T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ÇAPRAZ DÜZENİNE SAHİP ENDÜSTRİYEL BİNALARIN SİSMİK DAVRANIŞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

MERT HUTO

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ÇAPRAZ DÜZENİNE SAHİP ENDÜSTRİYEL BİNALARIN SİSMİK DAVRANIŞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

MERT HUTO

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. ONUR ŞEKER

GEBZE
2023

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

SEISMIC EVALUATION OF INDUSTRIAL BUILDINGS WITH DIFFERENT BRACING CONFIGURATIONS

MERT HUTO

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM

THESIS SUPERVISOR

DOÇ. DR. ONUR ŞEKER

GEBZE

2023

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18/05/2023 tarih ve 2023/29 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/06/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mert Huto'nun tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	: DOÇ. DR. ONUR ŞEKER
ÜYE	: DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR
ÜYE	: DOÇ. DR. HASAN ÖZKAYNAK

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

…./…./….. tarih ve …../…. sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışmada farklı çapraz düzenine sahip endüstriyel binaların sismik davranışları, Perform 3D analiz programı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile incelenmiştir. Tez kapsamındaki ilgili çaprazlı çerçeve sistemleri, çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleridir. Bu sistemlerin sismik etkiler altındaki davranışları 22x2=44 adet deprem kaydı altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile incelenmiştir. İki katta X ve ters V çapraz konfigürasyonuna sahip toplamda iki adet çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemi için seçilen her bir deprem kaydı her iki analiz modelinde dikkate alınmıştır. Her iki analiz modelinin tasarımı ve boyutlandırılması AISC 341-16 ve AISC 360-16 sismik hükümleri uyarınca çelik çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevelerin kolon, kiriş ve çapraz elemanları için öngörülen sismik tasarım gereklilikleri dikkate alınarak yapılmıştır. İlgili çalışma kapsamında dikkate alınan 22 çift deprem kaydı altında zaman tanım alanında doğrusal olamayan analizler ile her iki katmanın ve çatının yer değiştirme oranları, çapraz elemanlarının eksenel kuvvet-kapasite ilişkisi, çapraz elemanların sünekliliği, çapraz elemanlarının katman yer değiştirmesi oranları ile birlikte eksenel kuvvet ilişkisi çiftinin karşılaştırılarak çapraz elemanlarının davranışlarının incelenmesi, kolon elemanlarının eksenel kuvvet ilişkisi, kolon elemanlarının düzlem içi moment talebi ilişkisi ve kolon elemanlarının eksenel kuvvet-moment çiftini karşılaştırılarak davranışları incelenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar altında her iki analiz modeli için kolon, kiriş ve çapraz elemanlarının beklenen sünekliliğe ulaşamadığı ve yapılan tasarımların ekonomik olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Analiz sonuçlarına göre iki katmanlı ve katman uzunlukları birbirine eşit çok katmanlı eş merkezli çaprazlı sistemler için gerekli olan tasarım gereksinimlerinin sismik etkiler altında daha ekonomik olacak şekilde düzenlenmesi gerektiği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Çok Katmanlı Eş Merkezli Çaprazlı Çerçeve Sistemleri, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri, Çelik Yapı Sistemlerinin Perform 3D Analiz Programı Altında Modellemesi.

SUMMARY

In this study, the seismic behavior of industrial buildings with different bracing arrangements was investigated using the Perform 3D analysis program with nonlinear analyzes in the time history. Related braced frame systems within the scope of the thesis are multi-tiered concentric braced frame systems. Behaviors of these systems under seismic effects were investigated by nonlinear analyzes in time history under 22x2=44 earthquake records. As the brace configuration, two tier X and inverted V brace configuration were chosen. The design and dimensioning of both analysis models were made in accordance with the seismic provisions of AISC 341-16 and AISC 360-16. Under the 22 pairs of earthquake records considered within the scope of the related study, nonlinear analyzes in the time history used the displacement ratios of both tiers and the roof, the axial force-capacity relationship of the brace members, the ductility of the brace members, behavior of the brace members with the tier displacement rates, the axial force relationship of the column members, the in-plane moment demand relationship of the column members, and the behavior of the column members by comparing the axial force-moment pair were investigated. Under these results, it was concluded that the column, beam and brace members could not reach the expected ductility for both analysis models and the designs made were not economical. According to the analysis results, it is predicted that the design requirements for two-tier and multi-tiered concentric braced systems with equal tier lengths should be arranged to be more economical under seismic effects.

Key Words: Multi-tiered Concentrically Braced Steel Frames, Nonlinear Analysis Method in Time History, Modeling of Steel Structure Systems under Perform 3D Analysis Program.

TEŞEKKÜR

Öncelikle ciddi bir emek ve özveri ile hazırladığım yüksek lisans tezimi tamamlamış olmanın gururunu yaşamaktayım. Bu bölümde yüksek lisans tezimin yazım sürecinde bana katkılarını ve desteklerini esirgemeyen başta tez danışmanıma aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunacağım.

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Doç. Dr. Onur ŞEKER'e,

bu süreçte beni yalnız bırakmayarak desteklerini her zaman göstererek yanımda olan anneme, babama, abime ve değerli arkadaşım Alpay COŞKUN'a,

ve son olarak bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyip beni her konuda destekleyen ve yol göstericim olan Emre KARAMAN'a ve Emre GANİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2.1. Genel	7
2.2. Çok Katmanlı Eş Merkezli Çaprazlı Çerçeve Sistemlerinin Statik ve Dinamik Etkiler Altındaki Davranışlarının İncelenmesi	8
2.3. Çok Katmanlı Eş Merkezli Çaprazlı Çerçeve Sistemlerinin Amerikan Sismik Hükümlerine Göre Tasarımı	20
3. ÇOK KATMANLI EŞ MERKEZLİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMİNİN TASARIMI	21
3.1. Giriş	21
3.2. Yapı Bilgisi	21
3.3. Düşey ve Sismik Yükler	22
3.4. Kolon ve Çapraz Elemanı Tasarımı	24
3.5. Kiriş Tasarımı	28
3.6. Deplasman Kontrolü	28
3.7. Tasarım Özeti	33
4. PERFORM 3D ANALİZ MODELİ	35
4.1. Genel	35
4.2. Test Çalışması Sayısal Modeli	35
4.3. Kolon Elemanı Modelleme	36
4.4. Kiriş Elemanı Modelleme	39

4.5. Çapraz Elemanı Modelleme 40
4.6. Hasar Sınır Durumları Tanımlama 42
4.7. Deprem Yer Hareketi Tanımlama 42
4.8. Rayleigh Sönüm Modeli Tanımlama 42
5. ANALİZ SONUÇLARI 44
5.1. Statik Analiz Sonucu 44
5.2. Dinamik Analiz Sonuçları 45
5.3. Ters V Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Çok Katmanlı Eş Merkezli Çaprazlı Çerçeve Sistemi Özet Analiz Sonuçları 55
5.4. İki Katmanda X Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Çok Katmanlı Eş Merkezli Çaprazlı Çerçeve Sistemi Özet Analiz Sonuçları 66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79
6.1. Sonuçlar 79
6.2. Öneriler 80

KAYNAKLAR 82
ÖZGEÇMİŞ 84
EKLER 85

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
AISC	:	Amerikan Çelik Yapı Enstitüsü
ASCE	:	Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu
CSA	:	Kanada Sismik Hükümleri
MT-CBF	:	Çok Katmanlı Eş Merkezli Çaprazlı Çerçeve

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
1.1:	MT-CBF çapraz konfigürasyonu: a) V tipi çapraz konfigürasyonu, b) Her katta x çapraz konfigürasyonu, c) Ters v çapraz konfigürasyonu, d) İki katta x çapraz konfigürasyonu.	1
2.1:	Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin farklı çapraz konfigürasyonları.	8
2.2:	Simülasyon altındaki çapraz elemanın burkulması.	10
2.3:	Kolon elemanının sonlu elemanlar modeli ve normal gerilim değerleri.	11
2.4	Düzlem dışı yer değiştirme ve zaman ilişkisi.	12
2.5:	Çok katmanlı çaprazlı çerçevenin sonlu elemanlar modeli için dikkate alınmış eksenel kuvvet - zaman geçmişi ve von-mises gerilme sonuçları.	13
2.6:	İlgili çalışma kapsamında sismik performansı incelenecek çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistem geometrileri.	16
2.7:	56. saniyede kolon elemanında gerçekleşen burkulma etkisi.	17
2.8:	2010 AISC sismik hükümleri uyarınca tasarlanan çerçevenin deforme şekli.	19
3.1:	Çalışma kapsamında dikkate alınan çapraz konfigürasyonları (ters v çapraz konfigürasyonu – iki katta x çapraz konfigürasyonu).	21
3.2:	Ters v çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli (SAP2000 v21).	22
3.3:	İki katta x çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli (SAP2000 v21).	22
3.4:	22 çift deprem yer hareketi kayıtlarının yatay elastik tasarım spektrumu üzerinde ölçeklendirilmesi.	24
3.5:	Analiz durumu 1, analiz durumu 2 ve analiz durumu 3.	25
3.6:	Ters v çapraz konfigürasyonu için analiz durumu 1, analiz durumu 2 ve analiz durumu 3 altında oluşan iç kuvvetler.	25
3.7:	Ters v çapraz konfigürasyonu için analiz durumu 1, analiz durumu 2 ve analiz durumu 3 altında oluşan iç kuvvetler.	26
3.8:	Çerçeve deforme şekli.	30

3.9:	Ters v çapraz düzenine sahip çerçevenin deforme şekli.	30
3.10:	İki katta x çapraz düzenine sahip çerçevenin deforme şekli.	31
4.1:	Taban kesme grafiği – çatı yer değiştirmesi (kip – inch).	36
4.2:	Perform 3D için kolon ve kiriş elemanların rijit bölge tarifleri.	37
4.3:	Kuvvet – deformasyon grafiği.	38
4.4:	Kolon elemanı uzama değerleri.	39
4.5:	a) Ters v çapraz konfigürasyonuna ait uzama değerleri, b) İki katta x çapraz konfigürasyonuna ait uzama değerleri.	40
4.6:	Sönüm oranı – periyot ilişkisi.	43
5.1:	Ters v çapraz düzeni için itme analizi çapraz elemanları eksenel deformasyon adımları.	44
5.2:	Ters v çapraz düzeni içi statik itme eğrisi.	45
5.3:	Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı P/Pc oranları.	55
5.4:	Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı P/Pc oranları.	55
5.5:	Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı P/Pc oranları.	55
5.6:	Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı P/Pc oranları.	56
5.7:	Deprem yer hareketleri – katman 1 deplasman / katman yükseklik oranları.	56
5.8:	Deprem yer hareketleri – katman 2 deplasman / katman yükseklik oranları.	56
5.9:	Deprem yer hareketleri – çatı deplasman / çerçeve yükseklik oranları.	56
5.10:	Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı eksenel kuvvet talepleri.	57
5.11:	Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı eksenel kuvvet talepleri.	57
5.12:	Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı PMM etkileşimi.	57
5.13:	Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı PMM etkileşimi.	57
5.14:	Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı düzlem içi moment talepleri.	58
5.15:	Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı düzlem içi moment talepleri.	58
5.16:	Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı süneklilik talepleri (μu/μy).	58
5.17:	Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı süneklilik talepleri (μu/μy).	58

5.18: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı süneklilik talepleri (μu/μy). 59
5.19: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı süneklilik talepleri (μu/μy). 59
5.20: Deprem yer hareketleri – kat öteleme oranları. 61
5.21: Deprem yer hareketleri – katman 1 öteleme oranları. 61
5.22: Deprem yer hareketleri – katman 2 öteleme oranları. 61
5.23: Deprem yer hareketleri – kolon elemanı maksimum PMM etkileşimi. 63
5.24: Deprem yer hareketleri – kolon elemanı maksimum düzlem içi eğilme momenti talepleri. 63
5.25: Deprem yer hareketleri – çapraz elemanı eksenel kuvvet talebinin kapasiteye oranları (P/Pc). 65
5.26: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μu/μy). 65
5.27: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μu/μy). 65
5.28: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μu/μy). 66
5.29: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μu/μy). 66
5.30: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı P/Pc oranları. 67
5.31: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı P/Pc oranları. 67
5.32: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı P/Pc oranları. 67
5.33: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı P/Pc oranları. 67
5.34: Deprem yer hareketleri – katman 1 deplasman / katman yükseklik oranları. 68
5.35: Deprem yer hareketleri – katman 2 deplasman / katman yükseklik oranları. 68
5.36: Deprem yer hareketleri – çatı deplasman / çerçeve yükseklik oranları. 68
5.37: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı eksenel kuvvet talepleri. 69
5.38: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı eksenel kuvvet talepleri. 69
5.39: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı PMM etkileşimi. 69
5.40: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı PMM etkileşimi. 69

5.41: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı düzlem içi moment talepleri. 70
5.42: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı düzlem içi moment talepleri. 70
5.43: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı süneklilik talepleri (μ_u/μ_y). 70
5.44: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı süneklilik talepleri (μ_u/μ_y). 71
5.45: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı süneklilik talepleri (μ_u/μ_y). 71
5.46: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı süneklilik talepleri (μ_u/μ_y). 71
5.47: Deprem yer hareketleri – çapraz elemanı eksenel kuvvet talebinin kapasiteye oranları (P/Pc). 73
5.48: Deprem yer hareketleri – katman 1 öteleme oranları. 73
5.49: Deprem yer hareketleri – katman 2 öteleme oranları. 73
5.50: Deprem yer hareketleri – kolon elemanı maksimum PMM etkileşimi. 75
5.51: Deprem yer hareketleri – kolon elemanı maksimum düzlem içi eğilme momenti talepleri. 75
5.52: Deprem yer hareketleri – çapraz elemanı eksenel kuvvet talebinin kapasiteye oranları (P/Pc). 77
5.53: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y). 77
5.54: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y). 77
5.55: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y). 77
5.56: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y). 78

TABLOLAR DİZİNİ

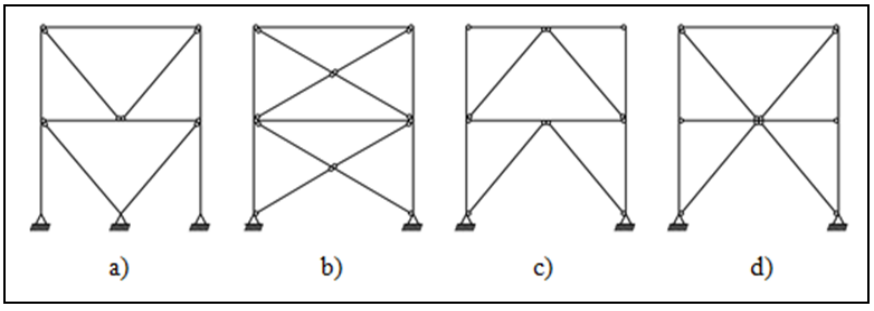
Tablo No:		Sayfa
3.1:	Deprem yer hareketleri ve ölçek faktörleri.	23
3.2:	Analiz durumu iç kuvvet talepleri.	26
3.3:	Ters v çapraz modeli için yer değiştirme kontrolü.	30
3.4:	İki katta x çapraz modeli için yer değiştirme kontrolü.	31
3.5:	Katman yer değiştirme istatistikleri.	32
3.6:	Taban kesme hesabı.	33
3.7:	Çapraz elemanı tasarım değerleri.	34
3.8:	Kiriş elemanı tasarım değerleri.	34
3.9:	Kolon elemanı tasarım değerleri.	34
4.1:	Kolon elemanı için doğrusal olmayan prosedürler için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri – yapısal çelik bileşenler.	38
4.2:	Kiriş elemanı için doğrusal olmayan prosedürler için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri – yapısal çelik bileşenler.	40
4.3:	Çapraz elemanı için doğrusal olmayan prosedürler – yapısal çelik bileşenler – eksenel hareketler için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri.	41
4.4:	Perform 3D için sönüm değerleri.	43
5.1:	Ters v çapraz düzeni için kat ve katman öteleme değerleri.	60
5.2:	Ters v çapraz düzeni için kolon elemanı PMM etkileşimi ve moment talebi değerleri.	62
5.3:	Ters v çapraz düzeni için çapraz elemanı P/Pc oranları ve süneklilik değerleri.	64
5.4:	İki katta x çapraz düzeni için kat ve katman öteleme değerleri.	72
5.5:	İki katta x çapraz düzeni için kolon elemanı PMM etkileşimi ve moment talebi değerleri.	74
5.6:	İki katta x çapraz düzeni için çapraz elemanı P/Pc oranları ve süneklilik değerleri.	76

1. GİRİŞ

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeveler (MT-CBF) çapraz katmanları seviyesinde kesişen yatay dikmelerden veya diyaframlardan yoksun, dikey olarak yönlendirilmiş birden fazla çapraz elemanı kademelerinden oluşmaktadır.

