TSD sistemin doğal frekansı, (1.6) ile belirtilen sönümleme katsayısına, k yay katsayısına ve m kütesine bağlı olan (ω_d) sönümlü doğal açısal frekansıdır.

TSD sistemin kitlesine Δt zaman periyodunda çok kısa, F kuvveti tesir edecek olursa, kuvvetle, tesir dönemini çarpımı olan darbe, kütle ile hızın çarpımına, yani momentumun değişikliğine eşit olmaktadır. Tek bir darbenin sistem tesiri denklem (1.7)'deki gibi olur ve $t=0$ anında ilk hızı darbenin, kütleyle oranı ile ifade edildiğinde, denklem deplasman ifadesinde integre edilerek elde edilmektedir.

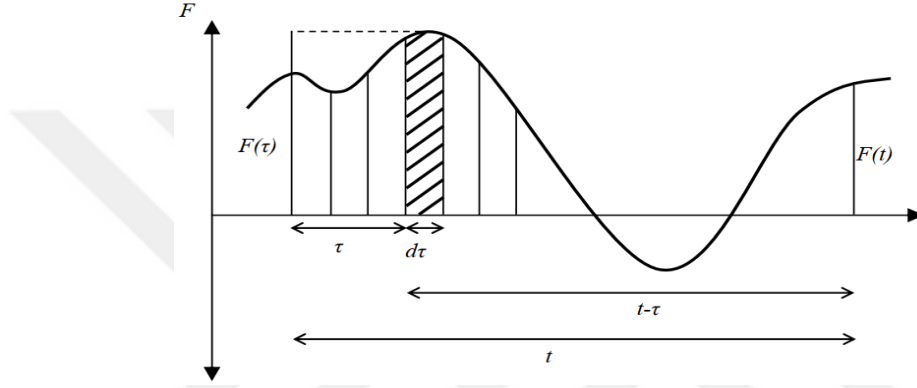
$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= F\Delta t = I \Rightarrow x(0) = \dot{x}_0 = \frac{F\Delta t}{m} = \frac{I}{m} \\ mx &= \frac{1}{2} F(\Delta t)^2 \end{aligned} \quad (1.7)$$

Denklem (1.7)'de, TSD sistemin başlangıç anında hızı belirtilen ifade olur ve deplasmanı, oldukça küçük bir değer verildiğinde $(\Delta t)^2 \approx 0$ olduğu açıktır. İfade edilen başlangıç koşulları altında serbest titreşimin çözümünden elde edilen deplasman ve hız ifadeleri (1.5) ile ifade edilmiştir. Bu ifadelerde, (1.7) ile ifade edilen başlangıç hızı ve deplasmanı yerine yazıldığı zaman, denklem (1.8) ile ifade edilen TSD sistemin darbe kuvvetinin nasıl tepki gösterdiği ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} x &= \frac{I}{m\omega_d} e^{-\zeta\omega t} \sin \omega_d t \\ \dot{x} &= \frac{I}{m\omega_d} e^{-\zeta\omega t} (-\zeta\omega \sin \omega_d t + \omega_d \cos \omega_d t) \end{aligned} \quad (1.8)$$

Tek bir darbenin etkisi altında elde edilen analizler, TSD sisteme etkiyen herhangi bir kuvvet zamana göre değişirse de geçerlidir. Şekil 16'da gösterilen eğri küçük zaman

periyotlarına bölünürse, her zaman periyodunda darbe kuvveti etkili olduğu düşünülebilir. Bu haledde, tüm eğri boyunca, sonsuz darbe kuvvetini etkileyen $d\tau$ zaman bağılı bölgeler oluşturulacaktır. Burada t darbe davranışının belirlendiği zaman tüm süredir. τ ise darbenin etkilediği zaman olduğu varsayılırsa, darbe etkiledikten sonra geçen süre $t-\tau$ olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda, darbe ifadesi o anda τ zaman aralığı $d\tau$ ile çarpılan kuvvet F olup ifade (1.8) onun yerine yazılırsa ve bu ifade ($\tau=0$)' dan, ($\tau=t$)'ye kadar entegre edilirse, Duhamel integrali adı verilen denklem (1.9) ifadeleri elde edilmektedir (Ohsaki, 1976).



Şekil 16. Darbe katarı (Ohsaki., 1976).

$$\begin{aligned}
 x &= \int_0^t \frac{F\tau}{m\omega_d} e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \\
 \dot{x} &= \int_0^t \frac{F\tau}{m\omega_d} e^{-\xi\omega(t-\tau)} (-\xi\omega \sin \omega_d(t-\tau) + \omega_d \cos \omega_d(t-\tau)) d\tau
 \end{aligned}
 \tag{1.9}$$

1.9. Amaç ve Kapsam

Bu çalışma kapsamında, yakın fay depremlerinin çelik bir bina üzerindeki etkisi incelenmektedir. Bu amaçla 14 adet deprem kaydı seçilmiştir. Seçilen bu deprem kayıtlarının 11 tanesi yakın bölge, 3 tanesi uzak bölge özelliklerini taşımaktadır. Analizde 4 katlı çelik bir bina modeli kullanılmıştır. Ayrıca, SAP2000 programında modellenen çelik bina için zaman tanım alanında doğrusal analizler yapılmıştır. Söz konusu binaya deprem kayıtları hem X hem de Y doğrultularında eş zamanlı olarak uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerde yatay deprem etkisinin yanı sıra düşey yüklerde dikkate alınmıştır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine ve TS498 standardına bağlı yük birleşimleri uygulanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yöntem

Taşıyıcı sistem elemanları HEA serisi profiller kullanılarak oluşturulmuştur. Döşemelerde kullanılan tali kirişler ise UPN serisi profillerden olup iki ucu mafsallı olarak modellenmiştir. Tali kirişler üzerine sac levha, hasır donatı ve 8 cm beton döşeme olacak şekilde kompozit bir tasarım yapılmıştır. Her bir kat bu durumda rijit diyafram olarak kabul edilmiştir. Tali kirişler arası mesafe ise 50 cm olarak yapılmıştır.

Kirişlerinin kolonlara bağlantısı, kolonların güçlü eksenleri yönünde ve zayıf eksenleri yönünde rijit alınmıştır. Kolonların ankastre temel tarafından desteklendiğini gözönünde bulundurulmuştur. Yapının ankastre mesnetli olarak zaman tanım alanında lineer çözümü yapılmıştır.

S355 yapı çeliği sistemin tasarımında kullanılmıştır. ÇYTHYE'e göre, S355 yapı çeliğinin elastisite modülü $E = 200000 \text{ N/mm}^2$, tipik akma gerilmesi $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ ve tipik çekme dayanımı $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$ 'dir.

Tabas (1978), Imperial Valley-06 (1979), Irpinia (1980), Landers (1992), Erzincan (1992), Northridge-01 (1994), Kobe (1995), Dinar (1995), Düzce (1999), Chi-Chi (1999) ve Kocaeli (1999) depremleri için yakın fay kayıtları göz önünde bulundurarak yer hareketleri parametrelerinin, maksimum mutlak kesme kuvvetleri, maksimum mutlak ivmeleri ve maksimum mutlak yer değiştirmeleri üzerinde yarattığı değişiklik gözlemlenmiş ve tablolarla kıyaslamalı yorumlar yapılmıştır.

2.2. YDKT Yöntemine Bağlı Yapının Tasarımı

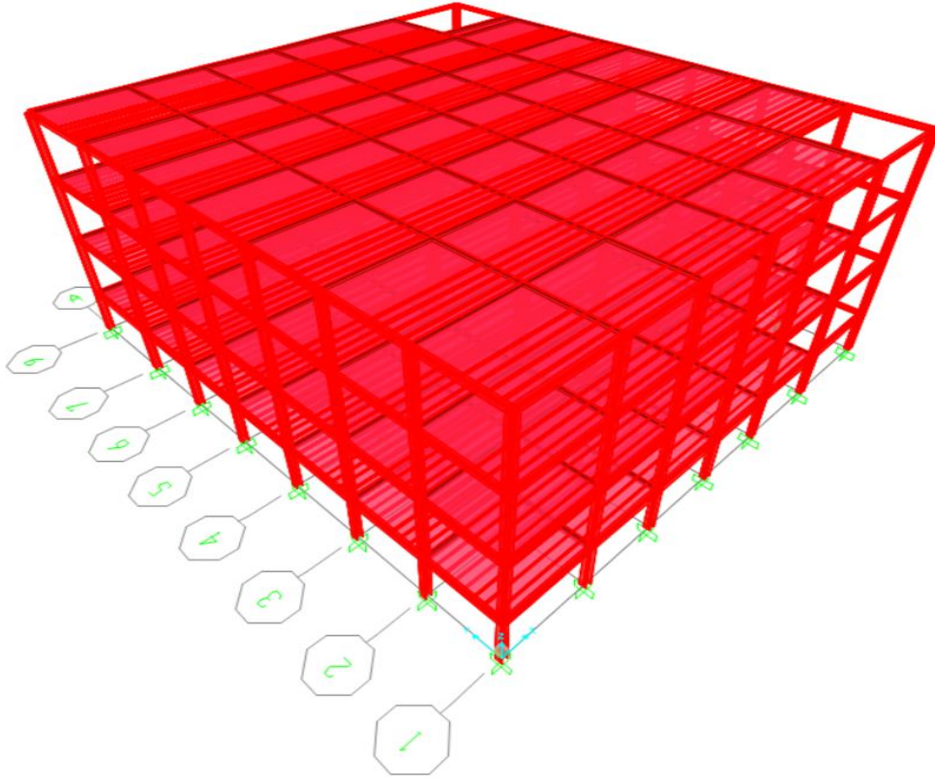
Yapının Tablo 10'daki gibi gösterilen ön boyutlarla 2018-TBDY'ye göre tasarlanmasıyla, bulunan iç kuvvetlerle taşıyıcı elemanlar YDKT yöntemine göre boyutlandırılacaktır.

Tablo 10. Taşıyıcı sistem elementleri enkesit profilleri (Bütün Katlarda)

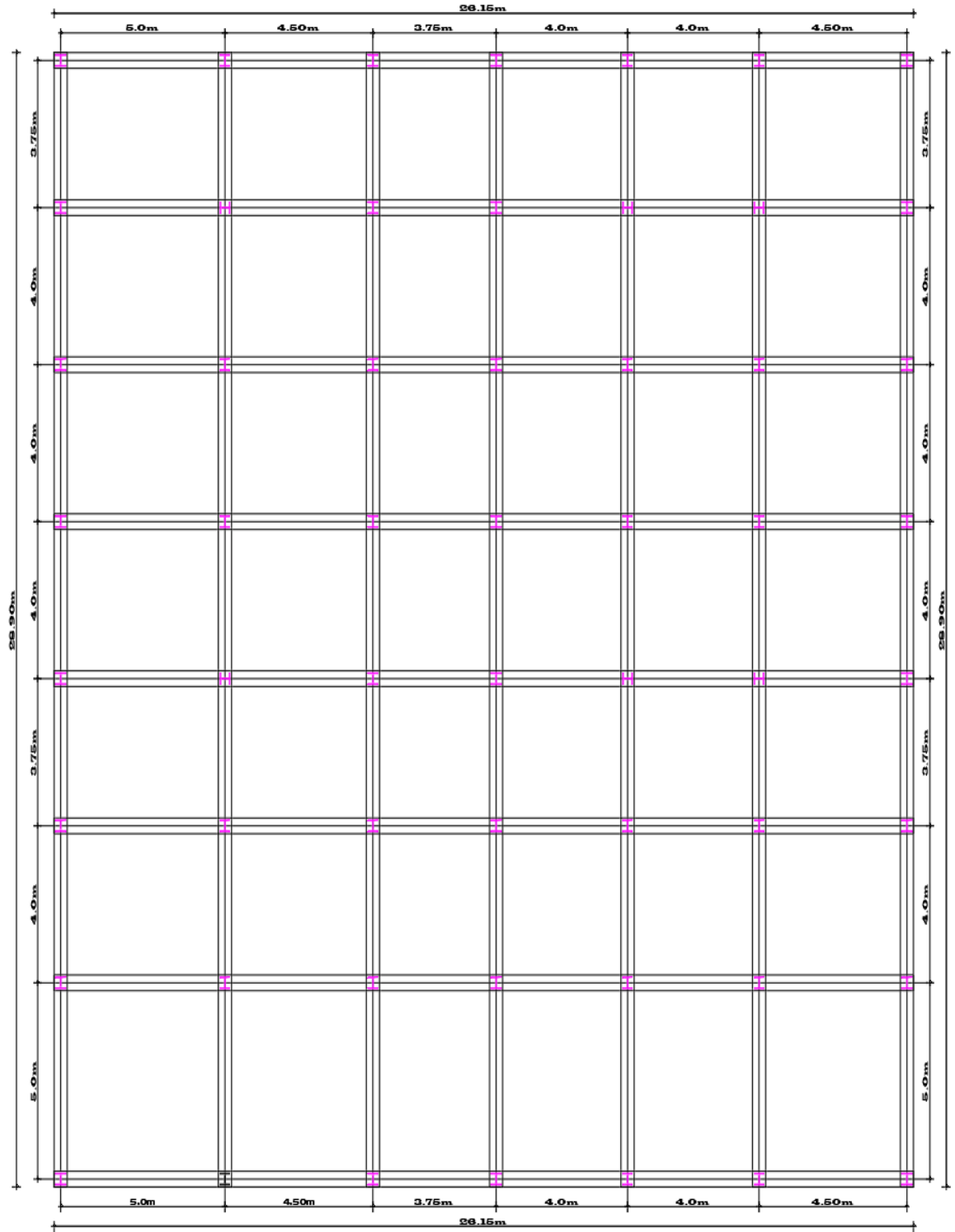
Taşıyıcı Sistem Eelemeni	Enkesit Profi
Kolonlar	HE400A
Çerçeve Kirişleri	HE340A
İkincil Kirişler	UPN180

2.3. Üç Boyutlu Modelinin Oluşturulması

Bir 28,5 x 26,15 m boyutlarında 755,735 m² oturma alanına sahip bir Konut yapısı olarak tasarlanmıştır. Şekil 17'de genel üç boyutlu sistem görünmesi, Şekil 18'de normal kat planı, tipik enkesiti Şekil 19'da, verilen 4 katlı çelik yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'de tasarımı gereksinimlere göre yapılmıştır. Yapı kat yükseklikleri zemin katta 2,80 m; birinci, ikinci ve çatı katlarda 4,0 m'dir. Havalandırma sistemi ve asma tavan yapılması nedeniyle ara kat yükseklikleri 4,0 m seçilmiştir. Şekil 17'de gösterilen kat planının uzun yönünde 7 açıklık, kısa yönünde 6 açıklık bulunmaktadır.



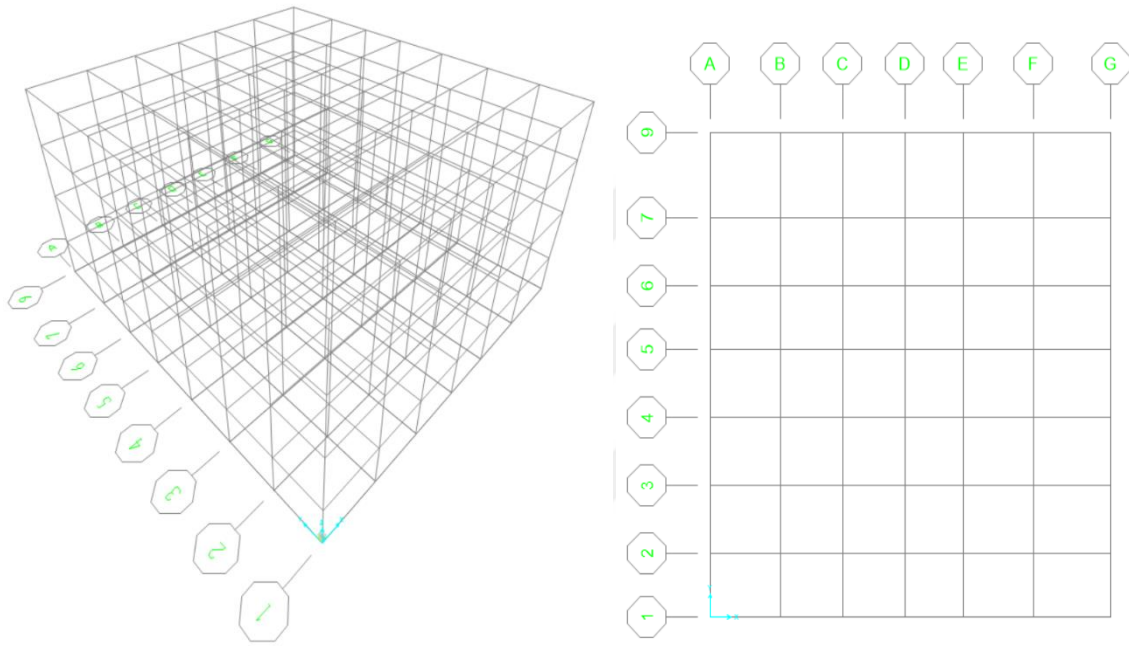
Şekil 17. Üç boyutlu sistem görünmesi



Şekil 18. Normal kat planı

2.3.1. Yapı Akslarının Oluşturulması

Modellemede, birim sistem KN, M, C esas olarak seçilmiş olup, yapı geometrisine uygun olarak oluşturulan eksenler Şekil 19’da verilmiştir. Programda yatay doğrultu X doğrultusu, düşey doğrultu Z doğrultusu ve sayfa düzlemine dik yöndeki doğrultu ise Y doğrultusu olarak tanımlıdır.