Uçak hangarları, eğlence merkezleri, endüstriyel tesisler gibi yüksek tek katlı çelik binaların uzun açıklıklı alanlar gerektiren bina uygulamalarında, temel seviyesinden çatı seviyesine kadar uzanan tek katmanlı çapraz konfigürasyonu yerine çok katmanlı çapraz konfigürasyonunun kullanılması yaygınlaşmıştır. Fakat çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri davranış olarak geleneksel çaprazlı çerçeve sisteminden oldukça farklıdır. Davranışlarındaki bu farklılıktan dolayı sismik etkiler sırasında elemanlarda beklenen süneklik talepleri de doğal olarak birbirinden farklı olacaktır.

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeveler, yukarıda da bahsedildiği üzere kiriş elemanları ile ayrılmış, çerçevenin yüksekliği boyunca uzanan eş merkezli olarak bağlanmış çoklu çapraz katmanlarından oluşur. Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeveler AISC 341-16'ya göre V, ters V, X ve iki katta X gibi çeşitli çapraz konfigürasyonları için kullanılabilir olduğu söylenmektedir. İlgili tez kapsamında incelenecek olan sistemler iki katta X ve ters V çapraz konfigürasyonuna sahip sistemlerdir. Bahsedilen bu konfigürasyon çeşitleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: MT-CBF çapraz konfigürasyonu: a) V tipi çapraz konfigürasyonu, b) Her katta x çapraz konfigürasyonu, c) Ters v çapraz konfigürasyonu, d) İki katta x çapraz konfigürasyonu.

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin yukarıda da bahsedildiği üzere birkaç farklı çapraz konfigürasyonu altında tasarımı yapılabilmektedir. Fakat ilgili sistemlerin tasarım aşamasında kolon elemanlarının

boyutlandırılmasında genel olarak I tipi çelik profiller tercih edilmektedir. Bunun en önemli sebebi ise çapraz elemanların I profillerin zayıf yönlerinden bağlanıp hem o yöndeki rijitliği arttırarak ilgili yapıdaki düzlem içi beklenen yer değiştirmeyi azaltmak hem de düzlem dışı rüzgar ve sismik yük etkilerinden dolayı oluşacak eğilme momentlerine ve yer değiştirmeye karşı ilgili kolon kesitinin güçlü yönünü düzlem dışı yöne teşkil edecek şekilde konumlandırmak daha ekonomik sonuç vermektedir. Aynı zamanda kolon yüksekliği boyunca düzlem dışı yönünde herhangi bir diyafram veya yatay dikme olmaması, kolon elemanının burkulma boyunun bu yönde tam çerçeve yüksekliğine eşit olması ilgili kolon elemanının burkulma kapasitesini oldukça azaltmaktadır. Dolayısıyla beklenen rüzgar ve sismik etkilerinden dolayı oluşacak eğilme momentleri burkulma boyu mesafesi tam boy olan profiller tarafından karşılanacaktır. Ayrıca düzlem içi yönünde ise kolon elemanlarının burkulma boyu yatay elemanlar kullanılarak burkulma kapasiteleri ciddi oranda artmaktadır. Aynı zamanda yukarıda bahsedilen sismik yük etkileri altında da ilgili kolon elemanlarının arasına çapraz elemanları teşkil edilerek karşılanmaktadır.

Tasarım gereği çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin geleneksel çaprazlı çerçeve sistemlerinden önemli farklarından bir tanesi ise çok katmanlı çerçeve sistemlerinin tek serbestlik derecesine sahip olmasıdır. Dolayısıyla bu sistemlerde çapraz katman bölgelerinde herhangi bir kat diyaframı bulunmaması sismik etkiler altında kolon elemanlarda düzlem dışı deformasyona neden olarak stabiliteyi etkileyebilir. Kolon elemanının düzlem dışı deformasyonuna neden olup stabilitesini bozan bu kuvvetler çapraz elemanların sismik etkiler altında düzlem dışı burkulmasından dolayı oluşan kuvvetlerdir. Bu tür düzlem dışı kuvvetler daha çok narinlik şartını sağlayamayan çaprazlı çerçeve sistemlerindeki kolon elemanları için kritik olmaktadır.

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevelerin çaprazlarla tutulu kiriş elemanlarında da tıpkı narin kolon elemanlarda olduğu gibi kritik durum beklenmektedir. Ters V ve V tipi çapraz konfigürasyonuna sahip bu sistemlerde, çapraz elemanları ile tutulu olan bu kirişlerde sismik etkiler altında çapraz elemanlarında oluşacak burkulmadan altında ilgili kiriş elemanlarında burulma etkileri görülebilmektedir. Kiriş elemanlarında beklenen burulma etkileri genelde V, ters V ve iki katta X çapraz konfigürasyonu ile bağlanmış kiriş elemanlarının bağlantı noktalarındaki düzlem dışı serbestliklerinden dolayı görülmektedir. Tek

katta X çapraz konfigürasyonunda çapraz elemanları kiriş elemanlarına bağlanmadığı için kiriş elemanlarında beklenen burulma durumu söz konusu değildir. İki katta X çapraz konfigürasyonu sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevelerde ise çapraz elemanları ile bağlanmış kiriş elemanları her iki katmandaki çapraz elemanları ile tutulu olduğu için düzlem dışı stabilitesini sağlayabilmektedir. Dolayısıyla ters V ve V tipi çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevelerin çapraz elemanları ile bağlanmış kiriş elemanlarının bu etkiler altında düzlem dışı stabilitesinin sağlaması gerekmektedir.

Çelik çaprazlı çerçeve sistemlerinde sismik etkiler altında çapraz elemanlarında çekme etkisi altında akma, basınç etkisi altında ise burkulma etkileri beklenmektedir. Bu etkiler elastik ötesi davranış olarak tanımlanmaktadır. Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı bir sistemde ise düzlem dışında herhangi bir diyafram veya dikme bulunmadığı için bu kolon, kiriş ve çapraz birleşim noktalarında dengelenmemiş kuvvet oluşması beklenmektedir. Dolayısıyla çapraz elemanlarla tutulmuş kolon elemanlarında düzlem içi yönünde eğilme momenti oluşturacak etkiler bu dengelenmemiş kuvvetlerdir. Düzlem dışı yönde dikme veya diyafram olmadan her bir katman boyunca kolon, kiriş ve çapraz elemanlarının düğüm noktalarında oluşacak bu dengelenmemiş kuvvetler katmanlarda ötelemelere neden olabilmektedir.

Sismik etkiler altında beklenen düzlem içi ve düzlem dışı etkiler narin kolon elemanlarında eğilmeli burulmalı burkulmaya neden olabilir. Bunun nedeni ise narin kolon elemanlarında sismik etkiler altında oluşacak olan eksenel kuvvet etkisidir. Kolon elemanlarda oluşacak bu etkiler beraberinde ötelemeleri de getireceği için doğal olarak çapraz elemanlarda beklenenden daha erken akmaya ve burkulmaya neden olacaktır. Bu durum çapraz elemanın büyümesine neden olabilir. Dolayısıyla iyi bir sismik performans ve daha ekonomik sonuç elde etmek için tasarım sırasında bu durum dikkate alınmalıdır.

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinde her bir çapraz katmanını birbirinden ayıran kiriş elemanlarının da oldukça büyük önemi vardır. Bunlardan bir tanesi ise sismik etkiler altında çapraz elemanında basınç etkisinden dolayı kolon, kiriş ve çapraz birleşim bölgelerinde düzlem içi ve düzlem dışı dengelenmemiş kuvvet oluşarak, kolon elemanlarında deformasyona olacaktır. Bu durum altında iki katman arasında kiriş elemanı bulunmaması, çapraz ve kolon birleşim noktasında oluşacak dengelenmemiş kuvvetlerden dolayı kolon elemanının

burkulmasına yol açacaktır. Bu bölgedeki kiriş elemanı eksikliği dengelenmemiş kuvvet etkisindeki kolon elemanında ciddi büyüklükte düzlem içi eğilme talebi oluşmasına neden olacaktır. Ayrıca kiriş elemanının tıpkı kolon elemanında olduğu gibi çapraz elemanlarının çekme ve basınç etkisi altında beklenen akma ve burkulma dayanımlarına karşılık geldiği kuvvetlere direnecek şekilde boyutlandırılması yapılacaktır. Çünkü çapraz elemanların beklenen dayanımlarına karşılık gelen bu kuvvetlerin düşey etkisini kolon, yatay etkisini ise kiriş elemanları tarafından karşılanacaktır.

Bu sistemlerde tıpkı geleneksel çaprazlı çerçeve sistemleri gibi elastik ötesi davranış yani plastik mafsal çapraz elemanlarında oluşacak şekilde detaylandırılacaktır. Beklenen sismik etkiler altındaki elastik ötesi davranışlar çapraz elemanlarda gerçekleşecektir. Analizlerde dikkate alınacak iki katta X ve ters V çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı sistemlerin kiriş elemanları sismik etkiler altında elastik ötesi davranış yapacak olan çapraz elemanların burkulmasından dolayı oluşacak dengelenmemiş düşey yüklere karşı direnecek şekilde boyutlandırılması yapılacaktır. Ayrıca bu sistemler düzlem dışı yönünde herhangi bir diyafram olmadığı için çapraz ile bağlanan kiriş elemanlarında sismik etkiler altında burulma etkileri görülmemesi için gerekli mukavemeti sağlanması gerekmektedir.

İlgili tez kapsamında dikkate alınan iki katta X ve ters V çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin Perform 3D'de analiz modeli oluşturulmuştur. Bu analiz sonucunda sadece iki katmana sahip çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerin 22 çift deprem kaydı altında her iki katman ve çatı yer değiştirmeleri, çapraz elemanlarının sünekliliği, çapraz elemanlarının eksenel kuvvet kapasite ilişkisi ile birlikte katman yer değiştirmeleri karşılaştırılarak elemanların davranışlarının gözlemlenmesi, kolon elemanlarının eksenel kuvvet ilişkisi ile birlikte düzlem içi moment taleplerini karşılaştırarak sismik etkiler altındaki davranışları incelenmiştir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri uzun yıllar boyunca fabrika, endüstriyel tesisler, uçak hangarları gibi uzun açıklık gerektiren

uygulamaları yapılmıştır. Fakat bu sistemler bildiğimiz geleneksel çaprazlı çerçeve sistemleri gibi tasarlanmaktaydı. Düzlem dışı herhangi bir dikme veya diyaframdan yoksun bu sistemlerinin sismik etkiler altındaki davranışları geleneksel çaprazlı çerçeve sistemlerinin davranışları gibi olmayacağı düşünülmüştür. Amerika'da ve Kanada'daki araştırmacılar çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin davranışlarını inceleyen çeşitli çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin davranışlarının, geleneksel çaprazlı çerçeve sistemlerinin davranışlarından farklı olduğunu doğrular sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla araştırmacılar çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için özel tasarım gerekliliklerinin olması gerektiğini savunmuşlardır ve bu özel tasarım gereklilikleri AISC (American Institute of Steel Construction) ve CSA (Canadian Standarts Association) sismik hükümleri ile bizlere tanıtmışlardır. AISC 2016 ve CSA 2014 sismik hükümleri ile birlikte bizlere çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için en güncel tasarım gerekliliklerini sunmuşlardır.

Bu tezde dikkate alınan iki katta X ve ters V çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerin AISC 2016 sismik hükümleri uyarınca tasarım ve boyutlandırılması yapılacaktır. Daha sonra 22 çift deprem kaydı altında her iki modelin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılarak eleman bazında ve sistem bazında yapının davranışı incelenecektir. Bu inceleme sonucunda AISC 2016 sismik hükümleri uyarınca yapılan çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin tasarım gerekliliklerinin yeterli olup olmadığı, tasarım şartlarında herhangi bir iyileştirme yapılıp yapılmayacağı hakkında bilgiler vererek tasarım prosedürü geliştirmek için önemli bir çalışma olmayı hedeflemektedir.

Bu çalışma aslında çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için AISC 2016 sismik hükümleri uyarınca bir değerlendirme olacaktır. Her iki analiz modelindeki kolon, kiriş ve çapraz elemanlarının tasarımı AISC 2016 sismik hükümlerince yapılacaktır. 22 çift deprem kaydı altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan şekilde Perform 3D programında yapılacak analizlerin sonuçları incelenerek sonuçların aslında ne kadar konservatif olup olmadığı karşılaştırılacaktır. Bu çalışma çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için son derece faydalı bir çalışma olacaktır ve bu sistemlerin gelişmesi için büyük katkı sağlayacaktır.

Bu incelemeler Perform 3D programında 22 çift deprem kaydı altında her iki analiz modeli için eleman bazında çapraz elemanlardaki eksenel kuvvetin zamana bağlı ilişkisini, çapraz elemanların sünekliliğinin zamana bağlı ilişkisini, çapraz

elemanların eksenel kuvvetin yer değiştirme ile olan ilişkisini, kolon elemanların eksenel kuvvetin zamana bağlı ilişkisi, kolon elemanların düzlem içi momentin zamana bağlı ilişkileri ile bunların katman yer değiştirmesi ile ilişkilerini ve kolon elemanları için eksenel kuvvet-momentin zamana bağlı ilişkileri incelenecektir. Bu incelemeler her iki analiz modeli için düşünüldüğünde çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin davranışlarını görmek için önemli bir çalışma olacaktır. Sonuç olarak bu içeriğe sahip ilgili tez için hem literatür hem de tasarım prosedürünü geliştirmek için önemli bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

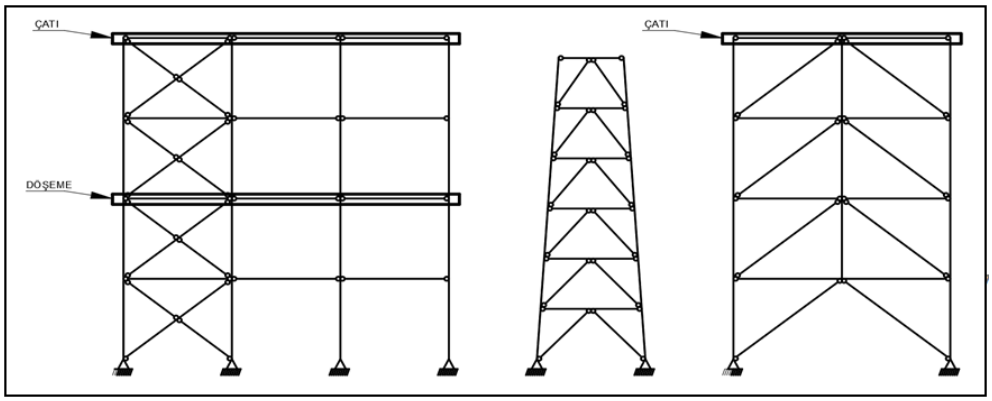
2.1. Genel

Bu bölümün amacı, ilk başta Amerika'da daha sonra ise dünya genelindeki endüstriyel binalarda, uçak hangarlarında veya ofis binaları gibi yüksek tek katlı çelik binalarda kullanılan çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerini tasarlamak için kullanılan sismik tasarım hükümleri hakkında geçmiş çalışmaları gözden geçirerek davranışları özetlenmiştir.

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri diğer geleneksel çaprazlı çerçeve sistemlerinin aksine ilgili yapının zemininden tepe noktasına kadar birden fazla çapraz elemanı ile kullanılarak geniş açıklıklarda tek katmanlı uzun çapraz elemanlarından kaçınılır. Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri tek bir kat yüksekliği boyunca üst üste yığılmış çoklu çapraz katmanlarından oluşmaktadır.

Çok katmanlı eş merkezli çerçevelerin çapraz elemanları, ilgili yapının sismik etkilere karşı direncini arttırarak beklenen performansı önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu sistemlerden bazıları Şekil 2.1'de gösterildiği gibi birbirinden farklı uygulama konfigürasyonları yapılmaktadır. Daha önce bahsedildiği üzere çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri, zemin ve çatı seviyeleri arasındaki diyaframlardan veya herhangi bir dikme elemanlardan yoksun sistemlerdir. Bu şekilde diyafram olmaması aklımızda direkt tek serbestlik dereceli bir sistem getirmektedir. Sistemin bu şekilde çerçeve yüksekliği boyunca düzlem dışı desteklerden yoksun olması da doğal olarak ilgili kolonların düzlem dışı stabilitesi ile ilgili endişe oluşturmaktadır.

Bu bölümde ise çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerine ait günümüze kadar yapılmış birçok akademik çalışmadan bazıları özetlenmiştir. Bu çalışmalarda statik ve dinamik etkilerin altındaki çeşitli çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin bu etkilerin oluşturduğu taleplere karşı dirençlerini, kolon elemanlarında düzlem dışı dengelenmemiş kuvvetlerden dolayı oluşacak deformasyonları gibi çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için endişe uyandıracak birbirinden farklı durumları incelemiş çalışmalardan bahsedilmektedir.



Şekil 2.1: Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin farklı çapraz konfigürasyonları.

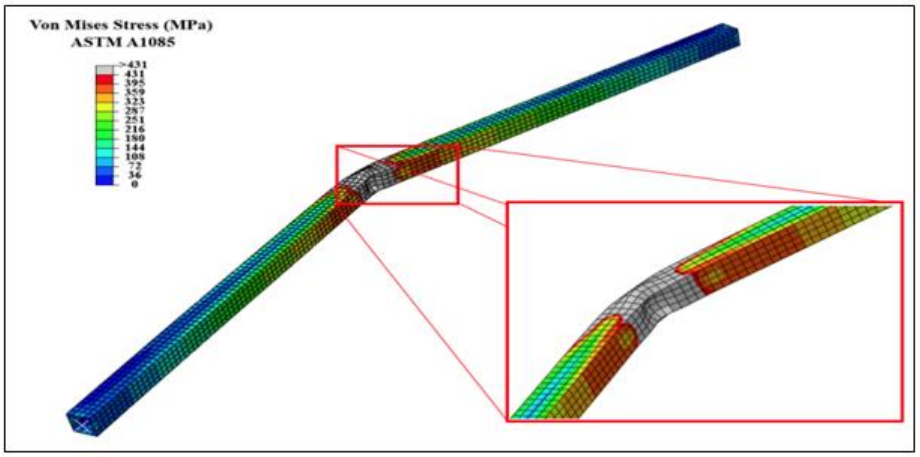
2.2. Çok Katmanlı Eş Merkezli Çaprazlı Çerçeve Sistemlerinin Statik ve Dinamik Etkiler Altındaki Davranışlarının İncelenmesi

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevelerin hem statik hem de dinamik etkiler altındaki performansı ve tasarımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri ile ilgili çok fazla çalışma olmasa bile yapılan çalışmalar incelenerek gerekli literatür araştırması yapılmış ve ilgili sistemlerin bu etkiler altındaki davranışları incelenerek özetlenmiştir. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

İlgili çalışmalardan bir tanesi Pablo Antonio Cano'nun "Evaluation of the Seismic Design Methods for Steel Multi-Tiered Concentrically Braced Frames" olan çelik çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeveler için sismik tasarım yöntemlerinin değerlendirilmesi isimli yüksek lisans tez çalışmasıdır. Bu çalışmada 2010 ve 2016 AISC Sismik Hükümlerine göre tasarlanan çelik çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevelerin sismik davranışının doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler kullanarak çok katmanlı çelik eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin sismik tepkilerini ve geniş başlıklı kolonların stabilite tepkisi hakkında bir literatür araştırmasıdır. Ayrıca sismik yükler altında çelik çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin kolon elemanlarında düzlem içi ve düzlem dışı eğilme momentlerini belirleyerek 2016 AISC Sismik Hükümlerinde çelik çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevelerin kolonları için öngörülen sismik tasarım gerekliliklerini, eğilme momenti taleplerini ve rijitlik gerekliliklerini doğrulamayı hedefleyen bir çalışmadır. Ayrıca bu çalışma ile birlikte çok katmanlı eş merkezli

çaprazlı çerçeve sistemlerinin sismik etkiler altındaki davranışını iyi düzeyde tahmin edebilecek sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. 2010 AISC sismik hükümleri uyarınca yapılan çalışma sonucunda çapraz elemanlarda beklenen elastik ötesi davranışın katmanların birinde toplandığı, çapraz elemanlarının elastik ötesi davranışı ile oluşacak dengelenmemiş kuvvetlerin düzlem içinde önemli etkide eğilme momenti talebi oluşturması, çapraz elemanın sismik etkiler altında çekme etkisiyle akmaya başlaması sistemde düzlem içi deformasyonlara neden olarak çapraz elemanda kırılma etkisi gözlemlenmiştir [Cano, 2019].

Kolon elemanların sismik etkiler altında yeterli düzeyde rijitlik sağlayamadığı için sistemdeki stabilite kaybı beklenenden daha erken görülmüştür. Son olarak 2010 AISC sismik hükümleri uyarınca tasarımı yapılan ilgili çalışmadaki analiz sonucunda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda ilgili sistemin çapraz elemanlarının sadece birkaç deprem kaydı altında katman yer değiştirme sınırını aşarak yerel burkulmaya geçtiği ve elemanlarda beklenen davranışı iyi düzeyde tahmin edebildiği görülmüştür. 2016 AISC sismik hükümleri uyarınca yapılan çalışma sonucunda ilgili çerçevenin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda üzerine gelen etkileri tek bir katmanda toplamadığı, çapraz elemanlarda çekme etkisi ile birlikte en alt katmandan en üst katmana doğru kademeli bir şekilde akma etkisinin görülmesi, kolon elemanın rijitliğinin çapraz elemanların çekme etkisi altındaki akma durumundan gelecek olan etkiyi dağıtması, kolon elemanların stabil olmama durumundan dolayı herhangi bir çökme durumunun gözlenmemesi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları altında çapraz elemanların çekme etkisi altındaki akma durumunun aşamalı şekilde olduğunu ve bu sebeple kolon elemanlarında gözlemlenen düzlem içi deformasyondan dolayı oluşacak eğilme momenti etkisinin kabul edilen sismik hükümce daha fazla tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 2.2'de görüldüğü üzere ilgili çalışma kapsamında sayısal modeli oluşturulan çapraz elemanın lokal burkulma durumu altında yapacağı yer değiştirme sayısal modeli oluşturulurken belirli mesh sayıları altında doğrulanmıştır. Sayısal modelde ne kadar çok mesh kullanırsak o kadar doğru sonuca ulaşmış olunacağı görülmüştür [Cano, 2019].

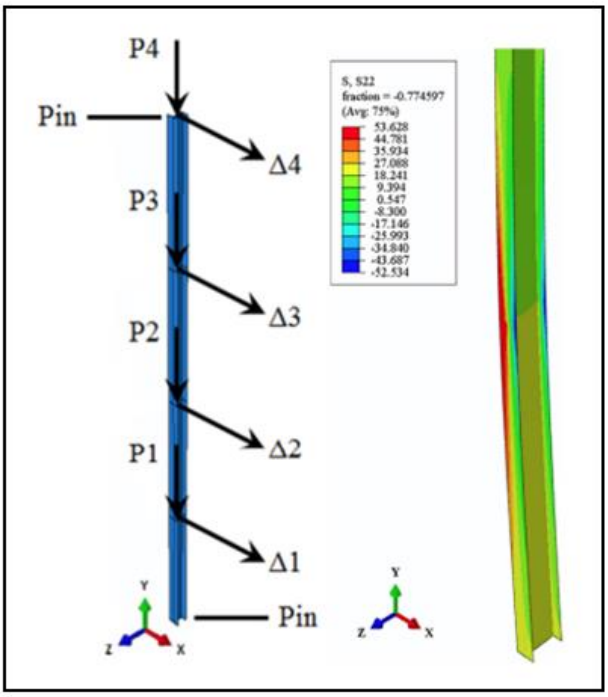


Şekil 2.2: Simülasyon altındaki çapraz elemanın burkulması.

Düşük sünek çok katmanlı çerçeve sistemleri için sismik tasarım yöntemleri üzerine durulan bir diğer çalışma ise çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için en yeni sayılabilecek bir çalışmadır. Bu çalışmada ilgili yöntemler için çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin OpenSees programında fiber bazlı sayısal modelleri geliştirilerek yapılmıştır. Bununla birlikte modellerin kritik bileşenleri geçmişte yapılan deneysel test verilerini kullanarak doğrulanmıştır. Analiz modelleri bize ilgili çalışmada kullanılan çeşitli kesitler için çapraz ve kolon elemanlarında doğrusal olmayan burkulma tepkisinin oluştuğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte çerçevelerin çoğunda basınç altında çapraz elemanlarda burkulma görülmesine rağmen yine aynı elemanlarda herhangi bir akma durumu görülmemiştir. OpenSees programında sayısal modeli oluşturulan çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeveyi geçmişte yapılmış deneysel test verileri ile doğrulanmıştır. Bununla birlikte çaprazlı çerçeve sisteminin yer değiştirmesi belirtilen limit değerlerin oldukça altındaydı ve bununla birlikte kolon elemanlarında herhangi bir kararsızlık gözlemlenmemiştir. Ayrıca ileride yapılacak olan tasarım veya çalışmalar için tezde önerilen gerekliliklerin altı veya daha az katmana sahip çaprazlı çerçeveler için kullanılabilir olduğu görüşündedir [Houreh, 2019].

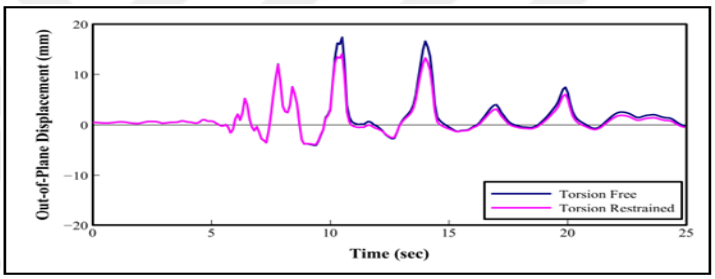
Endüstriyel bina uygulamalarındaki çok katmanlı çerçeve sistemlerinin sismik etkiler altındaki davranışı üzerinde etkileri inceleyen bir diğer çalışmada yüksek sismik bir bölge için dört katmanlı her katta X çapraz konfigürasyonu tercih edilmiştir. AISC sismik hükümlerince tasarlanan modelin sismik etkiler altındaki kolon elemanın sismik talebi ve stabilitesi değerlendirilmiştir. Tasarımı yapılan ilgili çok katmanlı çaprazlı çerçevenin sismik davranışı, çapraz elemanlar ile tutulu kolon

elemanlarındaki etkileri incelemek için toplamda 11 çift deprem kaydı seçilmiş ve bu kayıtlar altında doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analiz sonuçlarından elde edilen veriler ile kolon elemanın burkulma durumunu araştırılmıştır. Sonuçlara göre kolon elemanlarında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarınca düzlem içi eğilme talebi olduğu görülmektedir. Ayrıca doğrusal olmayan katman yer değiştirmeleri kolon elemanları için eğilme deformasyonu gerçekleştirerek akmaya sebep olur. Bu durum kolon elemanların stabilitesini olumsuz şekilde etkileyebilir. Ayrıca ilgili çalışmada plastik deformasyonların ilgili çerçeve yüksekliği boyunca doğrusal şekilde dağılmadığını ve dört katman olarak tasarlanan modelin tek bir katmanın yoğunlaştığı görülmüştür. Hatta plastik deformasyonların yoğunlaştığı katmandaki gereken talebin ilgili çapraz elemanların süneklilik kapasitelerini aşabileceği anlaşılmaktadır. Bu etkiler ile birlikte sismik etkiler altındaki beklenen yer değiştirmelerin doğrusal olmayışı ortaya doğrusal olmayan deformasyonları çıkarmaktadır. Bu yanal deformasyonlar kolon elemanlarında Şekil 2.3'te görüldüğü üzere düzlem içi yönünde bir eğilme etkisine neden olmaktadır. Ayrıca analiz sonuçlarında kolon elemanların düzlem içi eğilme etkisi ile birlikte zayıf ekseni etrafında bir plastik mafsal durumu oluşacağı görülmüştür. Bu durum ise kolon elemanların düzlem dışı stabilitesini tehdit etmektedir [Imanpour et al., 2013].