Şekil 19. Yapı eksenlerinin görünümü

2.3.2. Malzeme Özelliklerinin Tanımı

Çalışmada dikkate alınan yapıda çelik sınıfı S355, beton sınıfı ise C25/30 olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde programda “Define – Materials” komutları kullanılarak, S355 çeliği ve C25 betonuna ait malzeme özellikleri tanımlanmıştır (Şekil 20).

The image shows two side-by-side screenshots of the 'Material Property Data' dialog box. The left window is for 'Steel' material (S355) and the right window is for 'Concrete' material (C25/30). Both windows show fields for General Data, Weight and Mass, Isotropic Property Data, and Other Properties. The Steel window has a 'Switch To Advanced Property Display' checkbox, while the Concrete window has a 'Lightweight Concrete' checkbox.

Property	Steel (S355)	Concrete (C25/30)
Material Name and Display Color	S355	C25/30
Material Type	Steel	Concrete
Weight per Unit Volume	76.9729	0
Mass per Unit Volume	7.849	0
Modulus of Elasticity, E	2.100E+08	31000000
Poisson, U	0.3	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05	1.000E-05
Shear Modulus, G	80769231	12916667
Minimum Yield Stress, Fy	355000	-
Minimum Tensile Stress, Fu	510000	-
Expected Yield Stress, Fye	390500	-
Expected Tensile Stress, Fue	561000	-
Specified Concrete Compressive Strength, fc	-	25000
Expected Concrete Compressive Strength	-	25000
Lightweight Concrete	-	☐
Shear Strength Reduction Factor	-	-

Şekil 20. Malzeme özelliklerinin tanımı

2.3.3. Kesit Özelliklerinin Oluşturulması

Yapı modelinde kolon, kiriş, ikincil kiriş ve döşeme kesitleri farklı boyutlarda olduğundan dolayı, bununlar için farklı kesit tanımlanması gerekmektedir. Programda dikdörtgen elemanların kesitlerini tanımlamak için “Define – Section Properties – Area Sections” komutları kullanılmaktadır. Bu komut kullanılarak her kesitin malzeme cinsi, kesit kalınlığı ve tipi programa girilmektedir (Şekil 21).

Modelleme sırasında, alan elemanlarının tanımlanması yapılırken “Shell – Thin” seçilmektedir. Shell, genel olarak yüzeysel sistemlerinin tanımlaması için kullanılıp analiz yapılırken alan elemanların hesaplamalarının yapılmasını sağlar.

Kesitin özellikleri tanımlanan yapı modelinde, bu değerler kolon, kiriş ve döşemelere “Assign” komutu kullanılarak atanmaktadır. Kesitlerin ilgili çubuklara atanması sonucunda yapı modeli projeye uygun olarak tamamlanmıştır.

Shell Section Data

Section Name: Döşeme

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: [Yellow]

Type

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

Modify/Show Layer Definition...

Thickness

Membrane: 0.13

Bending: 0.13

Material

Material Name: + C25/30

Material Angle: 0.

Time Dependent Properties

Set Time Dependent Properties...

Concrete Shell Section Design Parameters

Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers

Set Modifiers...

Temp Dependent Properties

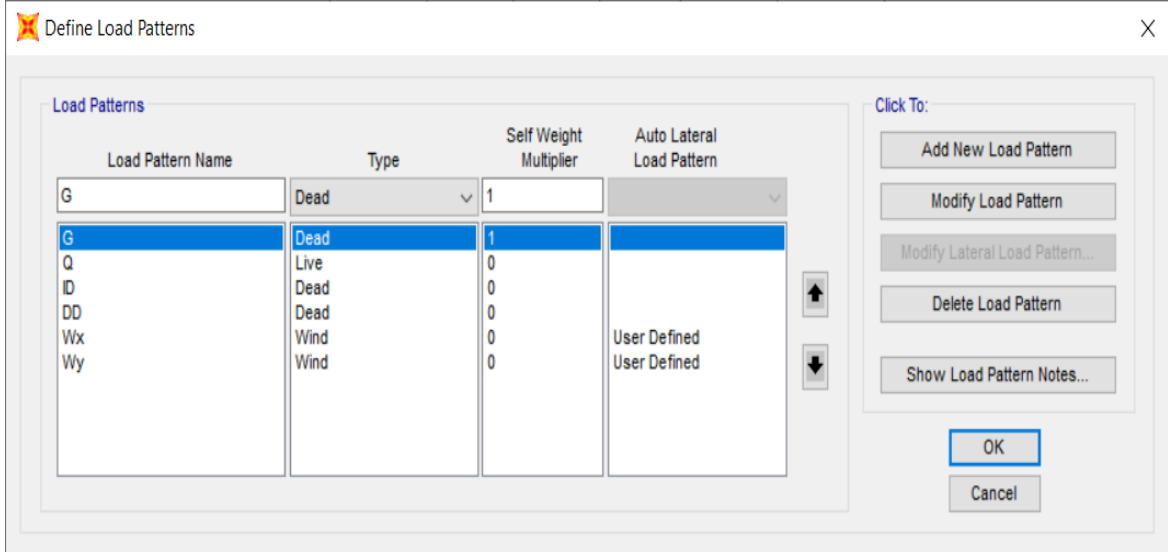
Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 21. Programda yapı döşeme kesitinin tanımlanması

2.4. Yüklemelerin Yapı Modeline Tanımlanması

“Define – Load Patterns” komutundan programdaki analizde göz önüne alınacak yükleme tiplerinin tanımlanması için yararlanılmıştır. Burada sabit yükler G, hareketli yükler Q, iç duvar yükleri İD, dış duvar yükleri DD ve rüzgar yüklerinin sırasıyla Wx ve Wy olarak yatay ve doğrultularda tanımlanmıştır. G yüklemine “self weight multiplier” bölümüne 1 yazılarak yapının kendi zati ağırlığı dikkate alınmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Yük tiplerinin tanımlanması

2.4.1. Düşey Yükler

Normal kat Döşemesi:

- Döşemelerde sabit yük $:(g)= 4,50 \text{ kN/m}^2$
- Döşemelerde hareketli yük $:(q)= 2,0 \text{ kN/m}^2$

Normal kat duvarı:

- Dış kirişler üzerindeki duvar yükü: $6,0 \text{ kN/m}$
- İç kirişler üzerinde ise duvar yükü: $4,0 \text{ kN/m}$

Çatı döşemesi:

- Döşemelerde sabit yük $:(g)= 4,5 \text{ kN/m}^2$
- Döşemelerde hareketli yük $:(q)= 1,0 \text{ kN/m}^2$

Çatı duvarı:

- Dış kirişler üzerindeki duvar yükü: $6,0 \text{ kN/m}$
- İç kirişler üzerinde ise duvar yükü: 0 kN/m

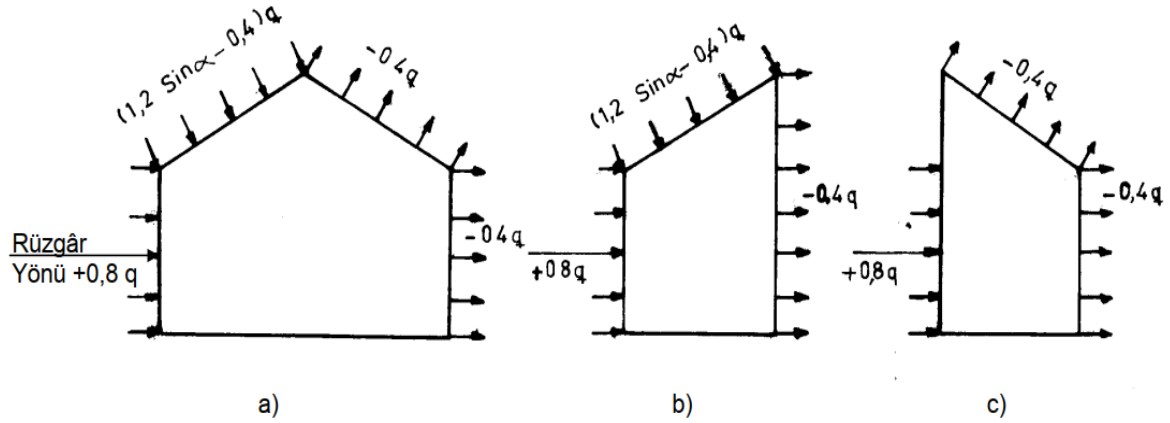
Bina konut amaçlı kullanıldığı için hareketli yüklemeler TS498'de tanımlandığı gibi alınmıştır.

2.4.2. Rüzgar Yüğü

Yapının uygulandığı bölge özel olarak çok az veya çok fazla rüzgar alan bölge bir bölge olup olmadığı belirlenememiştir. Bu nedenle, rüzgar yükü hesaplamalarında TS 498-1997’de belirtilen sınırlar içerisinde hesaplar yapılacaktır. TS 498-1997 Çizelge 5’e göre 9-20m yüksekliğe sahip yapılarda rüzgar yükü(q) değeri $0,80 \text{ kN/m}^2$ ’dir. Bina toplam yüksekliği $14,80 \text{ m}$ ’dir.

Tablo 11. Yüksekliğe göre rüzgar hızı ve emme

Zeminden Yükseklik m	Rüzgar Hızı v m/s	Emme q (kN/m^2)
0- 8	28	0,5
9 - 20	36	0,8
21- 100	42	1,1
>100	46	1,3



Şekil 23. TS 498'e göre rüzgar yükünde kullanılan değerler

Tablo 12. Rüzgar yükünün yapının etkilenen yüzeyinin birim alanına göre dağılımı (TS 498)

Yapı Cinsi	Katsayı C	Rüzgâr Yükü W = c.q			
		q = 0,5 kN/m ²	q = 0,8 kN/m ²	q = 1,10 kN/m ²	q = 1,30 kN/m ²
1) Düzlemsel yüzeyler ile sınırlandırılmış yapı elemanları (Madde 2 istisna)					
1.1)Kapalı Yapı Elemanları					
1.1.1)Rüzgar yönüne dikey yüzeylerde					
a)Genel olarak	1,2	0,60	0,96	1,32	1,56
b)Kule tipi yapı- larda(*)	1,6	0,80	1,28	1,76	2,08
1.1.2)Rüzgar yönüne α açısı yapan eğimli yüzeylerde					
a)Genel olarak	1,2 Sinα	0,60 Sinα	0,96 Sinα	1,32 Sinα	1,56 Sinα
b)Kule tipi yapılarda	1,6 Sinα	0,80 Sinα	1,26 Sinα	1,32 Sinα	1,56 Sinα

Tablo 11’de görüldüğü gibi, $(2,8+4*3)= 14,80$ metre’lik bina için verilen emme 0,8’dir.

Yapının rüzgarlara maruz kalan yüzey alanı; $4,0*4,80 = 19,20 \text{ m}^2$ olduğundan,

X yönde: $0,80q$ Basınç $0,80*0,80=0,64 \text{ kN/m}^2$

X yönde: $0,40q$ Emme $0,40*0,80=0,32 \text{ kN/m}^2$

Yapının alanında rüzgar yükünün etkisi:

$W = 0,64 * 19,20 = 12,288 \text{ kN}$ Basınç

$W = 0,32 * 19,20 = 6,144 \text{ kN}$ Emme

Olarak rüzgar yükü dikkate alınmıştır.

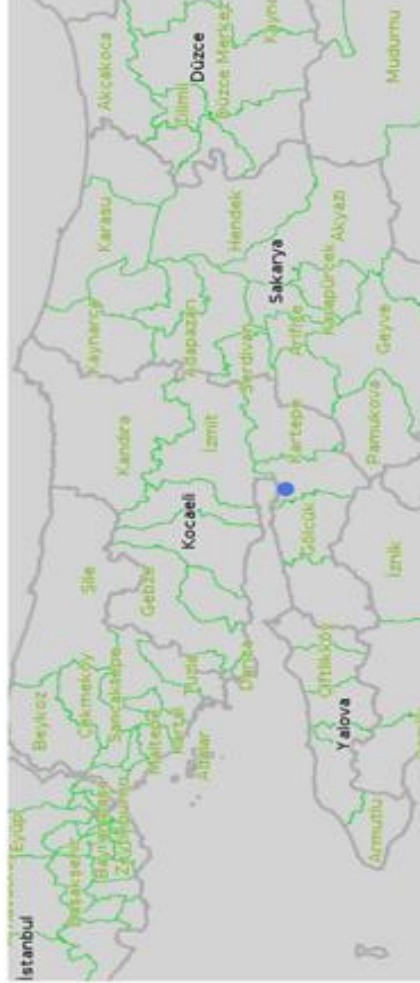
2.5. Zaman Tanım Alanında Spektral Uyuşum Yöntemiyle Ölçeklendirme

Elde edilen bilgi ile AFAD Etkileşimli Web Uygulamalarından alandaki elastik tasarım spektrum değeri alınmıştır. SeismoMatch programı ölçeklendirme için kullanılmıştır. AFAD’dan elde edilen zemin sınıfı ve PGA değeri için varsayımlı değer girilerek sismik kayıtları ölçeklendirilir ve bölgeye uygun hale getirilmektedir. Belli bir hedef ivme tepki spektrumu ile uyumlu sağlayabilmek için, orijinal ivme kaydına bir zaman tanım alanında belli bir dönem aralığında ve sınırlı bir zamanda iteratif olarak küçük dalgalar (wavelets) eklenmektedir (Şekil 25).