Şekil 2.3: Kolon elemanının sonlu elemanlar modeli ve normal gerilim değerleri.

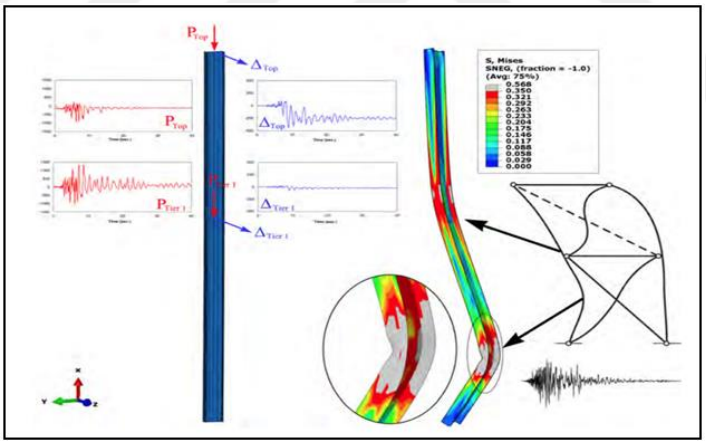
Bir başka çalışmada ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları uyarınca kolon elemanın stabilitesini bozan burulma etkilerini kısıtlayacak veya kısıtlamayacak şekilde tasarlanan sonlu elemanlar modelleri incelendiğinde ortaya çok küçük farklar çıktığı görülmüştür. Bununla birlikte dört katmanlı her katmanda X çapraz konfigürasyonu olarak tasarlanan sonlu elemanlar analiz modeli için dikkate alınan burulma etkilerinin kısıtlanmasının kolon elemanının stabilitesi için olumlu olması beklenirken, analiz sonuçları incelendiğinde her ne kadar kolon elemanının orta bölgesindeki düzlem dışı yer değiştirme olsa da, hem düzlem dışı yer değiştirme durumlarında hem de eksenel kuvvet-moment etkileşiminde Şekil 2.4'te görüldüğü gibi pek bir farklılık görülmediği sonucuna ulaşılmıştır. Kolon elemanının burulma etkilerine karşı tutulu olmasının veya olmamasının zaman tanım alanındaki düzlem dışı yer değiştirme talebi aşağıda gösterildiği gibidir [Imanpour et al., 2013].



Şekil 2.4: Düzlem dışı yer değiştirme ve zaman ilişkisi.

Çok katmanlı çaprazlı çelik çerçevelerin gelişmesi için önemli olabilecek bu çalışmada yeni bir tasarım yöntemi önermişlerdir. Daha önceden çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin sismik etkiler altında kolon elemanının taleplerini ve stabilitesi incelemiştir. Bu çalışmada ise çok katmanlı çaprazlı çerçevelerin kolon elemanları için yeni bir tasarım yaklaşımı sunulmaktadır. Analiz modelinde dikkate alınan çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemi toplamda iki katmandan oluşan ve her katmanda X çapraz konfigürasyonuna sahip bir sistemdir. Ayrıca kolon elemanı her katman seviyesinden burulma etkilerine karşı desteklenmektedir. Yeni yaklaşım ile birlikte genel olarak sismik etkiler altındaki çok katmanlı çaprazlı çerçevelerin kolon elemanları için en düşük seviyede dayanım ve rijitlik gereklilikleri getirilmiştir. Daha önceki çalışmalarda çok katmanlı çaprazlı çerçevelerin tek bir katmanında gözlemlenen kolon elemanlarındaki hem süneklilik hem de düzlem içi eğilme talebinin etkilerini çapraz elemanlardaki süneklilik talebinin gereken talebin üzerinde

olabileceği görülmüştür. Bu çalışma ile kolon elemanlarındaki süneklilik ve eğilme talebi ile birlikte çapraz elemanlardaki süneklilik taleplerini de azaltmayı hedefleyen yeni bir tasarım yöntemi önerilmektedir. Dolayısıyla yeni yöntemi doğrulamak için hem statik hem de dinamik analizler yapılarak kolon elemanların stabilitesi incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda önerilen tasarım prosedürü uyarınca yapılan analizler incelendiğinde çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin kolon elemanlarında yer değiştirme etkisinden dolayı oluşacak düzlem içi eğilme momenti ve çapraz elemanlarda sismik etkiler altında göstereceği süneklilik taleplerinin azalabileceği yönünde sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlara ek olarak önerilen tasarım prosedürüne göre, mevcut AISC 341 tasarım hükümleri uyarınca dikkate alınan kolon elemanlarında Şekil 2.5'te görüldüğü üzere elastik ötesi davranışlar olabileceği görülmektedir. Ayrıca analiz sonuçlarına göre, yer değiştirme etkisinden dolayı kolon elemanları için belirli bir eğilme dayanımı rijitliği sağlanması gerektiği görülmektedir. Bu sayede çapraz elemanlardaki kırılma etkisi de geciktirilebilecektir [Imanpour et al., 2014].



Şekil 2.5: Çok katmanlı çaprazlı çerçevenin sonlu elemanlar modeli için dikkate alınmış eksenel kuvvet-zaman geçmişi ve von-mises gerilme sonuçları.

Kanada'da yapılan çok katmanlı eş merkezli çelik çaprazlı çerçeve sistemlerinin sismik tasarımı ve bu sismik tasarıma ait çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin tepkileri incelenmiştir. İlgili makalede, Imanpour'un diğer çalışmalarında olduğu gibi çaprazların diyaframlar arasındaki kolonlarda kesiştiği çelik çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin tasarımını ve sismik etkilere karşı davranışlarını içermektedir. CSA S16-2014'ün sismik tasarım hükümleri, üç katmanlı model için orta derecede sünek ve beş katmanlı model için

sınırlı sünek çerçeveler için tarif edilmiştir. Çerçevelerin sismik tepkisi doğal olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan tepki geçmişi analizi ile incelenmiştir. Tasarımda varsayıldığı gibi, plastik deformasyonlar, çerçeve yüksekliği boyunca tek bir kademede yoğunlaşma eğiliminde olduğu ve kolonlarda düzgün olmayan kayma taleplerine ve düzlem içi eğilme momentlerinin oluşmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Kanada standardı uyarınca dikkate alınan kabuller altında, çerçeve elemanlarında oluşan düzlem içi eğilme tepkisini ve çapraz elemanlarda oluşan süneklilik talepleri ilgili çalışma sonucunda öngörüldüğü şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca ilgili çalışmada çapraz elemanlarda oluşacak dengelenmemiş kuvvetlerden dolayı önemli derecede deformasyon olacağı, mevcut tasarım gereksinimleri yüksek ve çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için geliştirildiği, ilgili geliştirme için beş katmanlı bir çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemini zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda ise çapraz elemanların elastik olmayan deformasyonlarının tek katmanda yoğunlaşmadığı çerçevelerin analiz edilmesini, CSA S16 uyarınca zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda kolon elemanlarında deformasyondan dolayı oluşacak eğilme taleplerinin iyi düzeyde tahmin edilebildiği, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen iç kuvvet ve yer değiştirme talepleri CSA S16 uyarınca iyi düzeyde tahmin edildiği, çapraz elemanlarda elastik ötesi davranışın tek bir katmana toplanmamasının CSA S16 tasarım gerekliliklerine göre daha ekonomik kolon tasarımına yol açması ve kolon elemanlarında beklenen düzlem içi eğilme momenti etkilerinin yer değiştirme deformasyonlarıyla orantılı olduğu görülmüştür [Imanpour et al., 2016a].

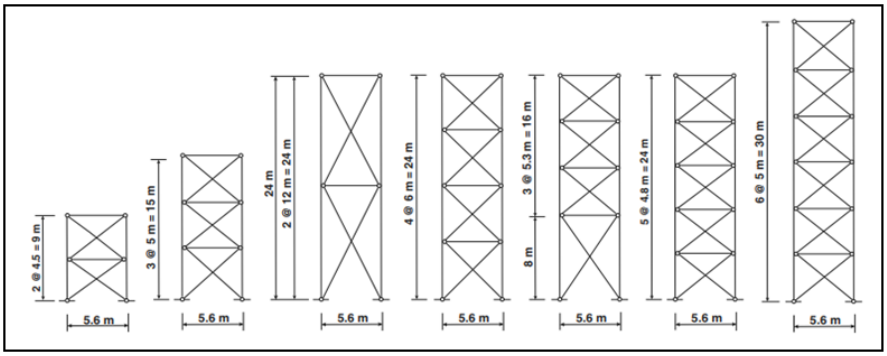
Çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için ele alınan bir diğer önemli çalışmada ise ilgili çerçeve sistemi olarak ele alınan iki katmanlı çelik bir çerçevenin sismik etkiler altındaki düzlem içi talepleri incelemiştir. Uygulanması amaçlanan tasarım stratejisi iki katmanlı çelik eş merkezli sistemler içindir. Bu yöntemde ilgili çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin kolon elemanları, sismik etkiler altında çapraz elemanların elastik ötesi deformasyonlarının birbirine aynı olmayan dağılımından dolayı düzlem içi eğilme talebi ile birlikte sismik etkiler altında etki edecek eksenel kuvvet dikkate alınarak şekilde tasarlanmaktadır. Bu çalışmada AISC 2010 tasarım hükümlerinin ötesinde bir tasarım prosedürü sunan bu çalışmada sismik etkiler altındaki kolon elemanlarda oluşacak deformasyonun tek bir katmanda yoğunlaşmayacağını ve katmanlar arası dağılacağını söylemektedir. Kolon

elemanlarda sismik etkiler altında oluşacak eğilme momenti değerleri, çapraz elemanların ilgili sismik etkiler altında burkulmasına ve burkulma sonrası etkilerinin tüm katmanlarda beklenen düzlem içi kat kesme kuvvetine bağlıdır. Ayrıca ilgili çalışmada önerilen yeni yöntem uyarınca katman yer değiştirmesini kontrol ederek çapraz elemanlarda herhangi bir göçme durumu olmamasını amaçlamaktadır. Dolayısıyla önerilen bu tasarım prosedürünü doğrulamak için ilgili çalışma kapsamında statik ve dinamik analizler yapılmıştır [Imanpour et al., 2016b].

OpenSees programına yapılan analizler sonucunda iki katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için yeni bir sismik analiz ve tasarım gereksinimi önerilmiştir. Analiz modeli AISC 2010 sismik tasarım gereklilikleri uyarınca tasarlandığı için başta düşünüldüğü gibi statik ve dinamik etkiler altında tek bir katmanda elastik ötesi yoğunlaşma görülmüştür. Yoğunlaşma ilk katmanda gerçekleşerek kolon elemanı için eğilme momenti talebi oluşturmuştur. Düzlem içi gerçekleşen eğilme momenti etkisi ilgili kolon elemanının burkulma etkisini tehdit eden bir durumdur. Böylece hem çapraz elemanlarında hem de bu elemanların bağlantılarında tek bir katta gerçekleşen yoğunlaşmanın yer değiştirme etkisi ile birlikte ilgili çapraz ve bağlantı elemanları için beklenen süneklilik talebinden daha önce bir elastik ötesi davranış göstermektedir. Sonuçlar, kolon elemanındaki eğilme talebi yoğunluğunun ilk katmanda gerçekleştiğini doğrulamaktadır. Bunun oluşmasındaki en önemli etkenlerden bir tanesi ise katman kesme kuvvetleri arasındaki farklardır. İlgili çalışma kapsamında kolon tasarımı için önerilen yeni tasarım prosedürü ile kolon elemanların bu katman kesme kuvvetlerini daha doğrusal şekilde sönümleyecek şekilde tasarlanması yönündedir. Dolayısıyla önerilen yeni tasarım prosedürü ile kolon elemanla için beklenen düzlem içi deformasyondan dolayı oluşacak eğilme momenti talebini sınırlamak için minimum bir eğilme sertliği olması gerekmektedir. Fakat çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin kolon elemanları için ilgili çalışma kapsamında önerilen yeni tasarım prosedürü yalnızca iki katmanlı çaprazlı çelik çerçeveler içindir [Imanpour et al., 2016b].

Aynı sene içinde yapılan ve bir önceki çalışmayı destekleyecek olan bu çalışmada çok katmanlı çelik çaprazlı çerçevelerin 2010 AISC hükümleri uyarınca tasarımları yapılarak sismik performansları incelenmiştir. Şekil 2.6'da görüldüğü üzere ilgili çalışma kapsamında her katmanda X çapraz konfigürasyonuna sahip açıklıkları aynı ama katman yükseklikleri ve katman sayıları birbirinden farklı olan

toplamda yedi adet çok katmanlı çaprazlı çerçeve için değerlendirilmiştir [Imanpour et al., 2016c].

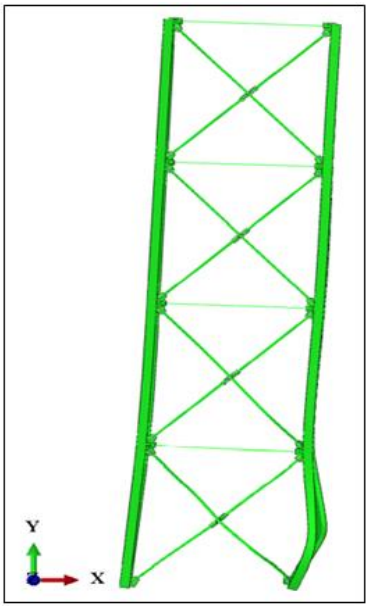


Şekil 2.6: İlgili çalışma kapsamında sismik performansı incelenecek çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistem geometrileri.

İlgili çalışma için dikkate alınan toplam 9 metre yüksekliğe sahip olan ilk analiz modeli, toplam 15 metre yüksekliğe sahip olan ikinci analiz modeli ve toplam 24 metre yüksekliğe sahip olan dördüncü analiz modellerinin tasarımları Abaqus programında kabuk eleman olarak dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılarak diğer çalışmalar karşılaşılan tek katmanda olan düzlem içindeki eğilme talebi yoğunlaşması ile birlikte kolon elemanların eğilme etkisine olan direnci değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken kolon elemanların katman bölgelerindeki kiriş elemanlarının birleşimleri, sismik etkiler altında kolon elemanında beklene burulma etkilerini iyileştirecek şekilde kolon gövdesi ve başlığını içerden sararak tasarımı yapılmıştır. Kütle ve rijitlik orantılı sönüm ile beraber ilgili düşey yüklemelerde dikkate alındıktan sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için FEMA P965 (ATC-63, 2009) raporunda önerilen toplamda 11 çift deprem yer hareket kayıtlarının ilk bileşenleri kullanılmıştır. Deprem kayıt seçiminden sonra sonuçları karşılaştırmak için toplam 9 metre yüksekliğine sahip ilk çerçevenin Abaqus analizlerini sorgulamak için OpenSees programı kullanılmıştır. Bu doğrulamada doğrusal olmayan artırımlı statik itme analiz sonuçları dikkate alınmıştır. Sonuç olarak 2010 AISC sismik hükümler uyarınca tasarımları gerçekleştirilen ilgili yedi çerçevenin 11 çift deprem yer hareketi altında sismik performanslarını incelemek için sayısal modelleri değerlendirildiğinde diğer çalışmalarda olduğu gibi elastik ötesi çapraz davranışları ilk katmanda yoğunlaştığı görülmektedir. Dolayısıyla katman yer değiştirmesinde herhangi bir

doğrusal davranış sergilenmediği ve ilk katmanda yoğunlaştığı görülmektedir [Imanpour et al., 2016c].