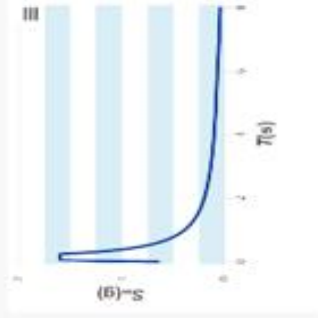
Kullanıcı Girdileri

[Detaylı Raporu Göster](#) [Yazdır](#)

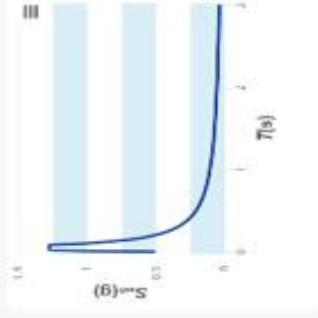
Rapor Başlığı:	Çelik Yapı	$S_0 = 1.771$	$S_1 = 0.477$	$S_{0.5} = 1.594$	$S_{0.1} = 0.382$
Deprem Yer Hareketli Düzeyi:	DD-2	$PGA = 0.722$			
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	$PGV = 55.321$			
Enlem:	40.7°	S_0 : Kısa periyot hafıza spektral ırmı katsayısı [boyutsuz] S_1 : 1.0 saniye periyot için hafıza spektral ırmı katsayısı [boyutsuz] $S_{0.5}$: Kısa periyot tasarım spektral ırmı katsayısı [boyutsuz] $S_{0.1}$: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ırmı katsayısı [boyutsuz]			
Boylam	29.91°	PGA : En büyük yer hareketi [g] PGV : En büyük yer hızı [cm/s]			



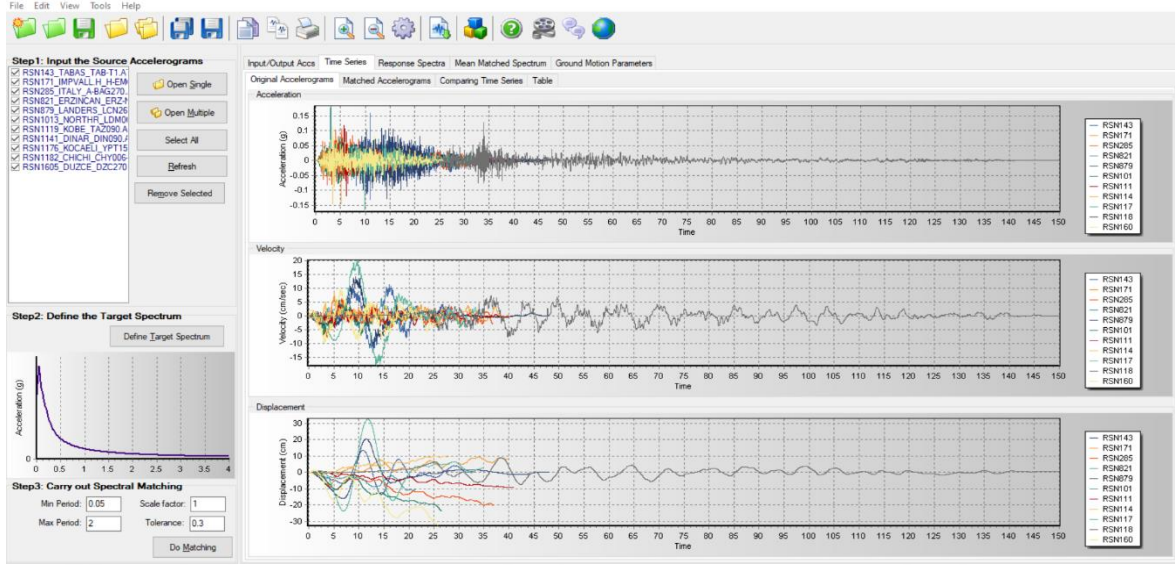
Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

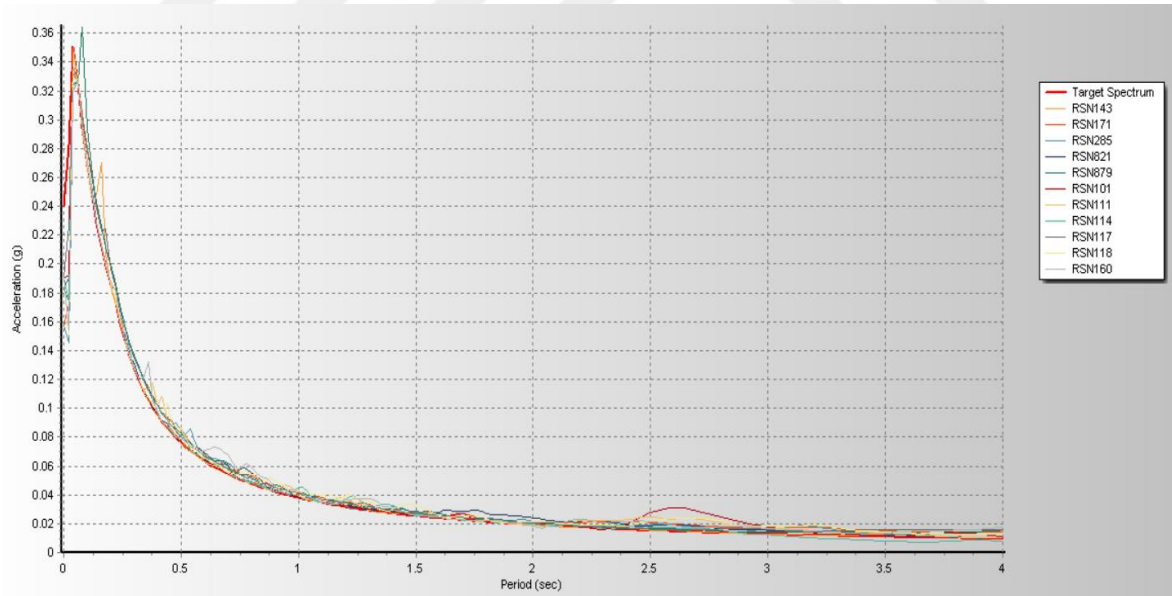


Şekil 24. Çelik yapının bulunduğu konuma göre elastik tasarım spektrumu ve PGA değeri bulunması



Şekil 25. SeismoMatch programının arayüzü

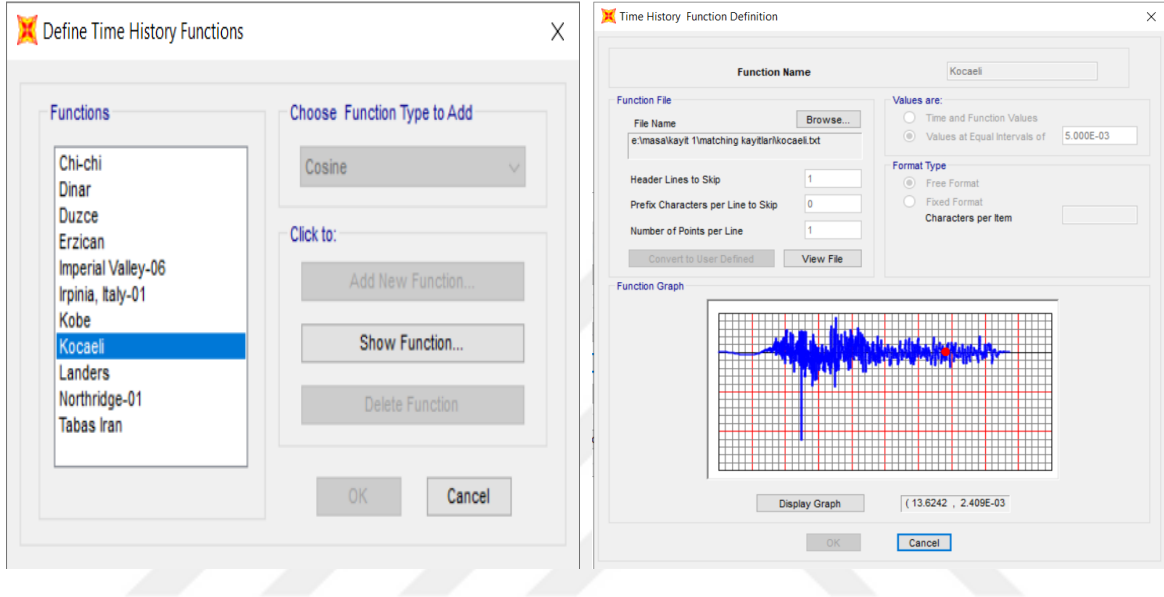
Sözü edilen gerçek deprem kayıtlarından üretilen 11 adet yakın bölge deprem kaydının hedef spektrumu ile bir karşılaştırılması Şekil 26'da verilmektedir.



Şekil 26. Hedef spektrumu ve tepki spektrumlarının karşılaştırılması

2.6. Zaman Tanım Alanında Analiz İçin Verilerin Girilmesi

Şekil 27, zaman tanım alanında lineer analiz için SAP2000 programında yapılan yüklemelere bağlı veri girişini gösterilmektedir. Belirtilen deprem kayıtları Functions-Time History sekmesinden her deprem kaydı için ayrıntılı olarak oluşturulmaktadır.



Şekil 27. Sap2000 programında kullanılan deprem kayıtları tanımlanma

Zaman tanım alanında lineer analiz için, ilk önce lineer başlangıç şartını kütleyle uygun $G+0,3Q$ olarak doğrusal tanımlamıştır. Programın bu başlangıç şartı diğer zaman tanım alanı analizinin başlangıç şartı olarak Load Case sekmesinde sunulmaktadır (Şekil 28).

Load Case Data - Linear Static

Load Case Name: G+0,30Q **Set Def Name** **Notes:** Modify/Show...

Stiffness to Use: ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1.0
Load Pattern	Dis Duvar	1.0
Load Pattern	s Duvar	1.0
Load Pattern	Live	0.3

Add **Modify** **Delete**

Load Case Type: Static **Design...**

Analysis Type: ☒ Linear ☐ Nonlinear ☐ Nonlinear Staged Construction

Mass Source: MSSSRC1

OK **Cancel**

Şekil 28. G+0,3Q başlangıç şartının tanımlanması

Load Cases Data bölümünden depremlere bağlı yüklemeler Linear-Model bölümünden Time History analizinin dikkate alarak programa girilmektedir. X ve Y yönleri için toplam 28 kayıt ve 14 farklı deprem kaydı oluşturulmuştur (Şekil 29).

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: Kocaeli, Turkey u1 **Set Def Name** **Notes:** Modify/Show...

Initial Conditions: ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State ☐ Continue from State at End of Modal History

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Kocaeli	9.81
Accel	U1	Kocaeli	9.81

Add **Modify** **Delete**

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 3501 Output Time Step Size: 0.02

Modal Damping: Constant at 0.05 **Modify/Show...**

Load Case Type: Time History **Design...**

Analysis Type: ☒ Linear ☐ Nonlinear ☐ Nonlinear Staged Construction

History Type: ☒ Transient ☐ Periodic

Solution Type: ☒ Modal ☐ Direct Integration

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

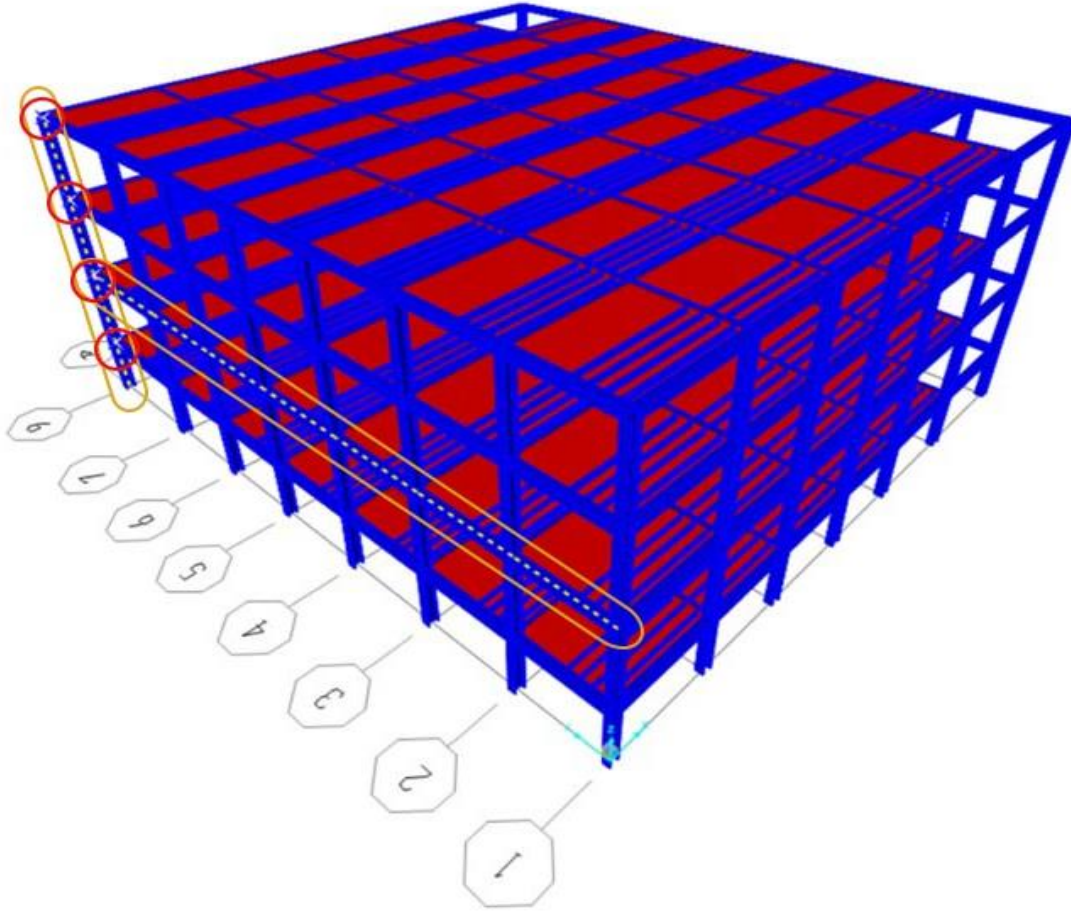
OK **Cancel**

Şekil 29. Zaman tanım alanında veri girişi

2.6.1. Zaman Tanımı Modelinin Analiz Sonuçları

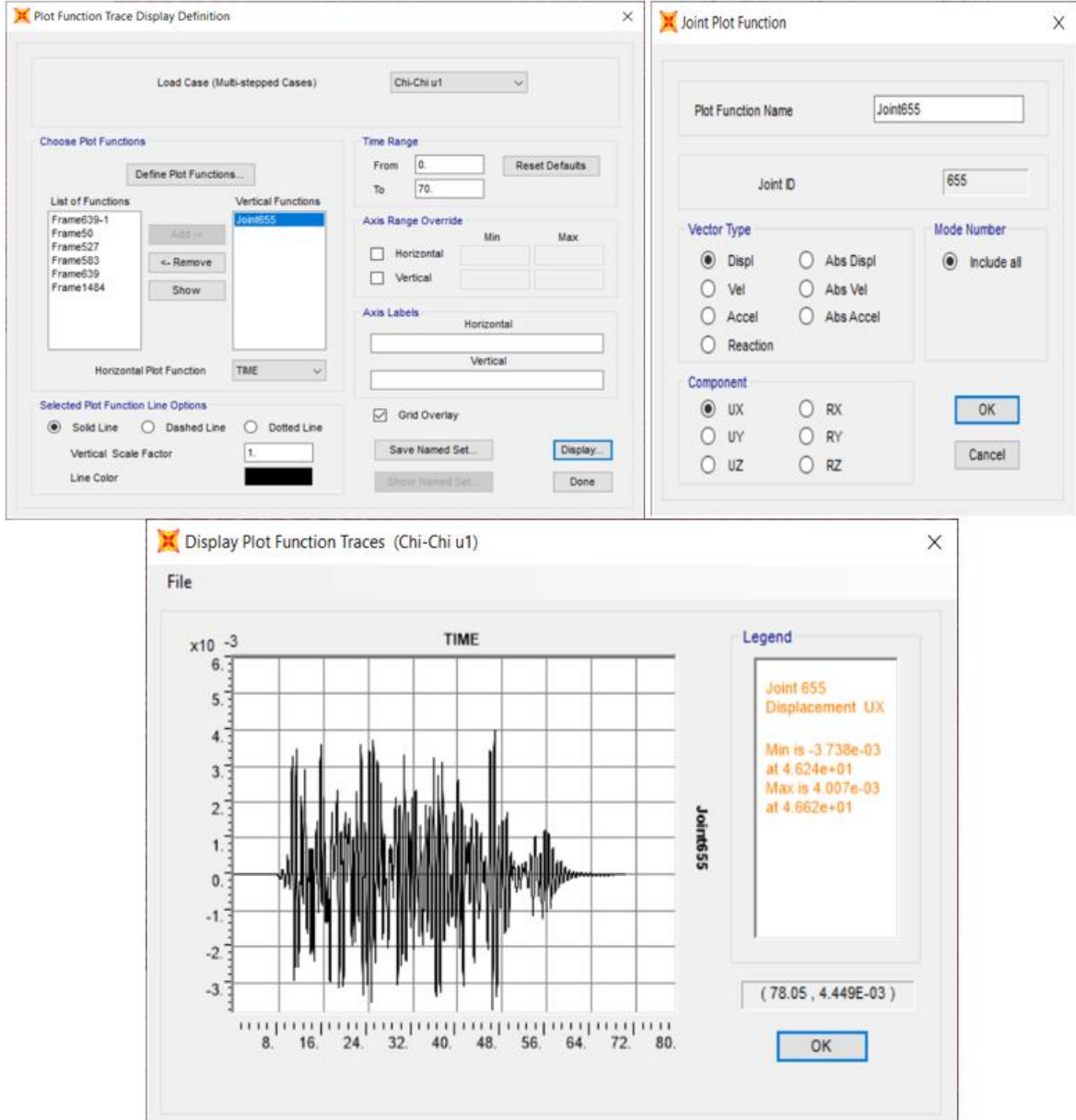
Zaman tanım analizinden elde edilen bu çalışmada, Şekil 30'da gösterildiği gibi her katta bir köşe noktasının seçildiği bina boyunca farklı noktalara yer değiştirme, hız ve ivme sonuçlarına odaklanılmıştır. Şekil 30'da gösterildiği gibi her katta bir köşe kolon

seçildiğinden, binanın uzunluğu boyunca farklı kolonlar için moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvetlerin sonuçlarına odaklanılmıştır. Şekil 30'de gösterildiği gibi Y eksenini boyunca 7 açıklıktan oluşan bir dış kiriş için moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvetlerin sonuçları da incelenmiştir.