Son olarak her ne kadar kolon elemanlarının birleşimlerinin burulma etkilerine karşı tasarlanmış olsa da bazı durumlarda yoğunlaşma gerçekleşen kritik katmanda kolon elemanında Şekil 2.7'de görüldüğü üzere burkulma etkileri görülmektedir. Bu etkiler kolon elemanın zayıf ekseni etrafında eğilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Bu durum sismik etkiler altında beraberinde katmanlar arası yer değiştirmeyi getirdiği için ilgili eleman bağlantılarında önemli büyüklükte elastik ötesi davranışa yol açarak çapraz elemanlarında düşük devirli yorulma etkileri gözlemlenmiştir [Imanpour et al., 2016c].



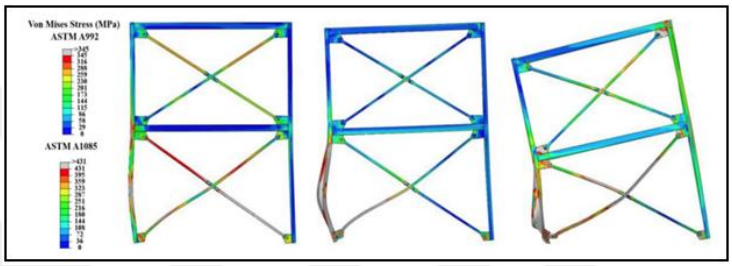
Şekil 2.7: 56. Saniyede Kolon Elemanında Gerçekleşen Burkulma Etkisi.

Bir diğer dikkat çeken çalışma ise yine aynı yıl içinde yapılan ve sadece düşey yük etkilerine çalışan kolon elemanların sisteme katkısı incelenmiştir. Fakat bu katkının sağlanabilmesi için çapraz elemanlarla bağlanmış kolon elemanların kirişler ile birbirine yatayda bağlı olması gerekmektedir. Bu kirişler ise aynı yatay düzlemde düşey yüklere maruz kalacak kolon elemanlarına bağlı olması gerekmektedir. İlgili çalışma için AISC sismik hükümleri uyarınca tasarımları yapılan X çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri dört katmandan oluşan, yükseklikleri 15 metre, 20 metre ve 30 metre arasında değişken göstererek toplamda 12 farklı sistem dikkate alınmıştır. İlgili düşey yüklere çalışan kolon

elemanlarının sisteme sunacağı katkı için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde ise düşey yüke çalışan kolonların kiriş elemanları ile sismik etkilere çalışacak olan kolonlara bağlı olması tatmin edici sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca ilgili analizlerde düşey yüklere çalışacak kolonların dikkate alınması, sismik etkiler altında çapraz elemanlar ile tutulu kolonlarla etkileşim içine girmesinden dolayı hem katman yer değiştirmelerinde hem de kolon elemanlarında gerçekleşecek düzlem içi deformasyon taleplerinde azalmalar olacağı gözlemlenmiştir [Imanpour et al., 2016d].

ASCE tarafından yapılan yapı kongresine sunulmuş olan önemli bir makalede ise MT-CBF sistemleri için dikkate alınan tasarım aşamaları ve ilgili sistemin davranışının incelenmesi tıpkı diğer çalışmalar gibi çok katmanlı çelik çaprazlı çerçevelerin gelişmesi için önemli bir kaynak olmaktadır. İlgili çalışma kapsamında iki katmanlı ve her katta X çapraz konfigürasyonuna sahip birçok katmanlı çaprazlı çerçeve düşünülmüştür. Bu çok katmanlı çaprazlı çerçeve hem 2010 hem de 2016 AISC sismik hükümleri uyarınca tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan ilgili çerçevenin Abaqus programında sonlu eleman modeli hazırlanarak dikkate alınmıştır. Doğrusal olamayan zaman tanım alanında analiz için toplam 21 adet deprem yer hareketi seçilmiştir ama ilgili çalışma için iki adet deprem yer hareketi kaydının sonuçları sunulmuştur. Seçilen deprem yer hareketi kayıtları altında yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde 2010 AISC sismik hükümleri uyarınca dikkate alınan model için tıpkı diğer çalışmalarda da olduğu gibi sismik etkiler altında beklenen elastik ötesi talepler ve bu taleplerin oluşturduğu hasarlar tek bir katmanda toplandığı görülmektedir. Doğal olarak bu durum diğer çalışmalarda da görüldüğü üzere çapraz elemanı ile tutulu kolon elemanlarda beklenen süneklilik talebinden daha erken akma durumu görülerek burulma etkisi oluşması tespit edilmiştir. Halbuki 2016 AISC sismik hükümleri çapraz elemanlar ile tutulu kolon elemanların sismik etkiler altına beklenen elastik ötesi deformasyonları tek bir katta yoğunlaştırmayarak ilgili kolon elemanlarının yüksekliği boyunca dağılmasına yol açmıştır. Ayrıca ilgili sonuçlar detaylı şekilde incelendiğinde 2010 AISC sismik hükümlerince tasarlanmış analiz modelinin tek bir deprem kaydı altında sismik etkileri karşılayacak çapraz elemanda ileri düzeyde elastik ötesi deformasyondan dolayı kırılma durumu gözlemlenmiştir. Çapraz elemanın kırılması beraberinde tek katmanda yoğunlaşmış elastik ötesi hasarlardan dolayı ilgili kolon elemanında burkulma durumu

oluşmaktadır. Fakat aynı incelemeler 2016 AISC sismik hükümleri uyarınca yapılan tasarım için dikkate alındığında her ne kadar ilk katman için belirtilen yer değiştirme sınır değerinin üzerine çıkmış olsa bile, tek bir katmanda 2010 AISC hükümleri uyarınca tasarlanan analiz modeli gibi yoğunlaşma olmayıp tüm katmanlarda kolon yüksekliği boyunca dağıldığı ve kolon elemanının stabilitesinin bozulmadığı görülmüştür. Kolon elemanının yapmış olduğu bu davranışın önemli sebeplerinden bir tanesi ise 2016 AISC sismik hükümleri gereği tasarımda dikkate alınan eğilme momenti talebinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen eğilme momenti talebinden oldukça büyük olmasıdır [Imanpour and Cano, 2019].



Şekil 2.8: 2010 AISC sismik hükümleri uyarınca tasarlanan çerçevenin deforme şekli.

Çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için bir diğer dikkat çeken çalışmada çok katmanlı dış merkezli çaprazlı çerçevelerin sismik değerlendirilmesi ele alınmıştır. Bugüne kadar çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için hep merkezi çaprazlı konfigürasyonu dikkate alınmasından dolayı bu çalışmanın dış merkezi çapraz konfigürasyonu olması ilgileri üzerine çekmesine oldukça fayda sağlamıştır. İlgili çalışma için katman sayıları ve yükseklikleri birbirinden farklı toplamda 9 adet çerçeve sistemi dikkate alınmıştır. İlgili çaprazlı çerçeve elemanlarının tasarımları CSA S16 sismik hükümleri uyarınca yapılmıştır. Analiz sonuçları ise katman bölgelerinde çapraz, kiriş ve kolon birleşim noktasının düzlem dışında herhangi bir diyafram olmamasından dolayı bağ kiriş elemanında düzlem dışı burkulma etkileri için son derece elverişli olduğu incelenmiştir. Bağ kirişlerdeki bu düzlem dışı burkulma talepleri ise beraberinde kolon elemanları için düzlem dışı eğilme talebi oluşturdu. Ayrıca katman yoğunlaşması tıpkı diğer çalışmalarda dikkate alınan 2010 AISC sismik hükümleri uyarınca tasarlanan analiz modelleri gibi CSA S16 sismik hükümleri uyarınca dikkate alınan bu çalışma için de ilk katmanda elastik ötesi deformasyonların yoğunlaştığı görülmüştür [Imanpour and Ashrafi, 2021].

2.3. Çok Katmanlı Eş Merkezli Çaprazlı Çerçeve Sisteminin Amerikan Sismik Hükümleri Uyarınca Tasarımının Yapılması

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin tasarımları 2016 AISC sismik hükümleri uyarınca yapılmaktadır. AISC 341-16 uyarınca çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri için toplamda üç adet analiz aşaması gerekmektedir. Bu analizlerin ilk ikisi, geleneksel çaprazlı çerçeve sistemleri için uygulanan analizlerdir. Bu analizler; çapraz elemanların çekme etkisi altında akma ve basınç etkisi altında burkulma kapasitelerine ulaştığını ve çapraz elemanların çekme etkisi altında akma ve burkulma sonrası basınç kapasitelerine ulaştığı durumlardır (2010 AISC). 2016 AISC hükümleri ile birlikte bu analizlere ek olarak çapraz elemanların aşamalı şekilde çekme etkisi altında akmasını ve basınç etkisi altında burkulma durumlarıdır. Analiz aşamasında kritik katmanda çapraz elemanında burkulma sonrası etkileri görülürken bir üst katmanındaki çapraz elemanın burkulma kapasitesine ulaştığı esas alınmaktadır. Basınç etkisi altında kritik ve kritik üstü katmanda bu etkiler görülüyorken çekme etkisi altındaki çapraz elemanında da hem kritik hem de kritik üstü katmanda çekme kapasitesine ulaştığı varsayılmaktadır. Ayrıca ilgili katman kesme kuvvetlerini ve kolon elemanlarını düzlem içi yönde etkileyecek olan eğilme momenti değerlerini de çapraz elemanlar tarafından uygulanacak kuvvetlerden belirlenebileceği yönündedir.

MT-CBF'lerin kolon elemanlarının düzlem dışı davranışları da 2016 AISC sismik hükümleri uyarınca dikkate alınmaktadır. İlk olarak düzlem dışında çapraz elemanının basınç etkisi altında burkulmasından dolayı kolon ve çapraz birleşim noktasında düzlem dışı yönünde deformasyona neden olacak kuvvetin oluşması durumudur. İkinci olarak ise kolon elemanların geometrik ön kusurlarından dolayı oluşacak olan düzlem dışı deformasyon etkilerinin dikkate alınmasıdır. Bu iki durum altında kolon elemanında düzlem dışı yönde deformasyon etkisi eğilme momenti talebi oluşması durumudur. Kolon elemanında oluşacak bu tür düzlem dışı davranışı dikkate almak için 2016 AISC sismik hükümleri uyarınca çapraz elemanın basınç etkisi altında düzlem dışı burkulmasından dolayı kolon elemanı düzlem dışı deformasyona uğratması dikkate almaktadır. Bununla birlikte ilgili sismik hükümleri uyarınca düşey yükün 0.006'sının 1.16 katının birleşim bölgesinden düzlem dışı yönünde kolon elemanını deformasyona uğratacak şekilde dikkate alınmalıdır.

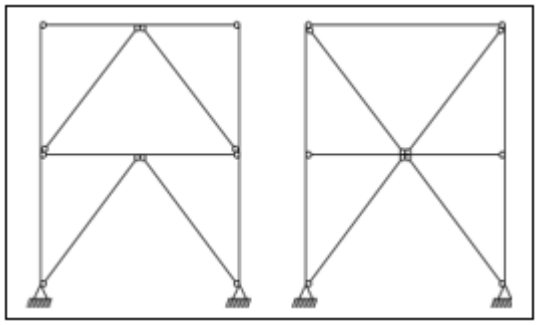
3. ÇOK KATMANLI EŞ MERKEZLİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMİNİN TASARIMI

3.1. Giriş

Bu bölümde, tez kapsamında dikkate alınan çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemi için iki farklı çapraz konfigürasyonu altında analiz modelleri oluşturulan endüstriyel binanın geometrisi, çapraz konfigürasyonu, zaman tanım analında doğrusal olmayan analizler için dikkate alınan deprem yer hareketleri ve elemanların kesit tesirlerinin belirlenmesindeki gerekli hesaplamalardan bahsedilmektedir.

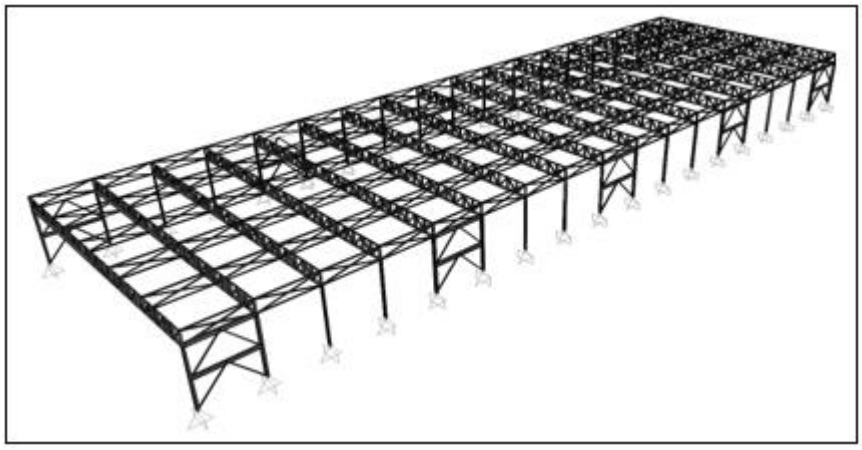
3.2. Yapı Bilgisi

İlgili çalışmada kapsamında dikkate alınan bina 35 m x 157.5 m açıklığa ve 9 m yüksekliğe sahip tek katlı endüstriyel bina yapısıdır. Bu kapsamda çapraz konfigürasyonları birbirinden farklı iki adet analiz modeli dikkate alınmıştır. Bu çapraz konfigürasyonları ise ters V ve her katta X olmak üzere belirlenmiştir. Ayrıca ilgili çapraz konfigürasyonları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

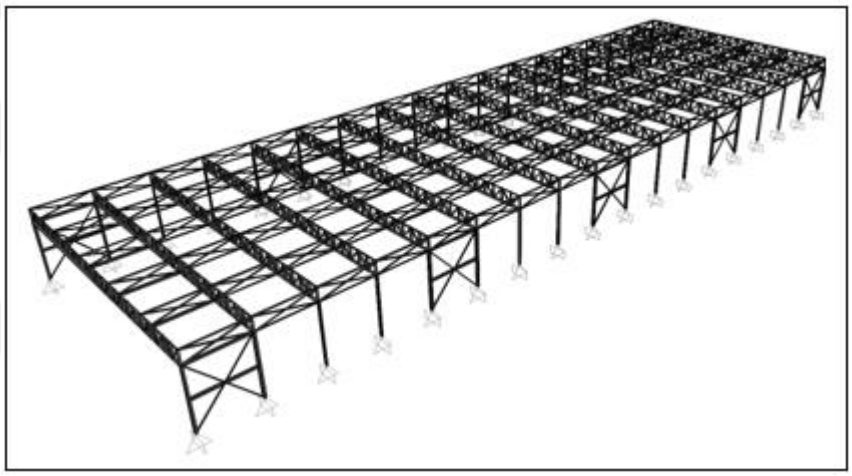


Şekil 3.1: Çalışma kapsamında dikkate alınan çapraz konfigürasyonları (ters v çapraz konfigürasyonu – iki katta x çapraz konfigürasyonu).