Şekil 30. Sonuçları verilen kolonlar ve kirişler

SAP 2000 programındaki yer değiştirme, hız, ivme, moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvetlerin değerlerini elde etmek için analiz işlemi yapıldıktan sonra nokta veya eleman belirlenir ve ardından Display bölümünden Şekil 5'te gösterildiği gibi Show Plot Function seçilmelidir.



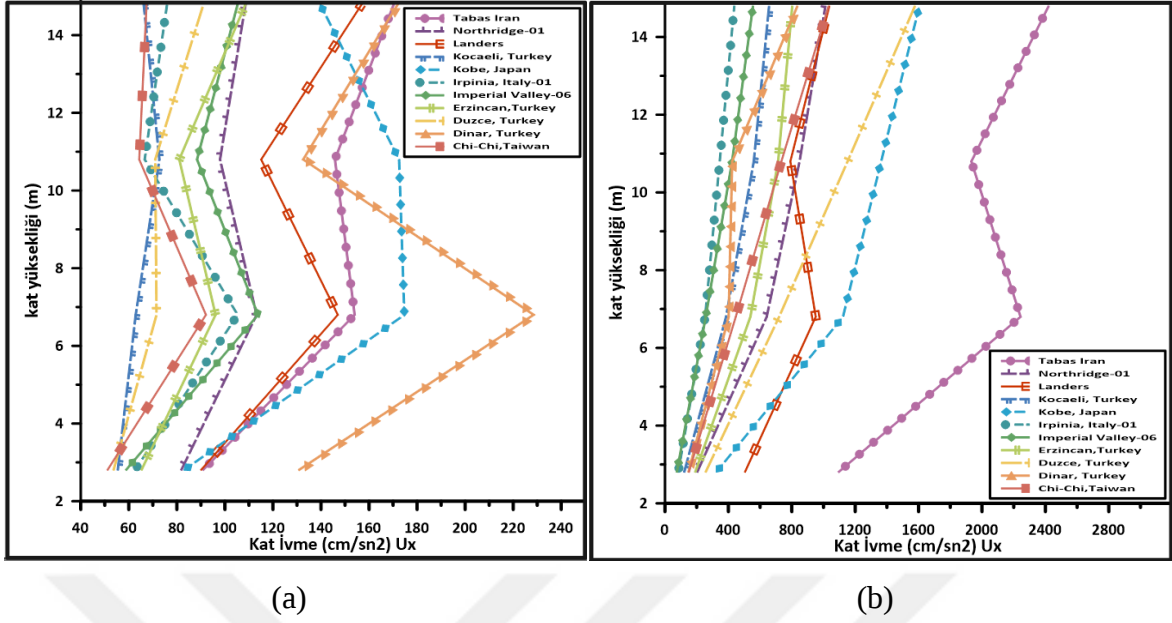
Şekil 31. Zaman tanım alanında analiz sonucu görüntülenmesi

Daha önce anlatıldığı gibi sonuçlar elde edildikten sonra veriler tablolar halinde toplanmış ve daha sonra bu sonuçlar grafiklere çevrilmiştir. Bu grafikler aracılığıyla, ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş deprem kayıtlarının kullanılması durumları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yakın fay ile uzak fay ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının kullanılması içinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece yakın ve uzak fay etkisi de gözlemlenmiştir.

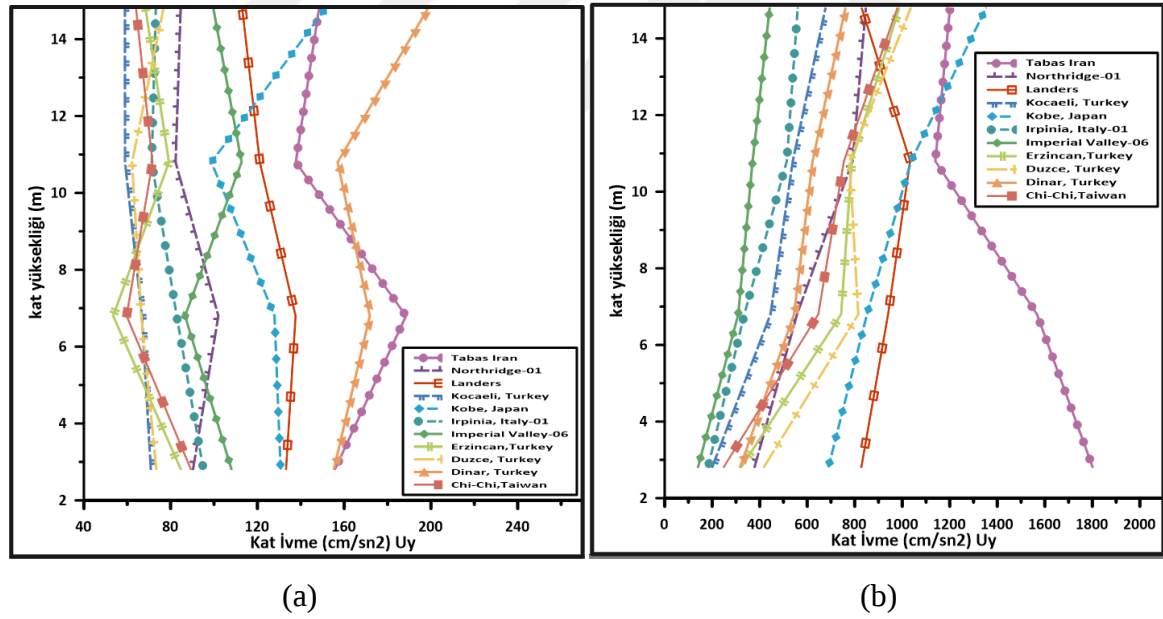
3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu tez çalışmasında, yakın faya ait on bir yer hareketi ve uzak faya ait üç yer hareketi; PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) veri bankasından tasarım ivme spektrumlarına uygun olacak bir şekilde, faya olan uzaklık ve büyüklük dikkate alınarak seçilmiştir. Zaman tanım alanında ölçeklendirme metodu temel alınarak oluşturulan SeismoMatch programı ile 2018-TBDY'ye uygun bir hedef tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme işlemleri tamamlandıktan sonra, tasarımda kullanılmak üzere tasarım ivme spektrumlarına daha iyi uyumu sağlayan on bir yakın fay yer hareketi ve üç uzak fay yer hareketi kayıtları elde edilmiştir. Bu elde edilen kayıtlar, SAP2000 programında oluşturulan çelik yapının zaman tanım alanı analizinde kullanılmışlardır. Zaman tanım alanı analizi sonucunda Şekil 30'da gösterildiği gibi incelenen noktaların yer değiştirmeleri, hızları ve ivmeleri ölçeklendirmiş ve ölçeklendirmemiş yer hareketlerine göre, kolon ve kirişlerin yapısal elemanları boyunca oluşan momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş yer hareketlerine göre çizilmiştir ve sırasıyla Şekil 32-57'de gösterilmiştir. Yapıdaki kolon-kiriş birleşim noktalarının kesit etkilerine ait maksimum değerler, her iki yönde (X, Y) hem ölçeklendirilmiş hem de ölçeklendirilmemiş yer hareketine yanı sıra yakın fay ölçeklendirilmiş ve uzak fay ölçeklendirilmiş yer hareketine göre karşılaştırmalı olarak grafikler yardımıyla sunulmuştur. Kolonlarda ve kirişlerde yapısal eleman boyunca momentler, bu elemanların uçlarındaki en büyük değerleri verilmiştir. Kirişlerde kesme kuvveti değerleri açıklığının başında ve sonunda en büyük değerleri alırken, normal kuvveti değerleri açıklığın ortasında maksimum değerlerine ulaşmıştır. Kolonlarda kesme kuvveti değerleri kolon boyunca en büyük değerleri alırken, normal kuvveti değerleri kolon boyunca maksimum değerlerine ulaşmıştır. Genel olarak bina boyunca oluşan noktalarda bina yüksekliği ile birlikte hız ve yerdeğiştirme değerleri artmıştır. Bina yüksekliği boyunca oluşan noktalarda ivme değerleri değişkendir. Ölçeklendirme işlemi dikkate alındığında çelik yapıdaki yerdeğiştirme, hız, ivme ve kesit etkilen büyük oranda azalmaktadır. Şayet ölçeklendirme dikkate alınmamış olsaydı bu değerler aşırı fazla olarak hesaplanmış olacaktır. Ayrıca, çelik bina üzerindeki uzak fay ve yakın fay yer hareketlerinin etkisini belirlemek için Düzce, Chi-Chi ve Kobe depremleri dikkate alınarak kıyaslamalı bir zaman

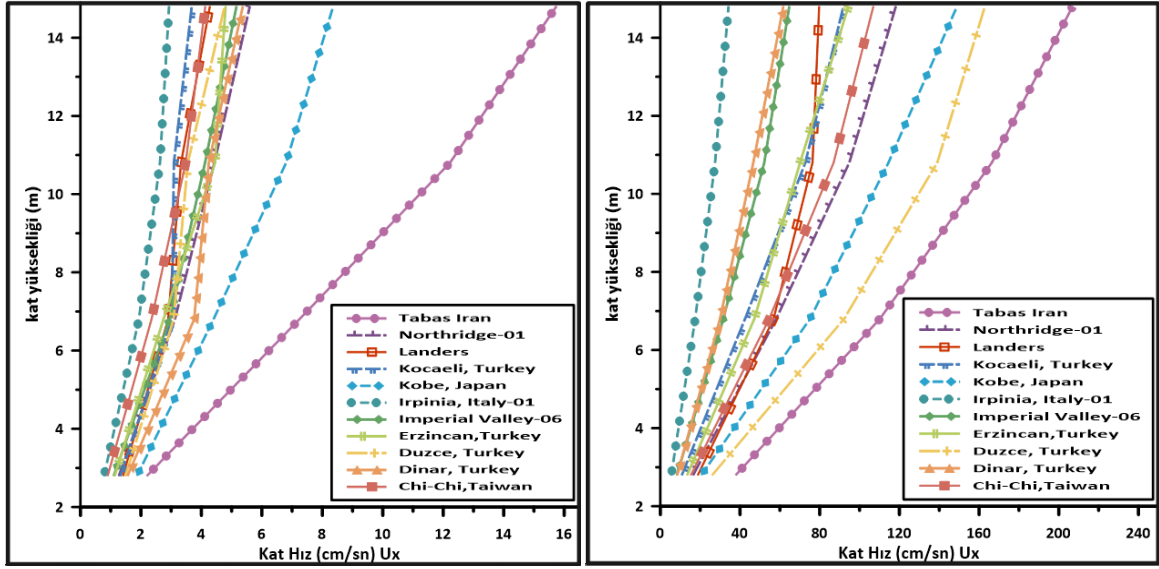
tanım alanı analizi yapılarak elde edilen bina yerdeğiştirmeleri, hızları, ivmeleri, momentleri, kesme kuvvetileri ve normal kuvvetileri karşılaştırılmıştır. Bina boyunca yer değiştirme, hız ve ivme değerleri Düzce, Chi-Chi ve Kobe ölçeklendirilmiş deprem kayıtları için karşılaştırılmıştır. Bolu ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için elde edilen yer değiştirmelerin ve hızların, Duzce ve CHY006 faya yakın yer hareketleri kaydı için elde edilen yer değiştirmeler ve hızlardan daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, Duzce ve CHY006 faya yakın yer hareketleri için elde edilen ivmeler ile Bolu ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için elde edilen ivmelerden önemli ölçüde daha büyük olduğu gözlenmiştir. Kobe depremi için de faya yakın yer hareketi kaydı Takarazuka için elde edilen yer değiştirmeler, ivmeler ve hızlar de uzak fay yer hareketi kaydı Chihaya için belirlenen yer değiştirmeler, ivmeler ve hızlardan daha büyük çıkmıştır. Kolonlarda yapısal eleman boyunca momentler, kesme kuvveti ve normal kuvveti değerleri Düzce, Chi-Chi ve Kobe ölçeklenmiş depremleri için karşılaştırılmıştır. Düzce ve Chi-Chi depremleri için de uzak fay yer hareketleri kayıtları Bolu ve HWA032 için elde edilen momentler, kesme kuvveti ve normal kuvveti değerleri de faya yakın yer hareketleri kayıtları Duzce ve CHY006 için elde edilen momentler, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetlerinden daha büyük gözlenmiştir. Kobe depremi için de faya yakın yer hareketleri kayıtları Takarazuka için elde edilen momentler, kesme kuvveti ve normal kuvveti de uzak fay yer hareketleri kayıtları Chihaya için belirlenen momentler, kesme kuvveti ve normal kuvvetinden daha büyük çıkmıştır. Kirişlerde yapısal eleman boyunca momentler ve kesme kuvveti değerleri Düzce, Chi-Chi ve Kobe ölçeklenmiş depremleri için karşılaştırılmıştır. Burada uzak fay yer hareketleri kayıtları için elde edilen momentler ve kesme kuvvetleri değerleri de faya yakın yer hareketleri kayıtları için belirlenen momentler ve kesme kuvvetlerinden daha büyük çıkmıştır.



Şekil 32. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki x-doğrultusundaki kat ivmeleri



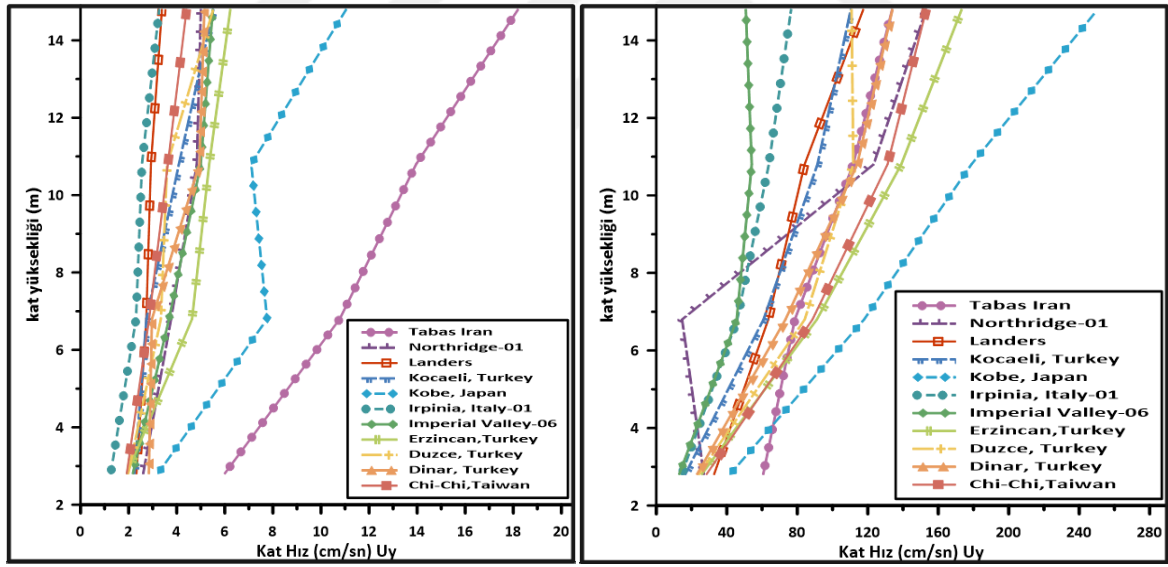
Şekil 33. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki y-doğrultusundaki kat ivmeleri



(a)

(b)

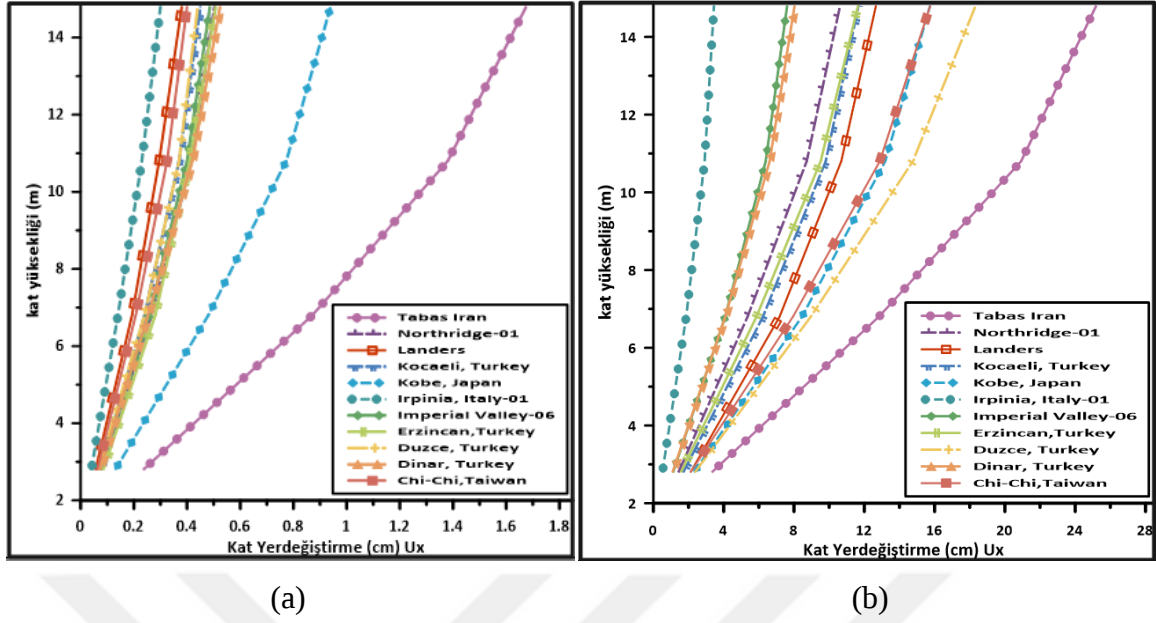
Şekil 34. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat hızları



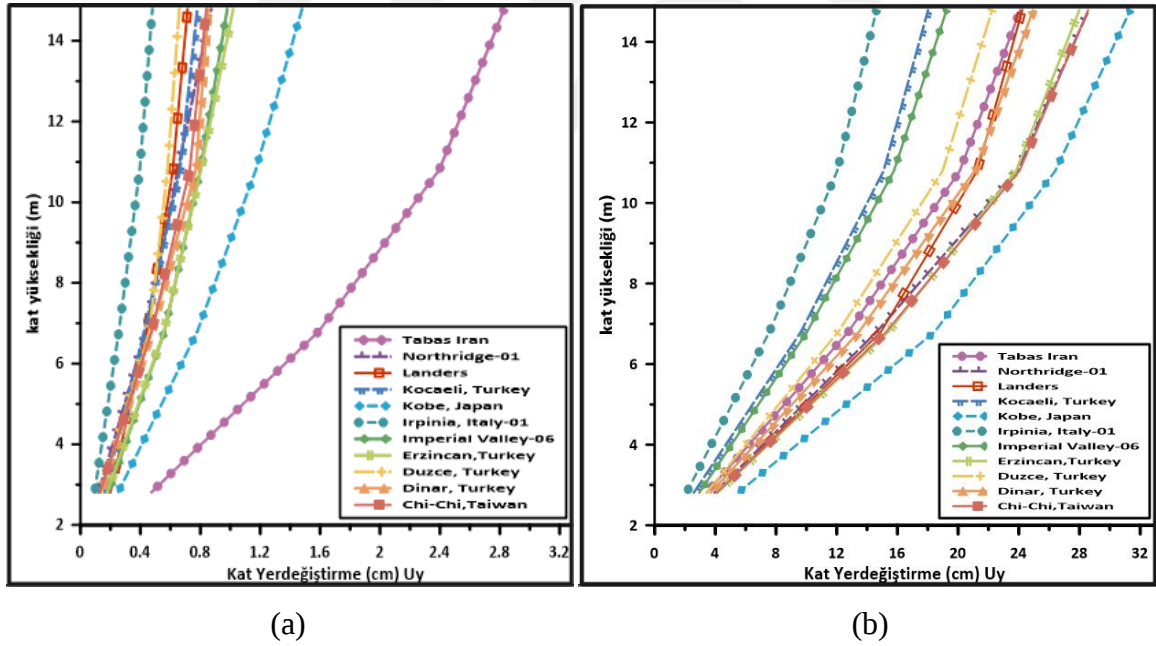
(a)

(b)

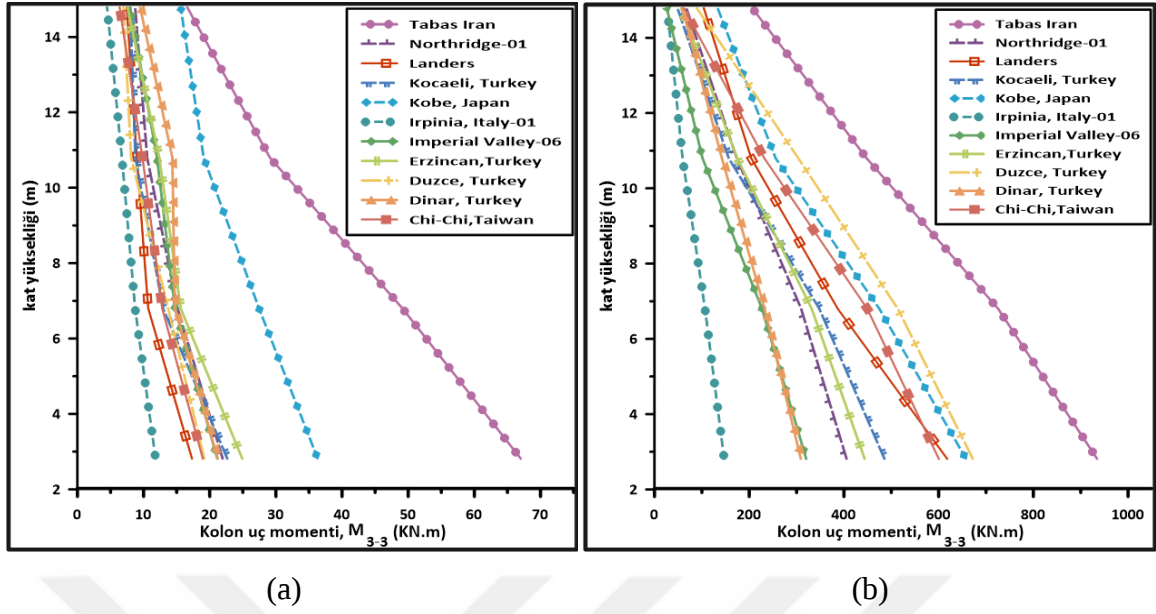
Şekil 35. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat hızları



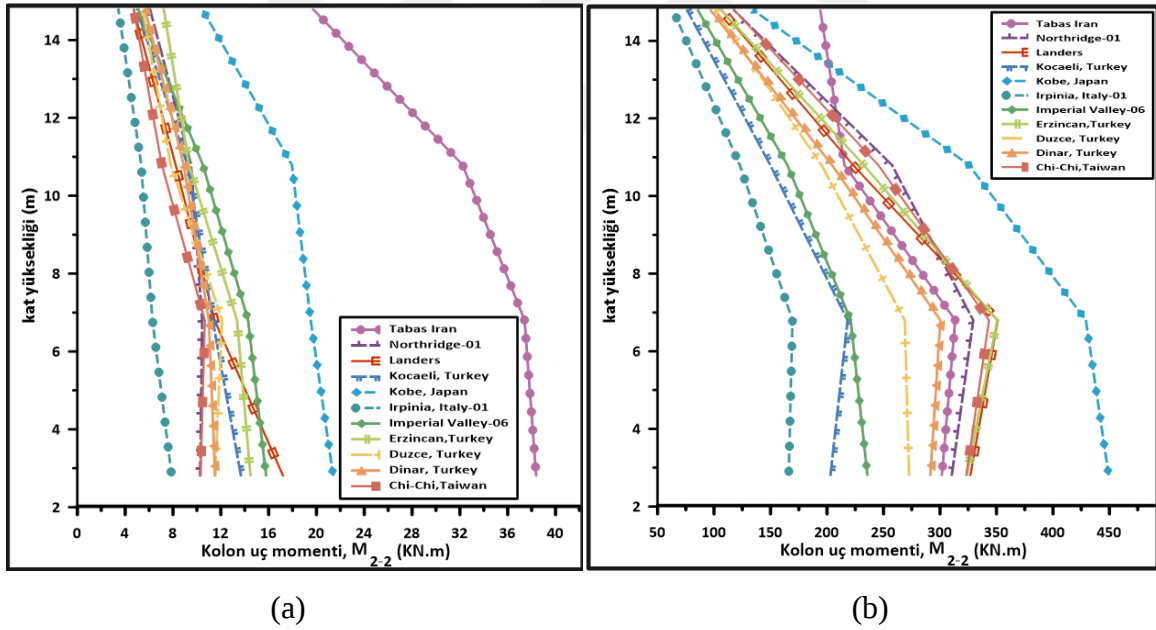
Şekil 36. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat yerdeğiştirmeleri



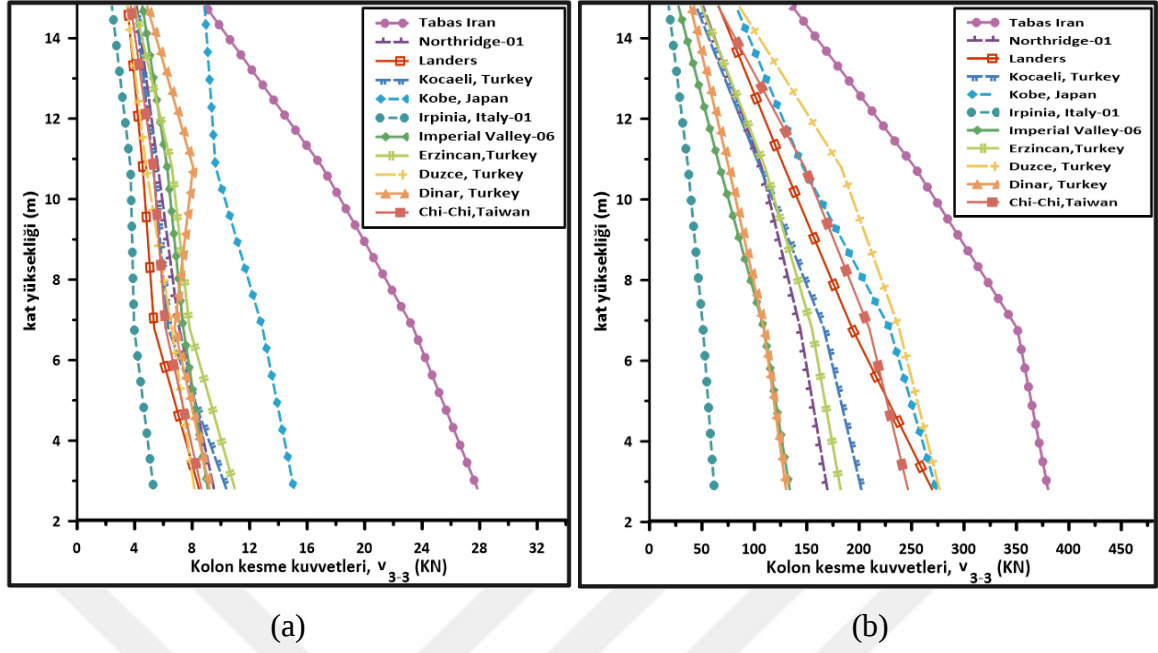
Şekil 37. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat yerdeğiştirmeleri



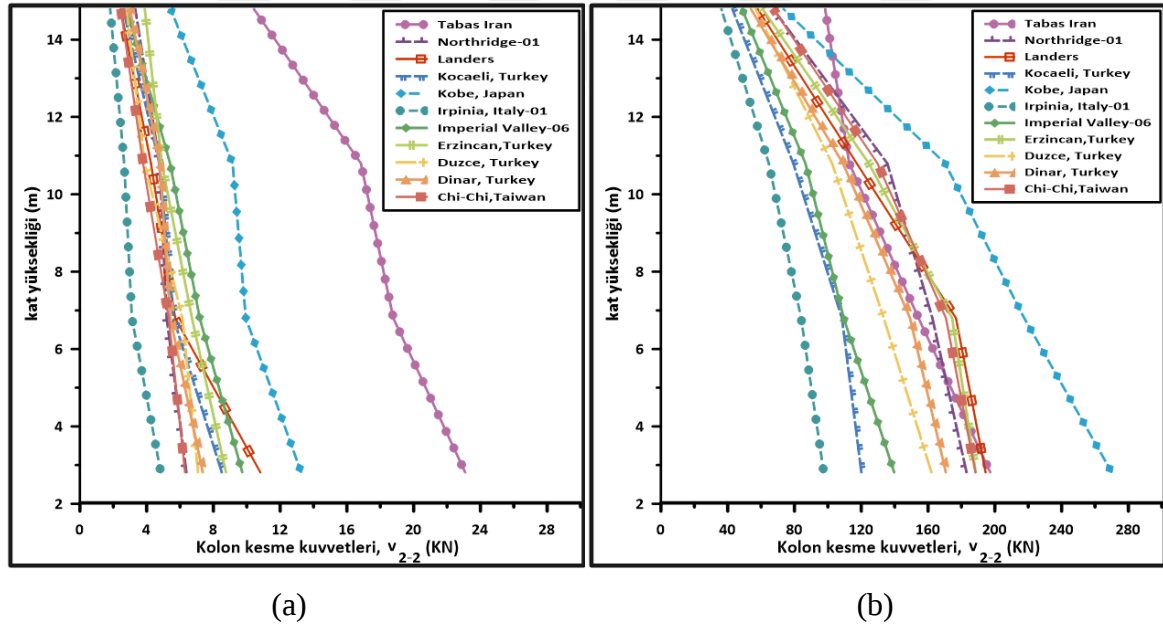
Şekil 38. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kolon uç momentleri (M_{3-3})



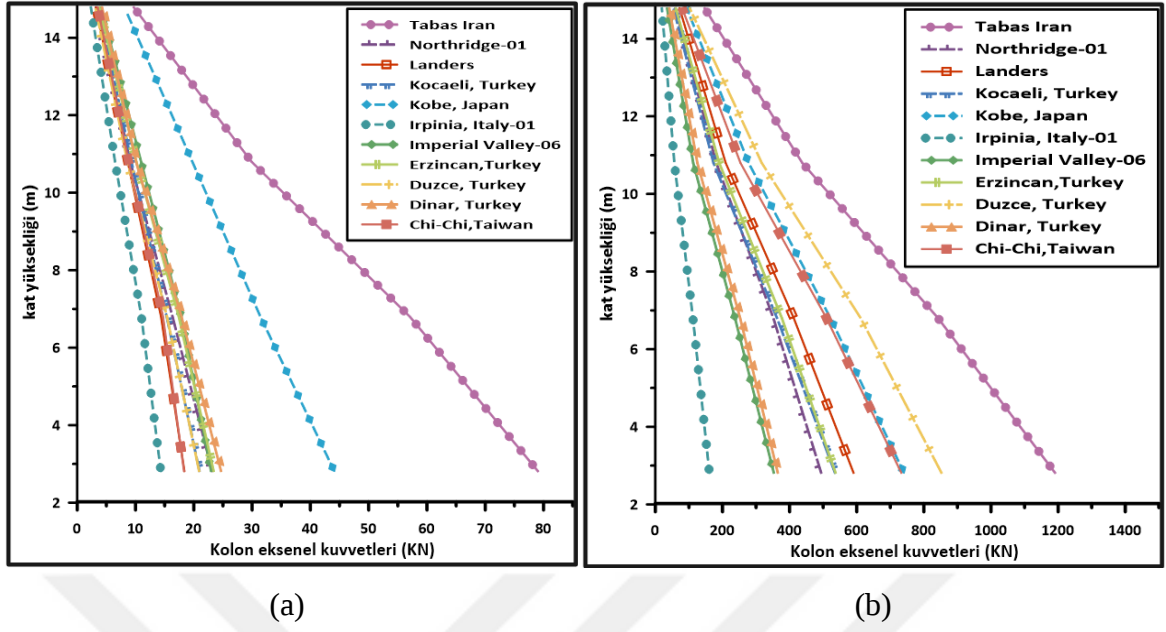
Şekil 39. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kolon uç momentleri (M_{2-2})