Çalışma kapsamında dikkate alınan iki katmana sahip her iki analiz modelinde kolonlar arası mesafe 7.5 metre ve katmanlar arası mesafe 4.5 metre olup birbirine eşittir. İlgili model için her iki yönde toplamda 10 adet çaprazlı çerçeve bulunmaktadır. İlgili analiz modelleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Ters v çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli (sap2000 v21 analiz programı).



Şekil 3.3: İki katta x çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli (sap2000 v21 analiz programı).

3.3. Düşey ve Sismik Yükler

Bu çalışma için dikkate alınan ilgili yük etkileri ASCE 2016 sismik hükümleri standardına uygun şekilde belirlenmiştir. Düşey yükleri etki ettirmek için ilgili analiz modelindeki hem düşey kolonların (leaning column) hem de çapraz elemanlar tarafından birbirine bağlanmış kolonların üst uçlarına hesaplanan bu düşey kuvvetler etkitilmiştir. Bu kuvvetler düşey kolonlar için P_D = 297.5 kN, çapraz elemanları ile bağlanan kolon elemanları için ise P_D = 260.31 kN olarak dikkate alınmıştır.

Yapının bulunduğu lokasyona ve zemin parametrelerine bağlı olarak sismik değerler belirlenmiştir. Hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı değerleri sırası ile S_1 = 1.0 g ve

S_{D1} = 0.6 g ‘dir. Zemin sınıfı ise ZD’dir. İlgili yapı malzemesi akma dayanımı 345 MPa’dır. Ayrıca tasarım için dikkate alınan ölü yük 1.2 kN/m^2’dir.

Zaman tanım alanında analiz için ‘PEER Ground Motion Database’ üzerinden ilgili yapının parametrelerine bağlı olarak 22 çift deprem kaydı seçilmiştir. Seçilen bu deprem kayıtları her bir analiz çerçevesi için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca ilgili deprem kayıtları analiz çerçevesine etkitilmeden önce seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının 0.2Tp ve 1.5Tp periyotları arasındaki genliklerinin yatay elastik tasarım spektrumuna göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3’ten daha küçük olmaması şartı göz önüne alınarak deprem yer hareketi bileşenlerinin genlik bazında ölçeklendirilmiştir.

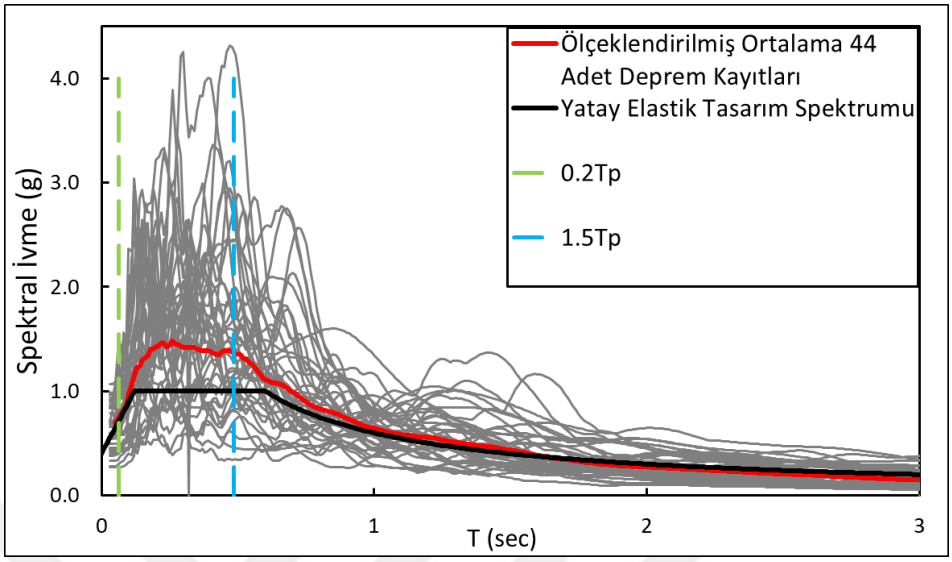
Seçilen her bir deprem kaydının ölçeklenerek genlik şartı sağlanmıştır ve yatay elastik tasarım spektrumu üzerinde ölçeklendirilen deprem yer hareketleri Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Deprem yer hareketi kayıtları ve ölçek katsayıları Tablo 3.1‘de gösterilmiştir. Ayrıca ilgili yapı periyotları Perform 3D uyarınca ters V çapraz konfigürasyonu için 0.322 sn, iki katta X çapraz konfigürasyonu için 0.315 sn olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1: Deprem yer hareketleri ve ölçek faktörleri.

EQ ID	RSN*	Büyüklük (Mw)	Yıl	Kayıt Adı**	İstasyon Adı	Mesafe (km)***	PGA_{max} (g)	Ölçek Faktörü
12011	953	6.7	1994	Northridge	Beverly Hills - Mulhol	13.3	0.871	1.139
12012	960	6.7	1994	Northridge	Canyon Country-WLC	26.5	1.038	1.455
12041	1602	7.1	1999	Duzce, Turkey	Bolu	41.3	1.34	1.101
12052	1787	7.1	1999	Hector Mine	Hector	26.5	0.952	1.910
12061	169	6.5	1979	Imperial Valley	Delta	33.7	1.193	2.295
12062	174	6.5	1979	Imperial Valley	El Centro Array #11	29.4	0.997	1.774
12071	1111	6.9	1995	Kobe, Japan	Nishi-Akashi	8.7	1.364	1.810
12072	1116	6.9	1995	Kobe, Japan	Shin-Osaka	46	0.692	1.923
12081	1158	7.5	1999	Kocaeli, Turkey	Duzce	98.2	0.638	1.205
12082	1148	7.5	1999	Kocaeli, Turkey	Arcelik	53.7	0.771	2.380
12091	900	7.3	1992	Landers	Yermo Fire Station	86	0.625	1.726
12092	848	7.3	1992	Landers	Coolwater	82.1	1.241	2.011
12101	752	6.9	1989	Loma Prieta	Capitola	9.8	1.49	1.905
12102	767	6.9	1989	Loma Prieta	Gilroy Array #3	31.4	1.265	1.540
12111	1633	7.4	1990	Manjil, Iran	Abbar	40.4	1.049	1.378
12121	721	6.5	1987	Superstition Hills	El Centro Imp. Co.	35.8	0.806	1.522
12122	725	6.5	1987	Superstition Hills	Poe Road (temp)	11.2	1.358	2.055
12132	829	7	1992	Cape Mendocino	Rio Dell Overpass	22.7	1.166	1.435
12141	1244	7.6	1999	Chi-Chi, Taiwan	CHY101	32	0.468	0.718
12142	1485	7.6	1999	Chi-Chi, Taiwan	TCU045	77.5	1.272	1.679
12151	68	6.6	1971	San Fernando	LA - Hollywood Stor	39.5	1.139	3.668
12171	125	6.5	1976	Friuli, Italy	Tolmezzo	20.2	1.31	2.520

Yukarı gösterilen 22 adet deprem kayıtlarının her iki bileşeni (toplamda 44 adet) aşağıda gösterildiği şekilde 0.2Tp ve 1.5Tp periyotları arasında tasarım

spektrumunun üzerinde olacak şekilde Tablo 3.1'de sunulan katsayılar ile Şekil 3.4'te gösterildiği gibi ölçeklendirilmiştir.



Şekil 3.4: 22 çift deprem yer hareketi kayıtlarının yatay elastik tasarım spektrumu üzerinde ölçeklendirilmesi.

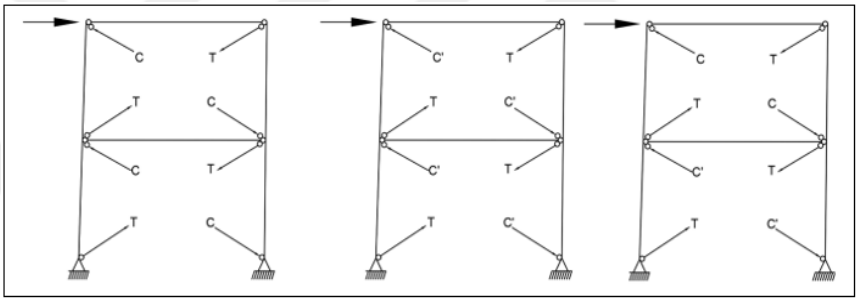
3.4. Kolon ve Çapraz Elemanı Tasarımı

AISC (2016) uyarınca tez kapsamında dikkate alınan çok katmanlı çaprazlı çerçeve sisteminin kolon elemanının tasarımı yapılırken, ilgili sistemdeki makas elemanlarındaki profillerin ağırlıkları ve çatı için dikkate alınan sabit yüklerin kolon üst ucuna etkiyen yükler olarak düşünüldüğünde bu etkilerden gelen yükler ve çapraz elemanlarının sismik etkiler altındaki davranışlarından dolayı beklenen basınç ve çekme etkileri altındaki düşey kuvvetlerin toplamından oluşacak maksimum eksenel yüke direnecek şekilde boyutlandırılmıştır. Kolon elemanlarının tasarımı için yukarıda bahsedilen çapraz elemanlarında mekanizma durumları altına oluşacak çekme ve basınç kuvvetleri için AISC 2016 sismik hükümlerince belirlenmiş üç adet analiz yöntemine göre belirlenecek en elverişsiz iç kuvvetlerden dolayı oluşan düşey kuvvetler dikkate alınmıştır. Dolayısıyla kolon tasarımı yapılmadan önce dikkate alınan her iki sistem için de ilk olarak çapraz elemanı belirlenerek tasarımda dikkate alınacak çekme ve basınç kapasiteleri elde edilmiştir.

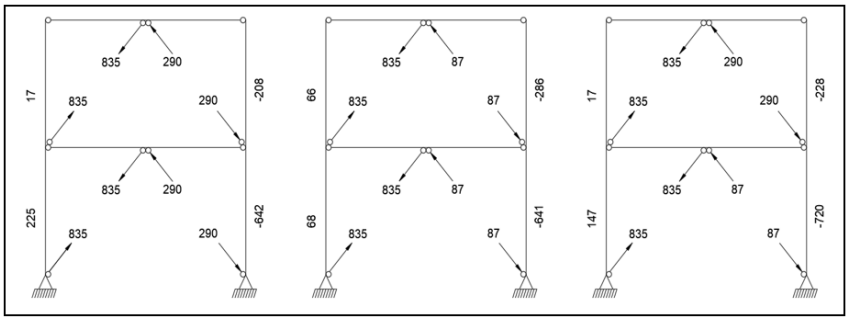
Bu analizlerden ilk iki tanesi 2010 AISC sismik hükümleri uyarınca geleneksel çelik çaprazlı çerçeve tasarımını kapsamaktadır. Bu tasarım yönteminde ilk olarak çekme etkisi altındaki çapraz elemanlarının beklenen çekme kapasitesine ulaştığı,

basınç etkisi altındaki çapraz elemanlarının ise beklenen basınç kapasitesi ulaştığı tasarım yöntemidir. İkinci analiz yöntemi ise çekme etkisi altındaki çapraz elemanlarının çekme kapasitelerine ulaştığı, basınç etkisi altında çapraz elemanlarının burkulma sonrası basınç kapasitelerine ulaşmasıdır. Bahsedilen bu iki analiz yöntemi Şekil 3.5' te Analiz 1 ve Analiz 2 durumu olarak gösterilmiştir.

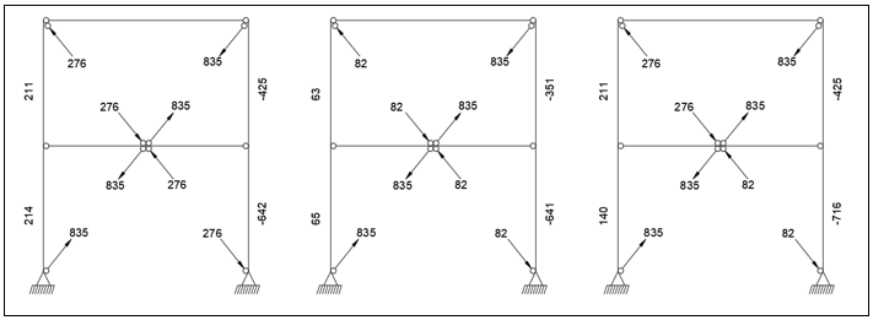
Üçüncü analiz yöntemi ise bahsedildiği üzere 2016 AISC Sismik Hükümlerince dikkate alınan ve geleneksel çelik çaprazlı çerçeve tasarımından oldukça farklı olup çok katmanlı çaprazlı sistemlerin tasarımı için özel olarak düşünülmüştür. Bu yöntem genel olarak kritik katmandan kritik olmayan katmana doğru çapraz elemanların basınç ve çekme kapasitelerine ulaşmasını içermektedir. Kritik olmayan katmandaki çapraz elemanların çekme ve basınç kapasitelerine ulaştığında kritik katmandaki çapraz elemanının çekme ve burkulma sonrası basınç kapasitesine ulaşıyor olması düşünülerek yapılan tasarım yöntemidir.



Şekil 3.5: Analiz durumu 1, analiz durumu 2 ve analiz durumu 3.



Şekil 3.6: Ters v çapraz konfigürasyonu altında analiz durumu 1, analiz durumu 2 ve analiz durumu 3 altında oluşan iç kuvvetler.



Şekil 3.7: Ters v çapraz konfigürasyonu için analiz durumu 1, analiz durumu 2 ve analiz durumu 3 altında oluşan iç kuvvetler.

Tablo 3.2: Analiz durumu iç kuvvet talepleri.