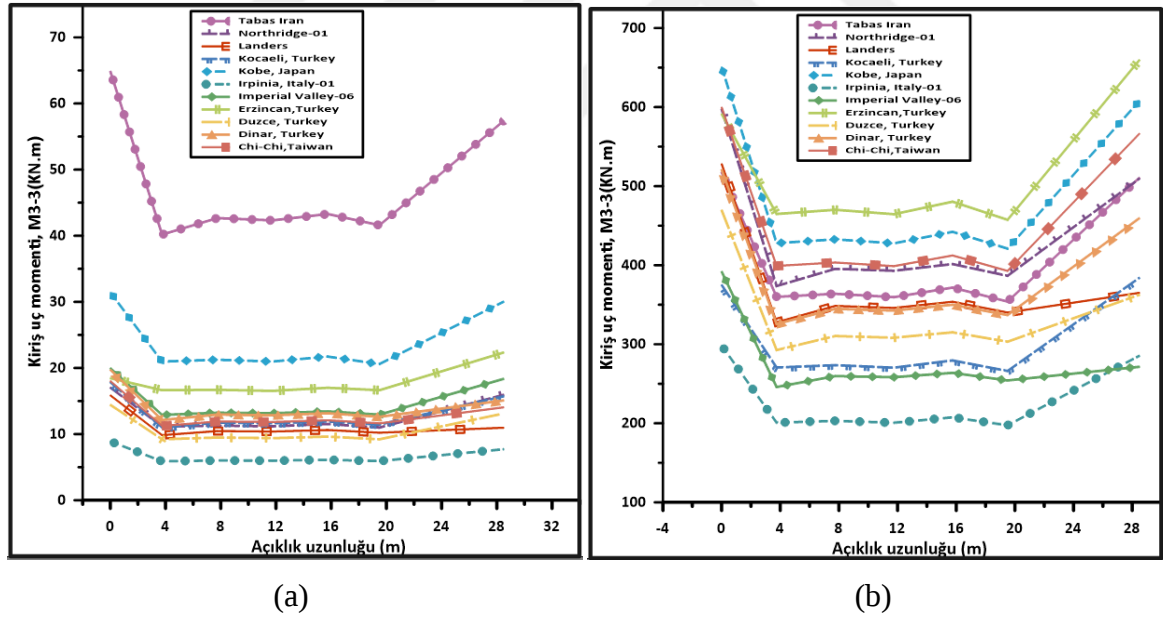
Şekil 40. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon kesme kuvvetleri (V_{3-3})



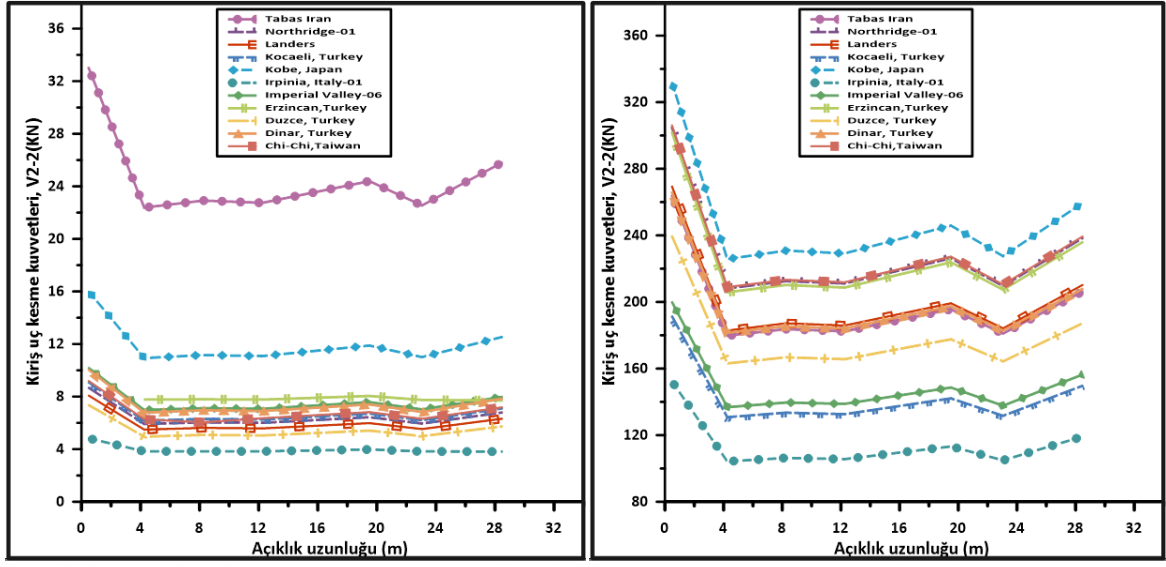
Şekil 41. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki kolon kesme kuvvetleri (V_{2-2})



Şekil 42. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kolon eksenel kuvvetleri



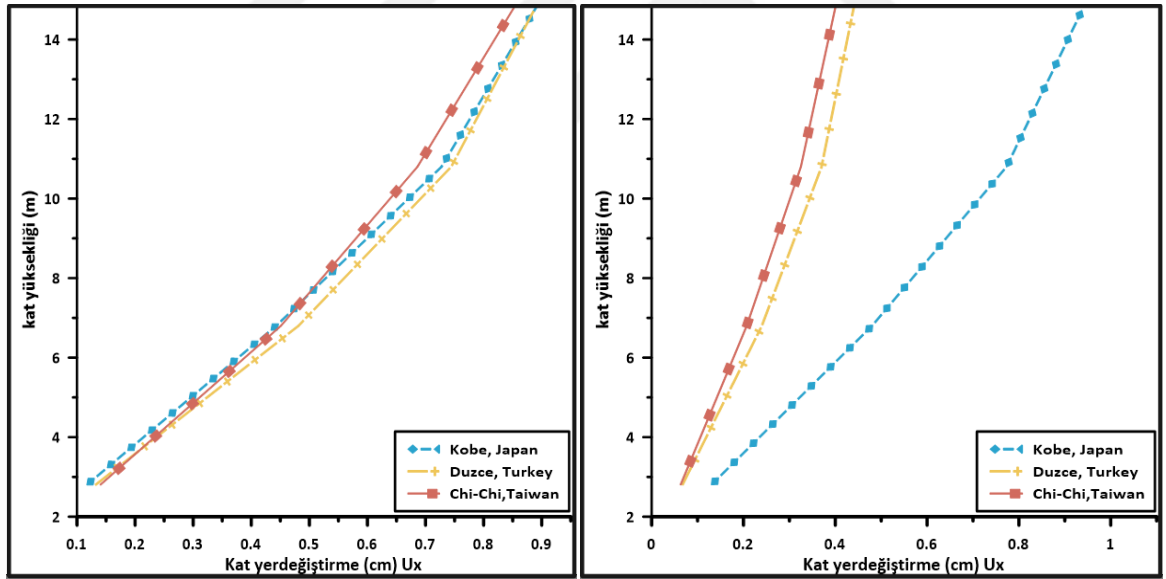
Şekil 43. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kiriş eğilme momentleri (M_{3-3})



(a)

(b)

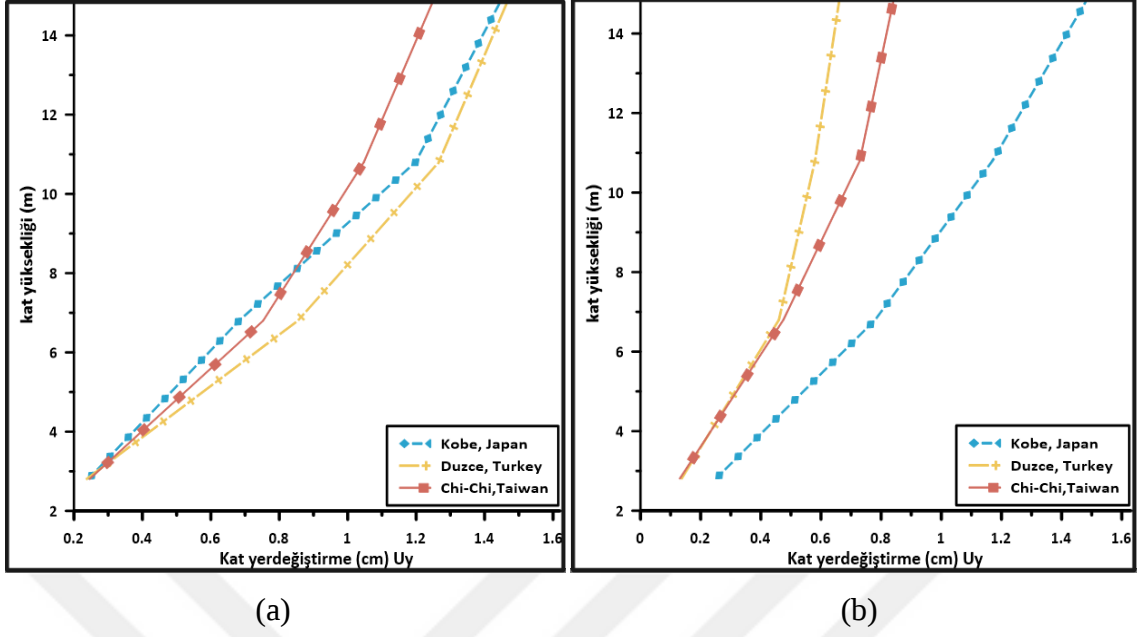
Şekil 44. Ölçeklendirilmiş (a) ve ölçeklendirilmemiş (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kiriş kesme kuvvetleri (V_{2-2})



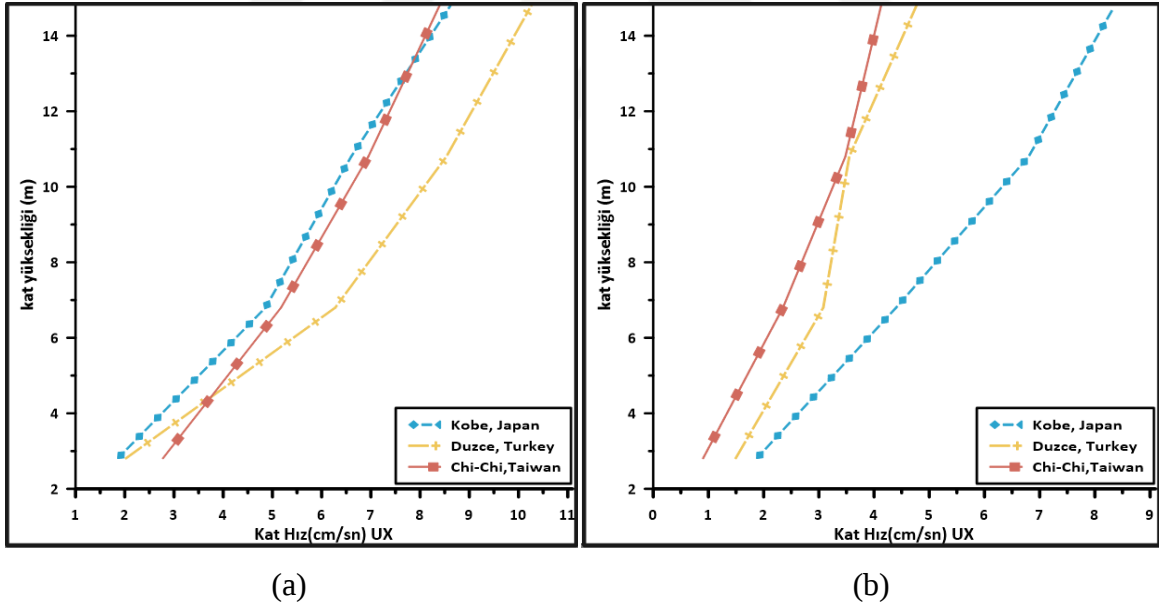
(a)

(b)

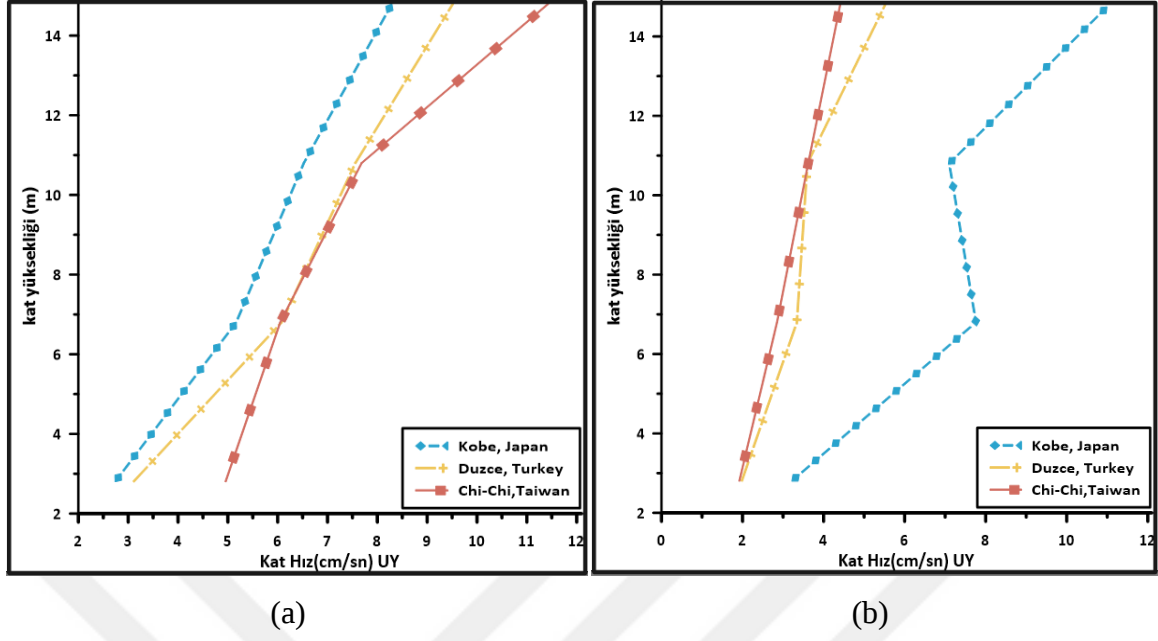
Şekil 45. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki x-doğrultusundaki kat yerdeğiştirmeleri



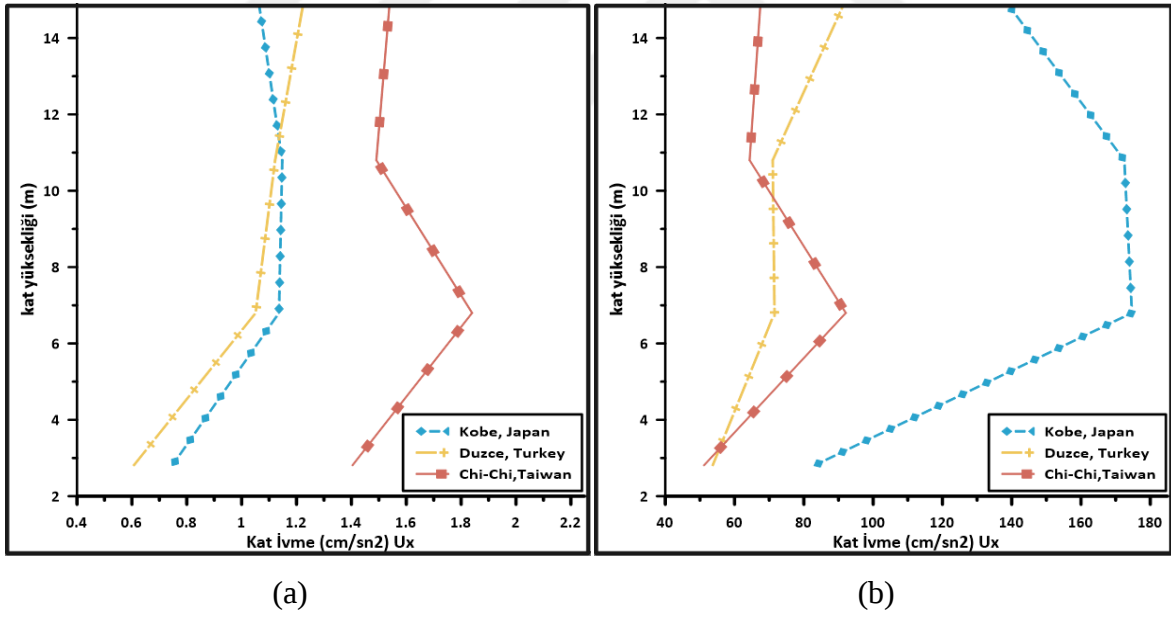
Şekil 46. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki y-doğrultusundaki kat yerdeğiştirmeleri