	Ters V Çapraz Konfigürasyonlu Analiz Modeli			İki Katta X Çapraz Konfigürasyonlu Analiz Modeli		
	F (kN)	T (kN)	P (kN)	F (kN)	T (kN)	P (kN)
Analiz I	723	225	642	714	214	642
Analiz II	593	68	641	589	65	641
Analiz III	723	147	720	714	140	716

Yeni tasarım yöntemine göre çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için her bir katman noktasına uygulanacak olan kat kesme kuvvetleri ilgili her iki analiz modeli için düzlem içinde her bir katman bölgesinden ilgili çerçeveye uygulanacak şekilde dikkate alınacaktır. Ayrıca 2016 AISC sismik hükümlerince çapraz elemanlarının düzlem dışı burkulmasından dolayı kolon elemanlarda oluşması beklenen düzlem dışı eğilme momenti talebi de kolon elemanı tasarımı yapılırken dikkate alınması gereken bir diğer önemli unsurdur. Buradaki her bir katmana etkiyecek katman kesme kuvvetleri çapraz elemanlarda çekme ve basınç etkisi altında oluşan iç kuvvetlerin yatay bileşenleri olarak dikkate alınacaktır. Çapraz elemanlarda ilgili şekilde de gösterildiği gibi beklenen basınç kuvveti etkisi "T" ve beklenen çekme kuvveti etkisi ise "C" olduğu düşünüldüğünde katmanlara etkiyen kat kesme kuvveti V=(T + C)*cosθ ile hesaplanmaktadır. Ayrıca dikkate alınacak katman kesme kuvvetleri beraberinde kolon elemanlarında düzlem içi deformasyon oluşturacaktır. Bu deformasyonun oluşturacağı eğilme momenti talebi ise denklem 3.1'de gösterilmiştir.

$$\text{Mry} = \frac{Vbr}{2}\frac{h1h2}{h} \tag{3.1}$$

Eğilme momenti talebi hesabı için dikkate alınan katman kesme kuvveti hesabında kritik katman üstündeki çapraz elemanların çekme ve basınç kapasitesi ulaştığını, kritik katmandaki çapraz elemanların ise çekme ve burkulma sonrası basınç kapasitesine ulaştığı düşünülerek hesaplanmalıdır. 2016 AISC uyarınca ilgili katman kesme kuvveti ters V ve iki katta X çapraz konfigürasyonu için denklem 3.2'de gösterilmiştir.

$$\Delta V_{br} = (Texp + Cexp)_2 \cos\theta_2 - (Texp + C'exp)_1 \cos\theta_1 \qquad (3.2)$$

Ayrıca AISC 2016 sismik hükümleri uyarınca eksenel kuvvet göz önüne alındığında çok katmanlı çaprazlı sistemlerin kolonlarının sismik etkiler altındaki performansı ve geometrik ön kusurlardan dolayı oluşacak etkilerde dikkate alındığında tıpkı düzlem içinde olduğu gibi düzlem dışında da burkulmaya karşı direnmesi gerektiğini savunmaktadır. Kolonların düzlem dışı eğilme momenti talebi ise basınç etkisi altındaki çapraz elemanının düzlem dışı burkulmasından dolayı oluşacaktır. Bu değer ise çapraz elemanın burkulma kapasitesinin kolon eksenine paralel bileşeninin 0.006 katının çapraz-kolon birleşim bölgesine düzlem dışı etkitilmesi ise belirlenebilir. Ancak yönetmelik gereği P-Δ etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir. P-Δ etkilerini dikkate almak için ise düşey yükün 0.006'dan elde edilen düzlem dışı kuvveti 1.16 çarpanı ile büyültüp kolon bölgesinden ilgili katman noktasına düzlem dışında etkitilmelidir.

Son olarak kolon elemanı tasarımı yapılırken eksenel kuvvet ile moment etkisi ilişkisini birlikte incelemek gerekmektedir. Bileşik etkiler adı altında incelenen bu durum 2016 AISC sismik hükümleri uyarınca incelenmektedir. Bileşik etki durumları için eksenel kuvvet altında tercih edilecek iki farklı kombinasyon vardır. Bu kombinasyonlar ilgili kolon elemanında sismik etkiler altında oluşan eksenel kuvvetin (Pr) yine aynı elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımına (Pc) oranına göre değişiklik göstermektedir.

$$\frac{Pr}{Pc} \geq 0.2 \; ; \qquad \frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9}\left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy}\right) \leq 1.0 \qquad (3.3a)$$

$$\frac{Pr}{Pc} < 0.2 \; ; \qquad \frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy}\right) \leq 1.0 \qquad (3.3b)$$

3.5. Kiriş Tasarımı

Çelik çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri katman bölgelerinde düzlem dışında kat diyaframlarından veya herhangi bir dikmeden yoksun sistemler olsalar da düzlem içinde çapraz elemanlarla tutulmuş her katmanda kiriş elemanları bulunmaktadır. Bu sistemler için katmanlar arası kiriş elemanlarının ilgili tasarım standardı (2016 AISC) uyarınca analizi yapılacak olan çapraz elemanlarının mekanizma durumları dikkate alınarak çekme ve basınç kuvvetleri altındaki etkisinden dolayı beklenen maksimum eksenel kuvvete ve aynı mekanizma durumları altında beklenen dengelenmemiş kuvvetlere ve katman kesme kuvvetlerine karşı herhangi bir hasar oluşmadan bu etkiler altında elastik kalması beklenmektedir.

Kiriş elemanında tıpkı kolon elemanlarında olduğu gibi bileşik etkiler altındaki ilişkisinin incelemesi ve bu oranın ilgili sınır değere eşit veya altında olması beklenmektedir. Her iki model için seçilen kiriş elemanları ve bu elemanların kapasite değerleri tasarım özeti kısmında sunulmuştur.

3.6. Deplasman Kontrolü

Bir yapıda sismik etkiler altında kat yer değiştirmesi beklenmektedir. Beklenen bu yer değiştirmenin sünek tasarım gereği belli bir oranın altında olması gerekmektedir. ASCE 7-16 tasarım standardı hususunda geleneksel çaprazlı çerçeveler için bu oran %2.5 olarak belirlenmiştir. Fakat çok katmanlı çaprazlı çerçeveler geleneksel çaprazlı çerçevelere göre tasarım standartları farklı olduğu için yapılan çalışma önerileri göz önünde bulundurularak AISC 341-16 bölüm 4.e uyarınca katman kayması oranını %2 ile sınırlandırmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan dikkate alınan her iki analiz modeli için tanımlanmış her bir deprem kaydı altında maksimum kat kayması talepleri belirlenmiştir ve AISC 341-16 tasarım standardı uyarınca katman yer değiştirme oranları sonuçlar bölümünde gösterilmiştir.

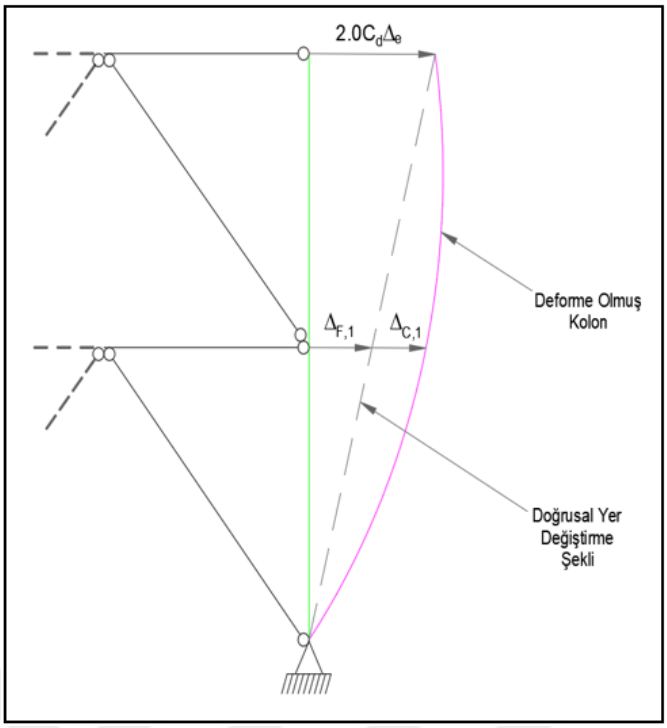
2016 AISC sismik hükümleri uyarınca çerçeve yer değiştirmesi oranının analiz modellerinde dikkate alınan iki katmanlı çerçeve sistemleri düşünüldüğünde her iki katmanın ayrı şekilde yer değiştirmeleri toplamının bize yapının toplam doğrusal yer değiştirme oranını vereceği için bu yer değiştirme oranın yer değiştirme büyütme katsayısı (Cd) ile çarpımının 2 katı gerekli sınır değerin altında olmalıdır. 2.0CdΔe

değeri bize ilgili katmandaki kolon elemanın yapacağı doğrusal yer değiştirmeyi vermektedir. Buna ek olarak kolon elemanda orta katmanlardaki çapraz elemanın burkulma etkisi ile oluşacak katman kesme kuvvetinin kolon elemanda yapacağı burulma etkisini de dikkate almak gerekmektedir.

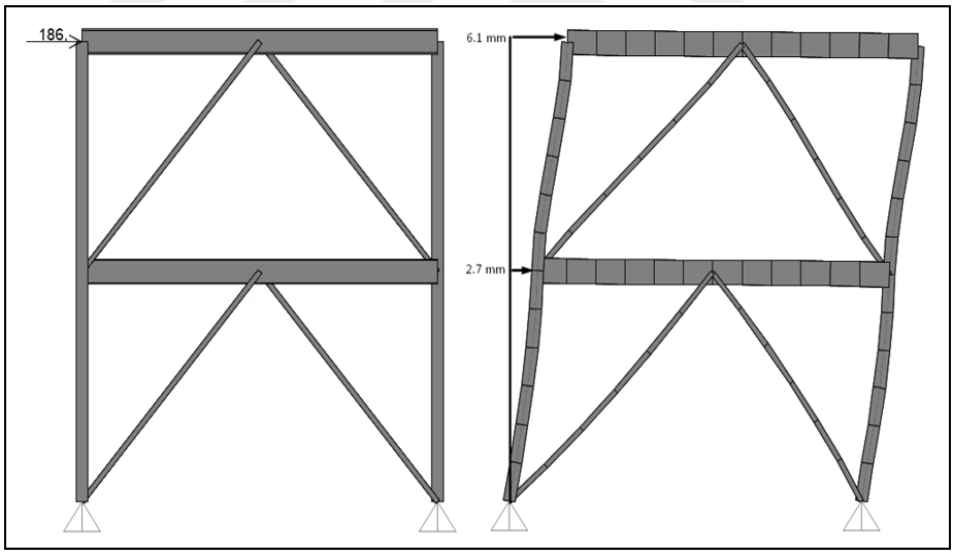
Buradaki $\Delta_{F,1}$ doğrusal analiz sonuçlarına göre katman 1'de ki yer değiştirmenin 2.0CdΔe ile çarpılmasıyla elde edilecek yer değiştirme oranıdır. $\Delta_{C,1}$ ise çapraz elemanların iç kuvvetlerinden dolayı katman bölgesine etki edecek dengelenmemiş kesme kuvvetinden dolayı oluşacak ek yer değiştirme oranıdır. Doğrusal analizlerden bağımsız olarak ilgili katman için bu iki değerin toplamının %2 değerinin altında olması gerekmektedir. Doğrusal olmayan analiz sonuçları %2 yer değiştirme oranının altında olsa bile doğrusal analiz sonuçları bu değerin üzerinde olması kolon elemanı büyümesine sebep olmaktadır.

Denklem 3.4'te her iki analiz modeli için de hem tepe hem de katman yer değiştirmesi gösterilmiştir. İlgili her iki analiz modeli için doğrusal analiz hesapları yapılmış ve ilk katmanın yer değiştirme oranları gösterilmiştir. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analiz sonuçları Tablo 3.5'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde iki analiz yöntemi için de katman yer değiştirme oranı %2'ye ulaşamamıştır. Tasarım aşamasında seçilen kolon kesiti yeterlidir. Ayrıca $\Delta_{C,1}$ aşağıda gösterildiği gibi hesaplanacaktır. Ayrıca doğrusal yer değiştirme altında kolon elemanının deforme olmuş şekli Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

$$\Delta_{C,1} = (\Delta V_{br}/2\ )*([h_1*h_2^2]/[3*E*Iy*h]) \qquad (3.4)$$



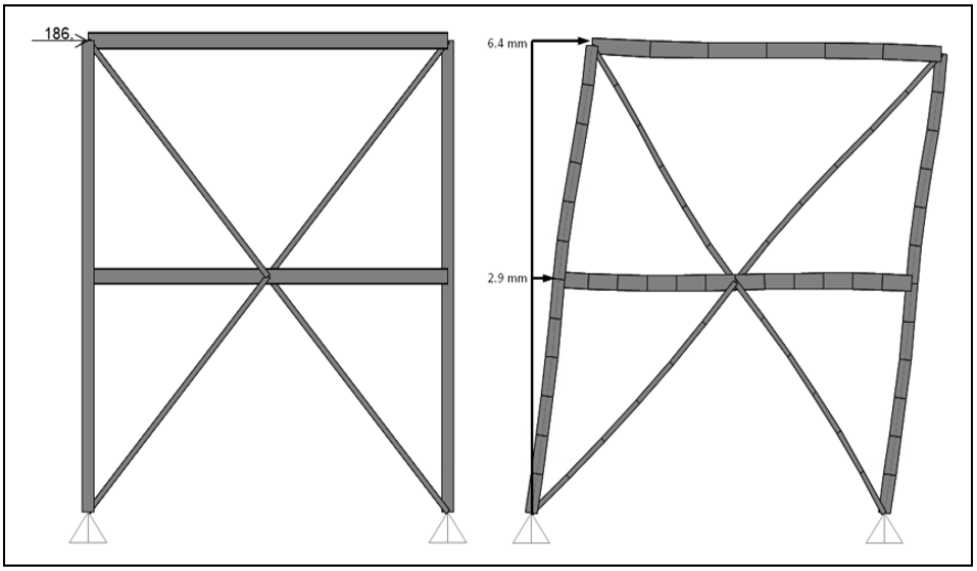
Şekil 3.8: Çerçeve deforme şekli.



Şekil 3.9: Ters v çapraz düzenine sahip çerçevenin deforme şekli.

Tablo 3.3: Ters v çapraz modeli için yer değiştirme kontrolü.

Ters V Çapraz Konfigürasyonu						
Doğrusal Analiz (Katman 1)	$\Delta_{F,1\ (2.0C_d\Delta_e)}$	$\Delta_{C,1}$	$\Delta_{F,1}+\Delta_{C,1}$		Oran	
0.0006	0.006	0.009	0.015	<	0.02	Kolon Kesiti Yeterli



Şekil 3.10: İki katta x çapraz düzenine sahip çerçevenin deforme şekli.

Tablo 3.4: İki katta x çapraz modeli için yer değiştirme kontrolü.

İki Katta X Çapraz Konfigürasyonu						
Doğrusal Analiz	$\Delta_{F,1\ (2.0C_d\Delta_e)}$	$\Delta_{C,1}$	$\Delta_{F,1}+\Delta_{C,1}$		Oran	
0.0008	0.008	0.009	0.017	<	0.02	Kolon Kesiti Yeterli

Tablo 3.5: Katman yer değiştirme istatistikleri.