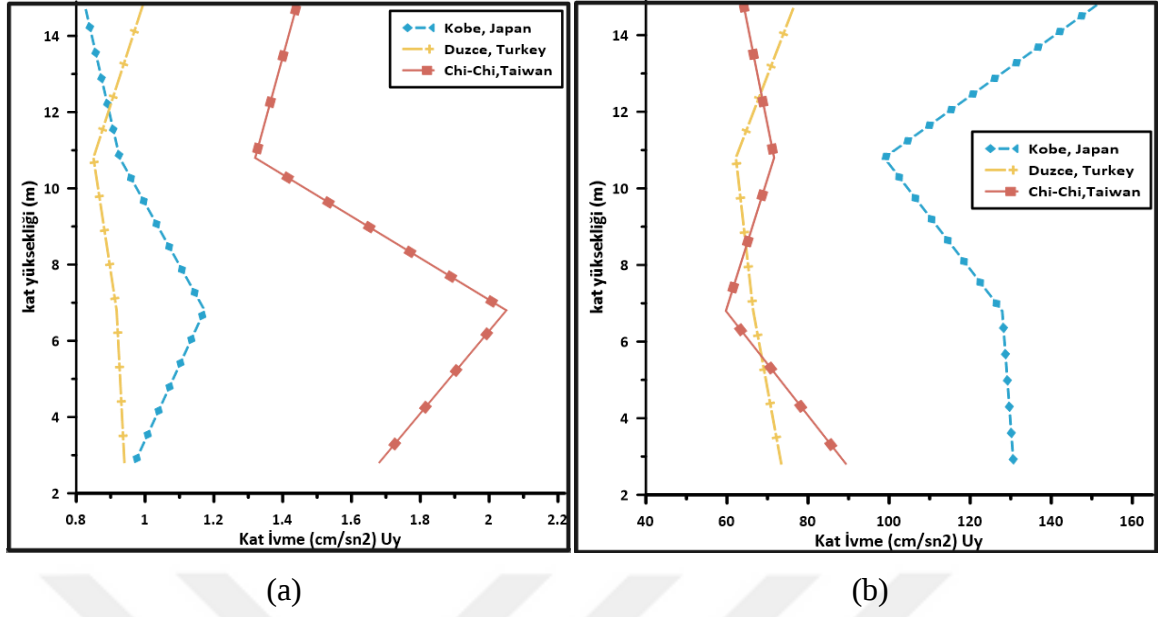
Şekil 47. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalarındaki x-doğrultusundaki kat hızları



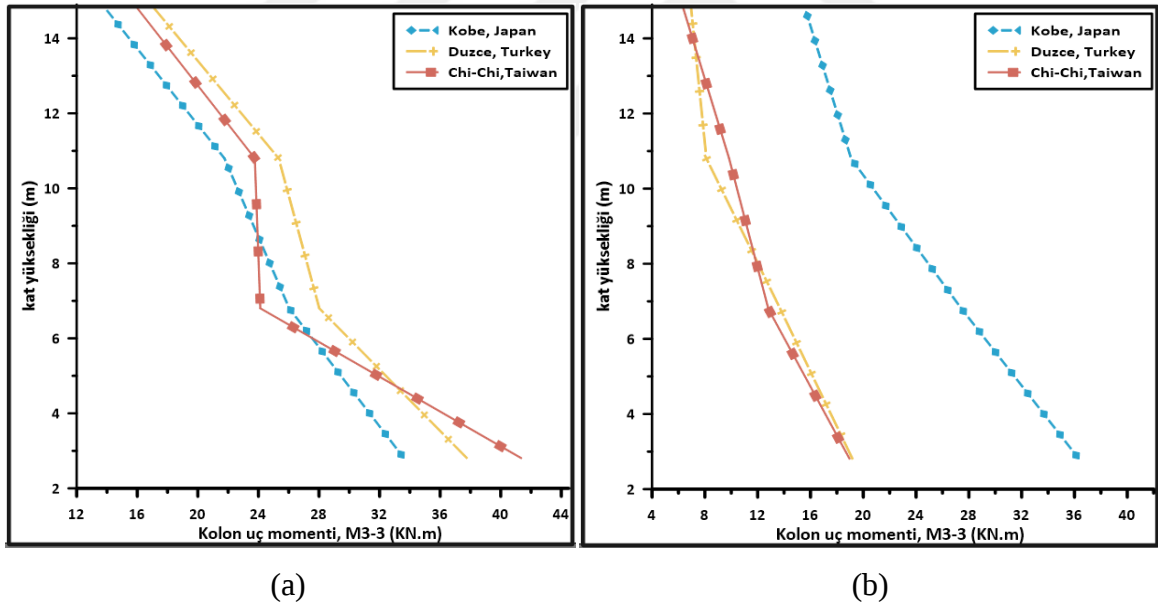
Şekil 48. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadaldaki y-doğrultusundaki kat hızları



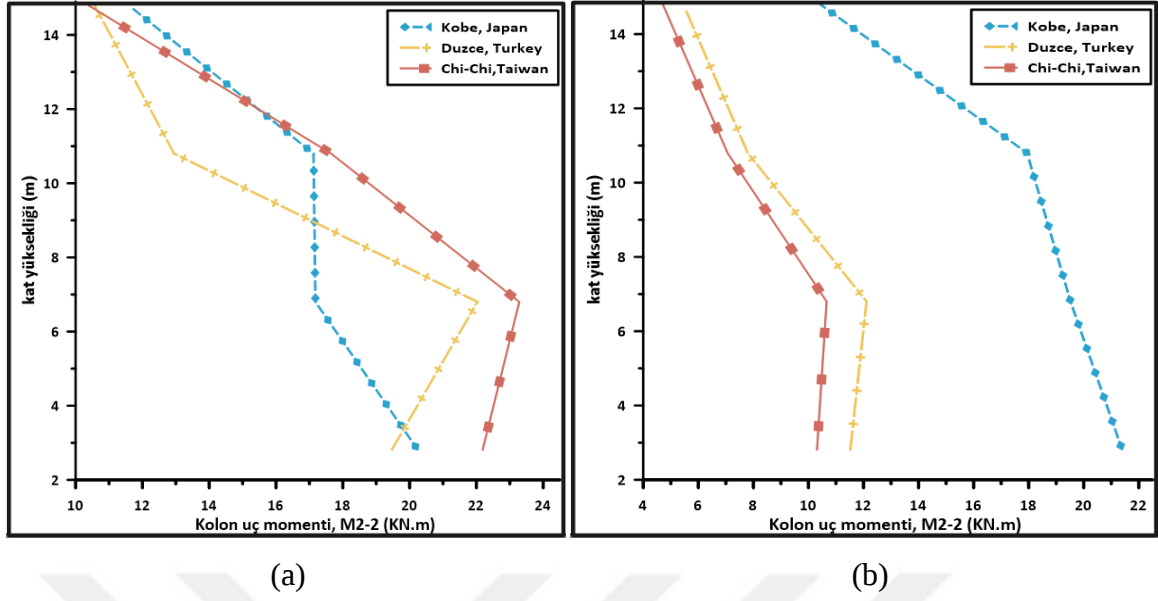
Şekil 49. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadaldaki x-doğrultusundaki kat ivmeleri



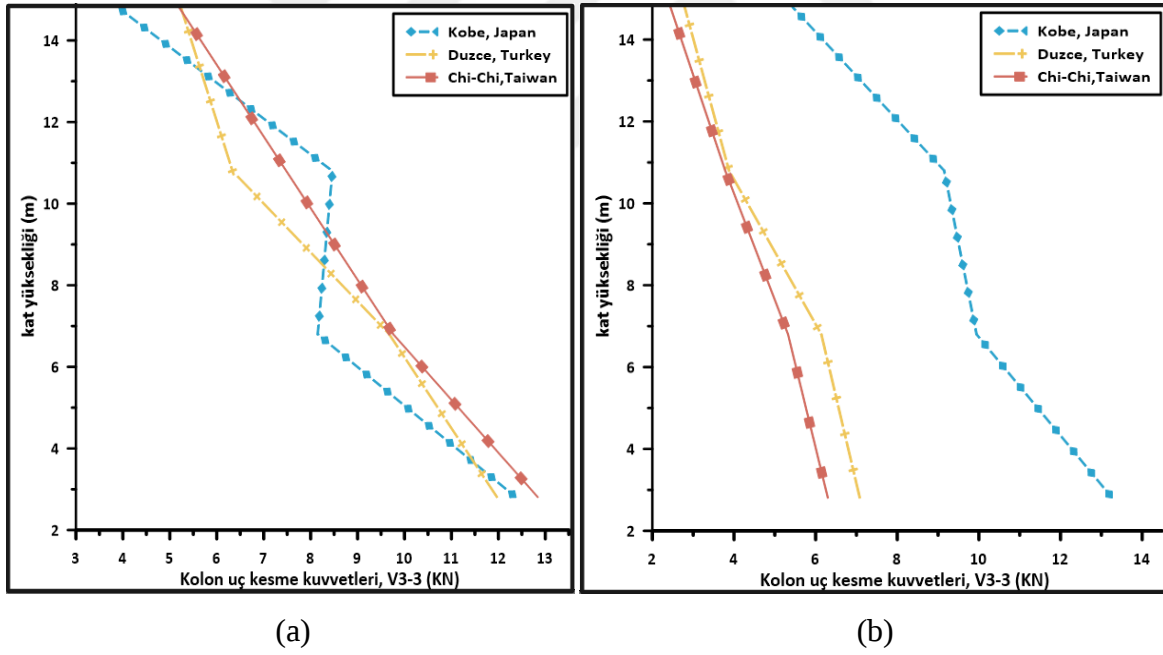
Şekil 50. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki y-doğrultusundaki kat ivmeleri



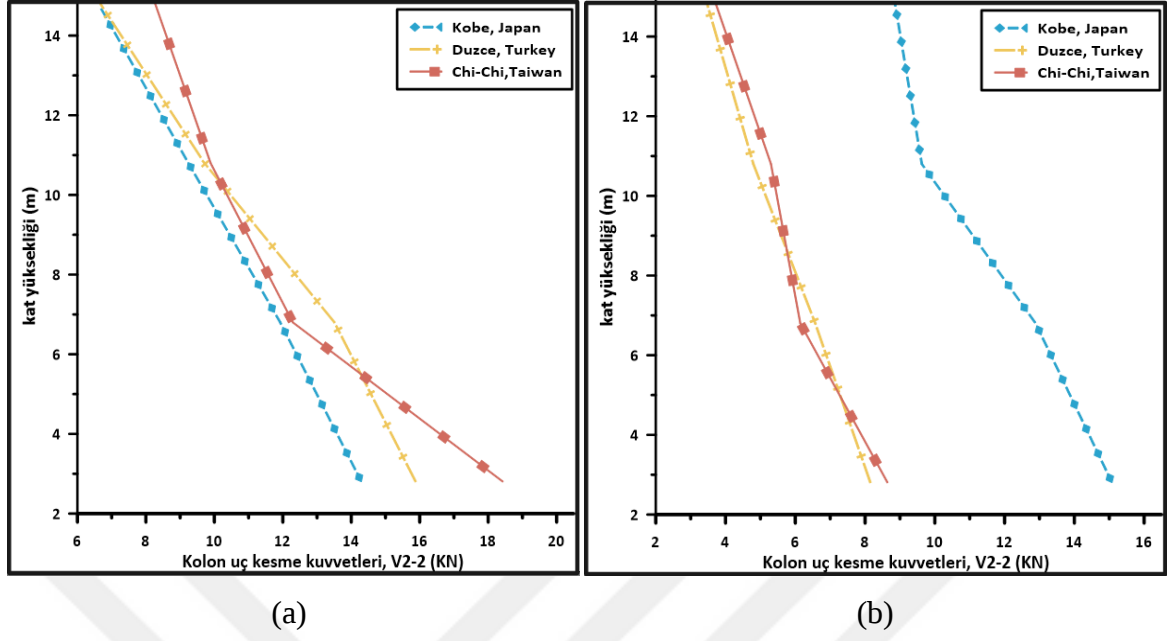
Şekil 51. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kolon uç momentleri (M_{3-3})



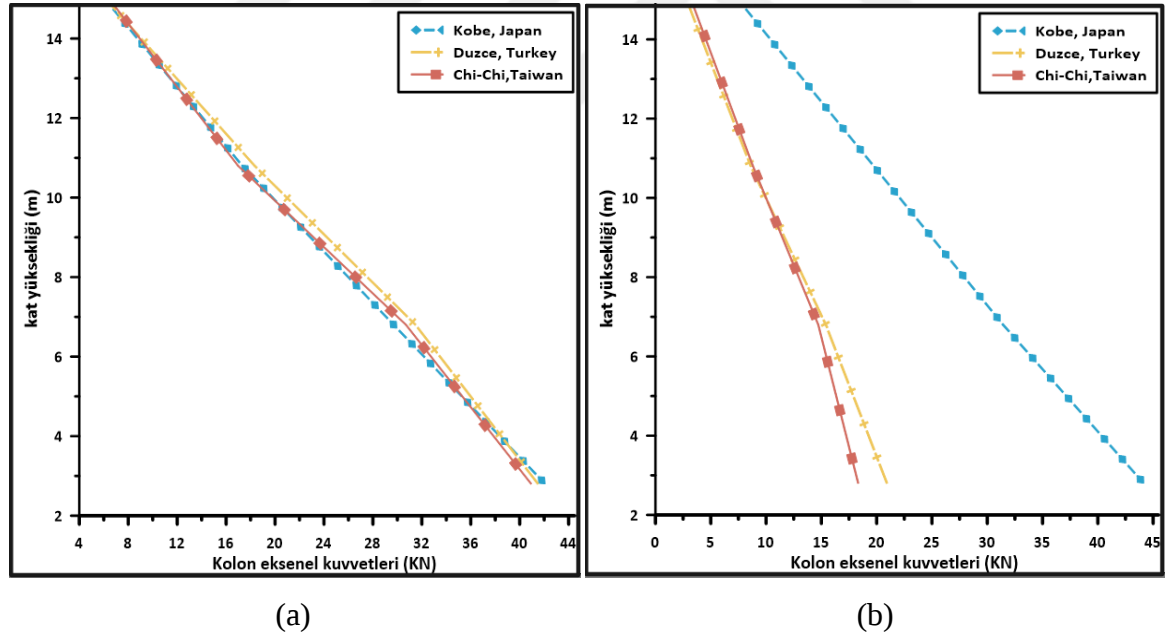
Şekil 52. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kolon uç momentleri (M_{2-2})



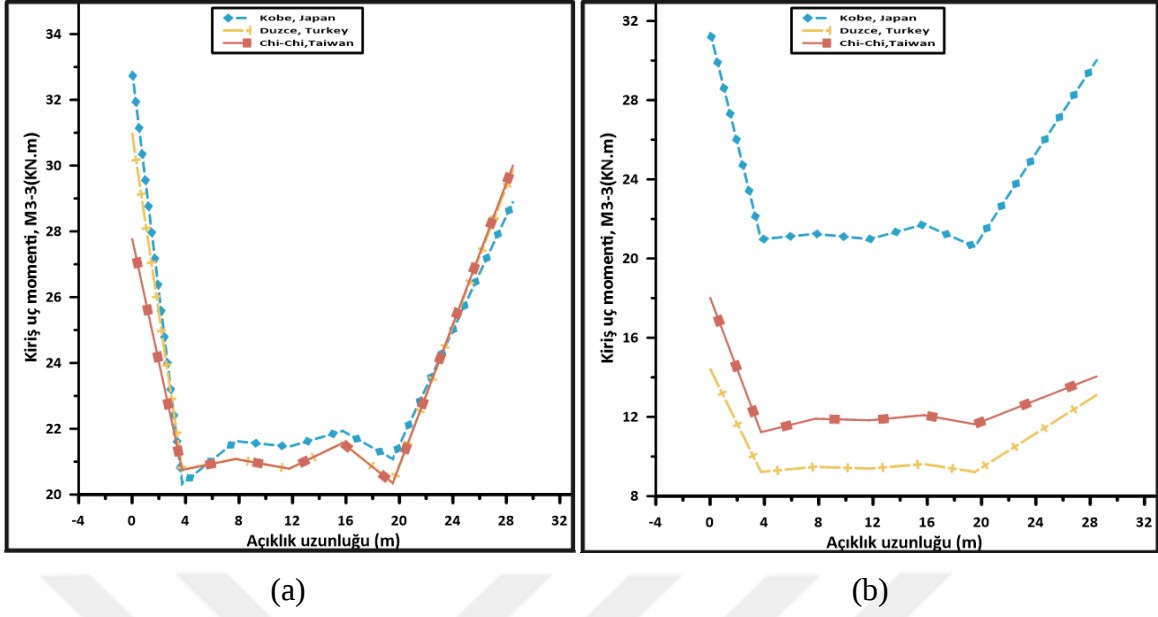
Şekil 53. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kolon kesme kuvvetleri (V_{3-3})



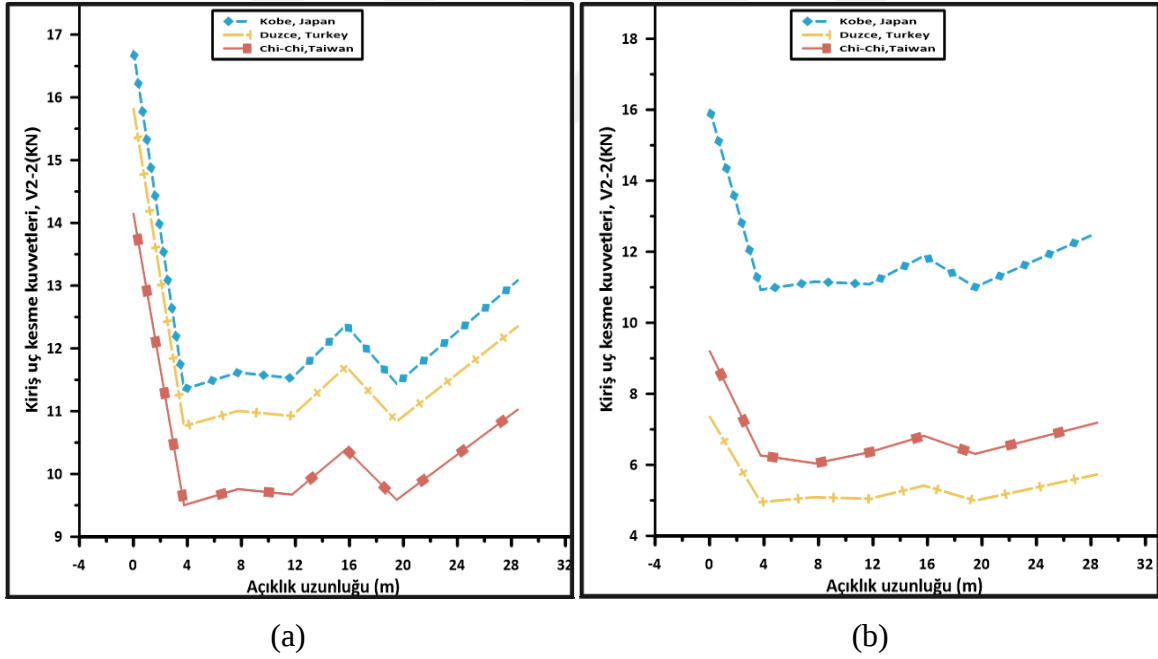
Şekil 54. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kolon kesme kuvvetleri (V_{2-2})



Şekil 55. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadalardaki kolon eksenel kuvvetleri



Şekil 56. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadardaki kiriş eğilme momentleri (M_{3-3})



Şekil 57. Ölçeklendirilmiş uzak (a) ve yakın fay (b) deprem kayıtlarına maruz binadardaki kiriş kesme kuvvetleri (V_{2-2})

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, yakın faya ait on bir yer hareketi ve uzak faya ait üç yer hareketi; PEER veri bankasından tasarım ivme spektrumlarına uygun olacak bir şekilde, faya olan uzaklık ve büyüklük dikkate alınarak seçilmiştir. Zaman tanım alanında ölçeklendirme metodu temel alınarak oluşturulan SeismoMatch programı ile 2018-TBDY'ye uygun bir hedef tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme işlemleri tamamlandıktan sonra, tasarımda kullanılmak üzere tasarım ivme spektrumlarına daha iyi uyumu sağlayan on bir yakın fay yer hareketi ve üç uzak fay yer hareketi kayıtları elde edilmiştir. Bu elde edilen kayıtlar, SAP2000 programında oluşturulan çelik yapının zaman tanım alanı analizinde kullanılmışlardır. Aşağıda, farklı deprem kayıtları üzerinde yapılan zaman tanım alanında analizinden çıkarılabilecek temel sonuçlar ve öneriler belirtilmiştir.

Tezin ilk bölümünde, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemini kullanan SeismoMatch programı ile faya yakın on bir yer hareketi ölçeklendirilmiştir. Tezin ikinci aşamasında, SAP2000 programında çelik yapının Zaman tanım alanı analizinde ölçeklendirme SeismoMatch programından alınan uygun kayıtlar ve gerçek kayıtlar kullanılmıştır. Zaman tanım alanı analizler sonucunda çelik yapı boyunca oluşan yerdeğiştirme, hız ve ivme değerleri ve momenti, kesme dayanımı ve normal kuvvet değerleri, ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş yer hareketine göre grafikler yardımıyla sunulmuştur. Yapı boyunca oluşan ivme değerleri değişkendir. Yapı yüksekliği ile birlikte hız ve yerdeğiştirme değerleri artmıştır. Kolonlarda kesme kuvveti değerleri kolon boyunca en büyük değerleri alırken, normal kuvveti değerleri kolon boyunca maksimum değerlerine ulaşmıştır. Kirişlerde kesme kuvveti değerleri açıklığının başında ve sonunda en büyük değerleri alırken, normal kuvvet değerleri açıklığın ortasında maksimum değerlerine ulaşmıştır. Kirişlerde ve kolonlarda yapısal eleman boyunca momentler, bu elemanların başında ve sonunda en büyük değerlerine ulaşmıştır. Yapı boyunca Kolonlarda yapı yüksekliği ile birlikte momentler, kesme kuvveti ve normal kuvveti değerleri artmıştır. Y eksenini boyunca 7 açıklıktan oluşan dış kirişte moment ve kesme kuvveti değerleri kirişin başlangıcında ve sonunda artmıştır. Ölçeklendirmiş çelik yapısına ait kesit etkisi değerlerinin, ölçeklendirilmemiş çelik yapıya karşılaştırmayla daha küçük olduğu gösterilmektedir. Bu çalışmada, uzak fay ve faya yakın yer hareketlerinin çelik yapılar üzerindeki etkileri zaman tanım alanı analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Kullanılan deprem hareketleri uzak fay ve faya yakın yer hareketleri olarak sınıflandırılmış ve her deprem kaydı için ayrı lineer analizler yapılarak bina etkileri belirlenmiştir. Elde edilen yer değiştirmeler, hızlar, kesme kuvvetleri, normal kuvvetleri, momentler değerleri karşılaştırıldığında; kullanılan ölçeklendirilmiş depremler kayıtlarının hemen hemen tamamında (Chi-Chi ve Düzce), uzak fay yer hareketlerinin etkisinin faya yakın yer hareketlerinin etkisinden daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca ivme değerleri karşılaştırıldığında, faya yakın yer hareketlerin etkisi uzak yer hareketlerinden daha fazla olduğu görülmüştür. Ölçeklendirmiş Kobe depreminde , faya yakın yer hareketlerinin etkisinin uzak fay yer hareketlerinin etkisinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kirişlerde elde edilen momentler ve kesme kuvvetleri değerleri karşılaştırıldığında; kullanılan ölçeklendirilmiş depremler hareketlerinin hemen hemen tamamında (Chi-Chi, Kobe ve Düzce), uzak fay yer hareketlerinin etkisinin faya yakın yer hareketlerinin etkisinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Faya yakın yer hareketi, yüksek hız darbesi içeren büyük bir kinetik enerji girdileri ile uzak fay yer hareketlerine kıyasla yapılar üzerinde çok daha büyük yapısal taleplere ve davranışlara neden olmaktadır.

Yakın fay yer hareketlerinin ölçeklendirilmiş kayıtları, bir bina üzerindeki yakın fay yer hareketlerinin ölçeklendirilmemiş kayıtlarından daha az etkiye sahiptir.

Bu analizin gerçekleştirilmesinde önemli bir yere sahip olan deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi ve seçilmesi konusu yönetmeliklerde yeterince yer almamaktadır. Deprem yönetmeliğinde bu konudaki yeterli bilgi ve öneriler araştırmacılara doğru yolu gösterici olacağından ve bu da konuyla ilgili daha fazla gelişmenin kaydedilmesine yol açacaktır. Deprem mühendisliğindeki gelişmeler, bu konuyla ilgili bilinmeyenlerin açığa çıkmasının önünü açılacaktır.

Aşağıda, bu tez sırasında elde edilen sonuçlar ışığında yapılan bazı öneriler maddeler halinde sunulmaktadır:

- Faya yakın depremlerin etkileri yüksek çelik binalarda incelenebilir.
- Bu analizler betonarme yapılar içinde gerçekleştirilebilir.
- Ölçeklendirme yöntemleri arasındaki farklılıkların çelik veya betonarme yapılar üzerindeki etkileri araştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Adanur, S., Altunışık, A.C., Bayraktar, A., and Akköse, M. 2012. Comparison of near fault and far-fault ground motion effects on geometrically nonlinear earthquake behavior of suspension bridges. Natural Hazards, 64(1), 593-614.
- Akkar, S., and Gülkan, P. (2000). Comparative Performance Evaluation of Displacement Based Design Procedures for Near Field Earthquakes. 12th World Earthquake Engineering Conference, Auckland.
- Akkar, S., and Gülkan, P. (2003). A Near-Fault Design Spectrum and Its Drift Limits. Fourth International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 1-8.
- Akkar, S., Yazgan, U., and Gülkan, P. (2004). Deformation Limits for Simple Non-Degrading System Subjected to Near-Fault Ground Motions. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver.
- Akkar, S., Yazgan, U., and Gülkan, P. (2005). Drift estimates in frame buildings subjected to near-fault ground motions. Journal of Structural Engineering, 131, 7, 1014-1024.
- Alavi, B., and Krawinkler, H. (2001). Effects of near-fault ground motions on frame structures, CUREe-Kajima Phase III, 138, 1097-601.
- Altunisik, A. C., Sesli, H., Hüsem, M., ve Akköse, M. (2019). Performance evaluation of gravity dams subjected to near-and far-fault ground motion using Euler approaches. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 43i 2, 297-325.
- Ardebili, M. H., and Mirzabozorg, H. (2012). Effects of near-fault ground motions in seismic performance evaluation of a symmetric arch dam. Soil mechanics and foundation engineering, 49, 5, 192-199.
- Boore, M. (2001). Effect of baseline correction on displacements and response spectra for several recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 5, 1199-1211.
- Bray, J., and Rodriguez-Marek, A. (2004). Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 11, 815-828.
- Celep, Z. (2008). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.

- Chopra, A. K., and Chintanapakdee, C. (2001). Comparing response of SDF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions. *Earthquake engineering and structural dynamics*, 30, 12, 1769-1789.
- Cox, E., and Ashford, S. A. (2002). Characterization of large velocity pulses for laboratory testing; PEER 2002/22, Berkeley, 1-60.
- Dicleli M., and Budarram, S. (2007). Equivalent linear analysis of seismic-isolated bridges subjected to near-fault ground motions with forward directivity effect. *Engineering Structures*, 29, 1, 21-32.
- Erdik, M., Durukal, E., ve Siyahi, B. (2003). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Deprem Yer Hareketinin Belirlenmesi. Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mayıs, İstanbul.
- Ghobarah, A. (2004, August). Response of structures to near-fault ground motion. In 13th World Conference on Earthquake Engineering (No. 1031).
- Gibson, N., Filiatrault, A., and Ashford, S. A. (2002). Performance of beam to column bridge joints subjected to a large velocity pulse; PEER 2002/24, Berkeley, 1-87.
- Güneş, N. (2009). Yakın fay yer hareketleri ve performansa dayalı tasarıma uyarlanmaları. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hasgür, Z. ve Umut, Ö. (2007). Yakın fay hareketli depremlerin yapılar üzerindeki etkisi ve temel ayırıcılı-sıvı sönümleyicilerin bu yapılardaki etkinliği. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, İstanbul, 305-316.
- Iwan, W. D. (1997). Drift Spectrum: Measure of Demand for Earthquake Ground Motions. *Journal of Structural Engineering*, 123, 4, 397– 404.
- Kalkan, E., Kunnath, K. S. (2006). Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings. *Earthquake Spectra*, 22, 2, 367-390.
- Karaca, H., ve Soyluk, K. (2017). Yakın fay etkisindeki Asma köprülerin asinkronize dinamik analizi. 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, Gaziantep, 155-165.
- Kızılpınar, Ç. (2018). Tarihi yığma yapıların yakın fay etkisi altındaki davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kramer, S. L., (2003). Geoteknik Deprem Mühendisliği. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çeviren: Kamil Kayabalı, Fersa Matbaacılık, Ankara.
- Ling-Kun, C., Li-Zhong, J., Wei, G., Wen-Shou, L., and Ge-Wei, C. (2014). The seismic response of high-speed railway bridges subjected to near-fault forward directivity ground motions using a vehicle-track-bridge element. *Shock and Vibration*, 1-17.

- Mollaioli, F., Bruno, S., Decanini, L. D., and Panza, G. F. (2006). Characterization of the Dynamic Response of Structures to damaging puls-type near-fault ground motions. Meccanica, 41, 23-46.
- Mortezaei, A., and Ronagh, H. R. (2013). Plastic hinge length of reinforced concrete columns subjected to both far-fault and near-fault ground motions having forward directivity. The Structural Design of the Tall and Special Buildings. 22(12), 903-926.
- Newman, A., (1997), Metal Building Systems, Mc Graw Hill, New York. Federal Emergency Management Agency, FEMA-356. (2000). Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings, Washington (DC).
- Ohsaki, Y., (1976). Deprem Dalgasının Spektral Analizine Giriş. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Çeviren: Muzaffer İpek, İstanbul.
- Orozco, G. L., and Ashford, S. A. (2002). Effects of large velocity pulses on reinforced concrete bridge columns, PEER Report 2002/23. University of California, Berkeley.
- Park, S. W., Ghasemi, H., Shen, J., Somerville, P. G., Yen, W. P., and Yashinsky, M. (2004). Simulation of the seismic performance of the Bolu Viaduct subjected to near-fault ground motions. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 33, 13, 1249-1270.
- Rashid, M. (2015). Improving lateral deformation behavior of high rise steel structures under dynamic loadings. M.Sc. Thesis, Gaziantep Üniversitesi Graduate school of natural & applied science, Gaziantep.
- Sevim, B., Atamturktur, S., Altunışık, A. C., and Bayraktar, A. (2016). Ambient vibration testing and seismic behavior of historical arch bridges under near and far fault ground motions. Bulletin of Earthquake Engineering, 14, 1, 241-259.
- Shabestari, K. T., and Yamazaki, F. (2003). Near-fault spatial variation in strong ground motion due to rupture directivity and hanging wall effects from the Chi-Chi, Taiwan earthquake. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 14, 2197-2219.
- Singh, J. P. (1985). Earthquake ground motions: Implications for designing structures and reconciling structural damage. Earthquake Spectra, 1, 2, 239-270.
- Somerville, P. G. (1998). Development of an improved representation of near-fault ground motions. SMIP89 Seminar Proceedings, Oakland, 1-20.
- Somerville, P. G. (2002). Characterizing near fault ground motion for the design and evaluation of bridges. Proceedings of the 3rd National Seismic Conference and Workshop on Bridges and Highways, Portland, 137-148.

- Somerville, P. G. (2003). Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 137, 1-4, 201-212.
- Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., and Abrahamson, N. A. (1997). Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. Seismological Research Letters, 68, 1, 199-222.
- Soyluk K. and Karaca H. (2017). Near-fault and far-fault ground motion effects on cable supported bridges. X International Conference on Structural Dynamics, Procedia Engineering, EURODYN 2017, 199, 2017, 3077-3082.
- Stewart, J. P., Chiou, S. J., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., and Abrahamson, N.A. (2001). Ground motions evaluation procedures for performance-based design; PEER 2001/09, Berkeley, 1-229.
- URL, Demirtaş, R., Erkmen, C. Tektonik Araştırma Grubu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftag.eng.ankara.edu.tr%2Fdeprem.htm&date=2020-06-29>, Son Erişim Tarihi: 29.06.2020.
- Wakabayashi, M. (1986), Design of Earthquake Resistant Building, Mc Graw Hill, New York.
- Wang, G. Q., Zhou, X. Y., Zhang, P. Z., and Igel, H. (2002). Characteristics of amplitude and duration for near fault strong ground motion from the 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 1, 73-96.
- Yılmaz, D. (2018). Sonlu hızla yayılan yakın fay yer hareketi etkisi için çelik kemer köprülerin dinamik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Mohammed SAIF, İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini Taiz'da tamamladı. Mosab Bin Omeer Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında Thamar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında Thamar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmayı başlamıştır. 2018 yılında yüksek lisans eğitimine Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başlamış ve halen devam etmektedir. İngilizce bilen SAIF, evli ve iki çocuk babasıdır.