		Ters V			İki Katta X		
		Doğrusal Olmayan analiz	Doğrusal Analiz	Sınır	Doğrusal Olmayan analiz	Doğrusal Analiz	Sınır
EQ ID	RSN*	Katman 1	Katman 1		Katman 1	Katman 1	
12011	953_0	0.27	1.46	2.00	0.23	1.66	2.00
12011	953_90	0.64	1.46	2.00	0.44	1.66	2.00
12012	960_0	0.68	1.46	2.00	0.53	1.66	2.00
12012	960_90	0.35	1.46	2.00	0.49	1.66	2.00
12041	1602_0	0.40	1.46	2.00	0.47	1.66	2.00
12041	1602_90	0.82	1.46	2.00	0.57	1.66	2.00
12052	1787_0	0.31	1.46	2.00	0.30	1.66	2.00
12052	1787_90	0.42	1.46	2.00	0.47	1.66	2.00
12061	169_0	0.41	1.46	2.00	0.43	1.66	2.00
12061	169_90	0.63	1.46	2.00	0.41	1.66	2.00
12062	174_0	0.30	1.46	2.00	0.38	1.66	2.00
12062	174_90	0.31	1.46	2.00	0.46	1.66	2.00
12071	1111_0	0.88	1.46	2.00	0.52	1.66	2.00
12071	1111_90	0.67	1.46	2.00	0.62	1.66	2.00
12072	1116_0	0.32	1.46	2.00	0.36	1.66	2.00
12072	1116_90	0.31	1.46	2.00	0.33	1.66	2.00
12081	1158_0	0.31	1.46	2.00	0.36	1.66	2.00
12081	1158_90	0.32	1.46	2.00	0.46	1.66	2.00
12082	1148_0	0.13	1.46	2.00	0.13	1.66	2.00
12082	1148_90	0.21	1.46	2.00	0.20	1.66	2.00
12091	900_0	0.26	1.46	2.00	0.25	1.66	2.00
12091	900_90	0.22	1.46	2.00	0.19	1.66	2.00
12092	848_0	0.48	1.46	2.00	0.45	1.66	2.00
12092	848_90	0.94	1.46	2.00	1.71	1.66	2.00
12101	752_0	0.87	1.46	2.00	0.51	1.66	2.00
12101	752_90	0.83	1.46	2.00	0.49	1.66	2.00
12102	767_0	0.62	1.46	2.00	0.52	1.66	2.00
12102	767_90	0.24	1.46	2.00	0.28	1.66	2.00
12111	1633_0	0.30	1.46	2.00	0.45	1.66	2.00
12111	1633_90	0.60	1.46	2.00	0.44	1.66	2.00
12121	721_0	0.29	1.46	2.00	0.27	1.66	2.00
12121	721_90	0.20	1.46	2.00	0.18	1.66	2.00
12122	725_0	0.82	1.46	2.00	0.56	1.66	2.00
12122	725_90	0.33	1.46	2.00	0.40	1.66	2.00
12132	829_0	0.30	1.46	2.00	0.31	1.66	2.00
12132	829_90	0.81	1.46	2.00	0.61	1.66	2.00
12141	1244_0	0.16	1.46	2.00	0.15	1.66	2.00
12141	1244_90	0.16	1.46	2.00	0.15	1.66	2.00
12142	1485_0	0.80	1.46	2.00	0.71	1.66	2.00
12142	1485_90	0.82	1.46	2.00	0.47	1.66	2.00
12151	68_0	0.54	1.46	2.00	0.43	1.66	2.00
12151	68_90	0.30	1.46	2.00	0.34	1.66	2.00
12171	125_0	0.59	1.46	2.00	0.46	1.66	2.00
12171	125_90	0.85	1.46	2.00	0.75	1.66	2.00

3.7. Tasarım Özeti

Çalışma kapsamında dikkate alınan her iki analiz modeli 2016 AISC sismik hükümleri uyarınca tasarlanmıştır. ilk olarak ASCE 7 (2016) uyarınca taban kesme kuvveti hesaplanmıştır ve çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için her üç analiz durumu altında iç kuvvetleri belirlenmiştir. Belirlenen iç kuvvetler uyarınca kolon, kiriş ve çapraz elemanları tasarlanmıştır. Tasarlanan kolon, kiriş ve çapraz elemanları bu bölümde sunulmuştur.

Tablo 3.6: Taban kesme hesabı.

Taban Kesme								
$S_{1\,(g)}$	$S_{D1\,(g)}$	R^a	$\Omega_0{}^b$	I_e	$C_d{}^c$	$W_{(kN)}$	C_x	$V_{(kN)}$
1	0.6	6	2	1	5	5945	0.313	1858

[a] Taşıyıcı sistem davranış katsayısı; [b] Dayanım fazlalığı katsayısı; [c] Yer değiştirme büyütme katsayısı.

Buradaki "S_1" ve "S_{D1}" tanımları ilgili tezin düşey ve sismik yükler bölümünde tariflenmiştir. Bununla birlikte Tablo 3.6'da belirtilen "R^a" taşıyıcı sistem davranış katsayısını, "$\Omega_0{}^b$" dayanım fazlalığı katsayısını, "$C_d{}^c$" yer değiştirme büyütme katsayısını, "I_e" önem faktörünü, "W" sistemin toplam kütlesini, "C_x" sismik tepki katsayısını ve "V" ise toplam taban kesme kuvvetini göstermektedir. İlgili tez kapsamındaki her iki analiz modeli için toplam 10 tane çaprazlı çerçeve sistemi olduğundan dolayı gelen sismik yüklerin çapraz elemanlar tarafından karşılanması ilgili taban kesme kuvvetin toplam çaprazlı çerçeve sayısına göre eşit olarak bölünmesi ile elde edilecektir. Bu sebepten dolayı her bir çaprazlı çerçeve için taban kesme kuvveti $V=1858^{(kN)}/10 = 186$ kN olarak hesaplanmıştır.

Çapraz elemanı tasarımında her iki analiz modeli için her iki katmana ait değerler aşağıda gösterilmiştir. Fakat kiriş tasarımı da düşünüldüğünde gerekli olan eksenel kuvvet değeri için aşağıda kritik katmandaki çapraz elemanı baz alınarak hesaplanan ΔV_{br} değeri kiriş elemanı tasarımda eksenel kuvveti temsil etmektedir. Aynı şekilde M_{ry} değeri de bize kolon elemanında düzlem içi moment değerini vermektedir.

Tablo 3.7: Çapraz elemanı tasarım değerleri.

Çapraz Tasarımı										
		Kesit	L (mm)	b/t	KL/r	$T_{(kN)}$	$C_{(kN)}$	$C'_{(kN)}$	ΔV_{br}	M_{ry}
Ters V Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Analiz Modeli	Katman 2	HSS 4x4x1/4	4885	17.2	126.5	834.6	290.8	87.2	130.8	294.4
	Katman 1		5150		133.4					
İki Katta X Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Analiz Modeli	Katman 2	HSS 4x4x1/4	4880	17.2	126.4	834.6	276.0	82.8	124.2	279.4
	Katman 1		5130		132.9					

Tablo 3.8: Kiriş elemanı tasarım değerleri.

Kiriş Tasarımı											
	Kesit	K_xL/r_x	K_yL/r_y	$Pr_{(kN)}$	$Pc_{(kN)}$	Pr/Pc	$Mr_{x\,(kNm)}$	$Mr_{y\,(kNm)}$	$Mc_{x\,(kNm)}$	$Mc_{y\,(kNm)}$	Pr/Pc + 8/9(Mrx/Mcx+Mry/Mcy)
Ters V Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Analiz Modeli	W18x130	36.7	109	130.8	3560.0	0.04	786.0	0.0	802.2	282.1	0.91
İki Katta X Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Analiz Modeli	W12x45	57.2	151	124.2	641.0	0.19	279.4	0.0	326.2	70.1	0.96

Kolon elemanı tasarımında ilgili eksenel kuvvetin kolon üst ucuna etkiyen toplam makas elemanları ağırlıklarını ve ölü yüklerin toplamını temsil etmektedir. Ayrıca tasarımda dikkate alınan düzlem dışı yönünde beklenen deformasyondan dolayı oluşacak moment değeri AISC 341-16 uyarınca düşey yükün 0.006 katının 1.16 katsayısının çarpılması ile elde edilecektir.

Tablo 3.9: Kolon elemanı tasarım değerleri.

Kolon Tasarımı											
	Kesit	K_xL/r_x	K_yL/r_y	$Pr_{(kN)}$	$Pc_{(kN)}$	Pr/Pc	$Mr_{x\,(kNm)}$	$Mr_{y\,(kNm)}$	$Mc_{x\,(kNm)}$	$Mc_{y\,(kNm)}$	Pr/Pc + 8/9(Mrx/Mcx+Mry/Mcy)
Ters V Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Analiz Modeli	W14x68	29.5	59.0	730.0	3067.5	0.24	294.4	23.0	582.3	136.8	0.84
İki Katta X Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Analiz Modeli	W14x68	29.5	59.0	730.0	3067.5	0.24	279.4	23.0	582.3	136.8	0.81

4. PERFORM 3D ANALİZ MODELLERİ

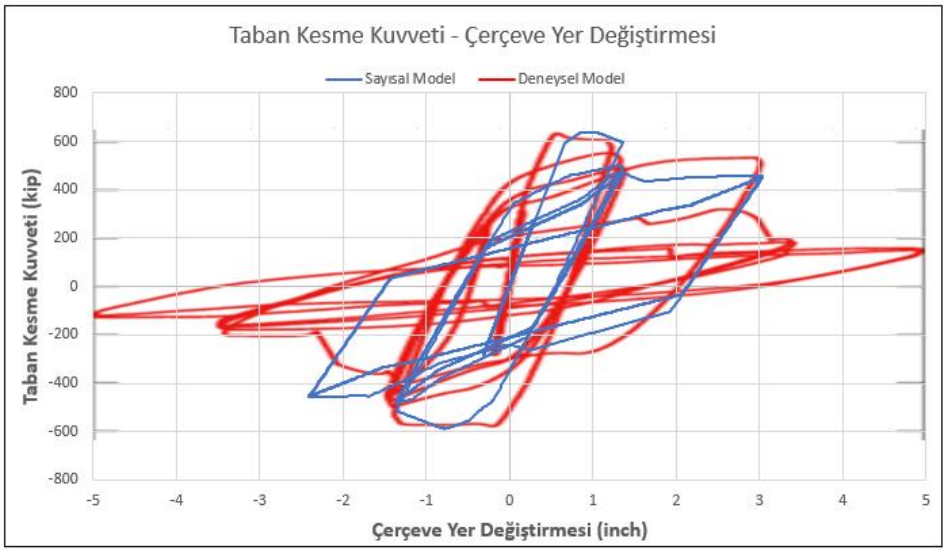
4.1. Genel

Bu bölümde ilgili tez kapsamında tasarımı yapılan modellerin seçilen her bir deprem kaydı altında oluşacak sismik etkileri ve bu etkiler altındaki hem genel hem de eleman bazında davranışları Perform 3D analiz programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Perform 3D, CSI (Computers and Structures) tarafından geliştirilmiş ileri seviyede nonlineer analiz programıdır.

4.2. Test Çalışması Sayısal Modeli

Çalışma kapsamında dikkate alınacak modeller Perform 3D analiz programında modellenmeden önce daha önce sayısal çalışması yapılmış benzer bir çalışmanın incelenip doğrulanması gerekmektedir. Patxi Uriz ve Stephen A. Mahin'in 2008 yılında birlikte yaptıkları "Toward Earthquake-Resistant Design of Concentrically Braced Steel-Frame Structures" isimli çalışması incelenmiştir. Bu çalışmada eş merkezli çaprazlı çelik çerçeve yapıların depreme dayanıklı tasarımları anlatılmaktadır.

İlgili çalışma kapsamında dikkate alınan iki katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sisteminin test sonuçları incelenmiştir. Çalışma kapsamındaki kolon, kiriş ve çapraz elemanları, malzeme bilgisi, ilgili yükler ve yükleme protokolü ilgili çalışma uyarınca dikkate alınmış ve Perform 3D analiz programında analiz modeli kurularak yükleme protokolü oluşturulmuştur. Daha sonra analiz sonuçları incelenmiştir ve ilgili taban kesme-çatı yer değiştirmesi sonucu geçmiş deneysel test verisi ile doğrulanmıştır. Bu doğrulama sonucu Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Taban kesme kuvveti-çatı yer değiştirmesi (kip-inch).

4.3. Kolon Elemanı Modelleme

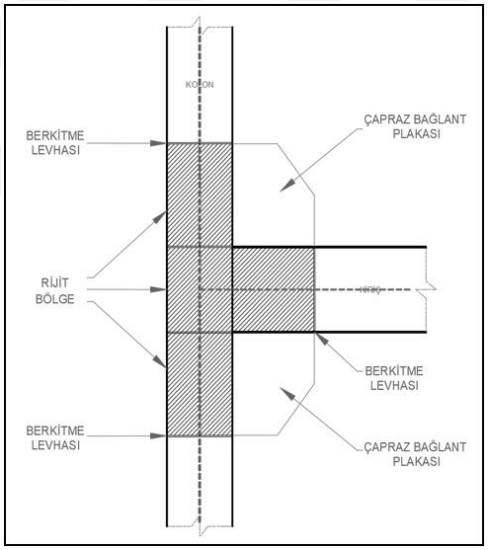
Tasarımı yapılan kolon elemanları Perform 3D analiz programının cross section kısmında belirlenerek programa tanıtılmıştır. Bu belirleme kısmında elemanların enkesit alanı, akma dayanımları ve plastik mukavemet momenti değerlerine göre hesaplanan çekme ve basınç dayanımı kapasiteleri ilgili bölümünde tanımlanarak akma gerilmesine bağlı kapasiteleri programa girilmiştir. Ayrıca elde edilen bu çekme, basınç ve moment değerleri doğrultusunda eleman bazında eksenel kuvvet-moment (PMM) kapasitelerini görebileceğimiz PMM etkileşimi grafiği de ilgili bölümde Perform 3D tarafından bize sunulmaktadır. İlgili etkileşim grafiği aslında bize her bir eksenel kuvvet altında sahip olduğu maksimum moment değerlerini göstererek kapasitesi dahilinde akma noktalarının zarfını göstermektedir. Dolayısıyla tasarım felsefesi gereği sismik etkiler altında beklenen iç kuvvet taleplerinin bu etkileşim grafiğinin akma noktaları zarfının içerisinde kalması gerekmektedir.

Ayrıca kolon elemanının sismik etkiler altında akma sonrası davranışı tanımlamak için Perform 3D programına ilgili PMM mafsalına ait moment-dönme eğrisi ilişkilerini de girmek gerekmektedir.

Perform 3D programına kolon elemanı tanımlarken sismik etkiler altında hem elastik ötesi şekil değiştirecek hem de elastik kalarak herhangi bir şekil değiştirme beklenmeyen bölgeleri programa tanımlamak gerekmektedir. Bu işlemi yaparken

kolon elemanı boyunca bazı bölgelere mevcut kolon elemanından daha rijit eleman tanımlanacak ve mevcut kolon elemanı ile bu rijit eleman arasına P-M2-M3 mafsalı atanarak elastik ötesi şekil değiştirmesi beklenen bölge programa girilecektir.

Perform 3D'de bir yapı modellerken mutlaka rijit bölgeleri tanımlamak gerekmektedir. Bu bölgeler çaprazlı bir çerçevede kolon kiriş birleşim bölgelerinde bulunan çapraz elemanı plakasının bulunduğu kısımları içermektedir. Gerçeğe en yakın sonuca ulaşmak için programa bu bölgeleri normal kolon veya kiriş elemanı olarak değil, sismik etkiler altında herhangi bir elastik ötesi davranış olmayacağı için bu bölgeler normal kiriş veya kolon elemanına göre daha rijit tanımlanmalıdır. Daha sonra rijit bölge ile normal kesit ara bölgesine ise PMM mafsalı tanımlanmalıdır. Bu işlemi yapmamızdaki en önemli sebeplerden biri ise Perform 3D'nin çalışma mekanizmasının bu şekilde olmasıdır.

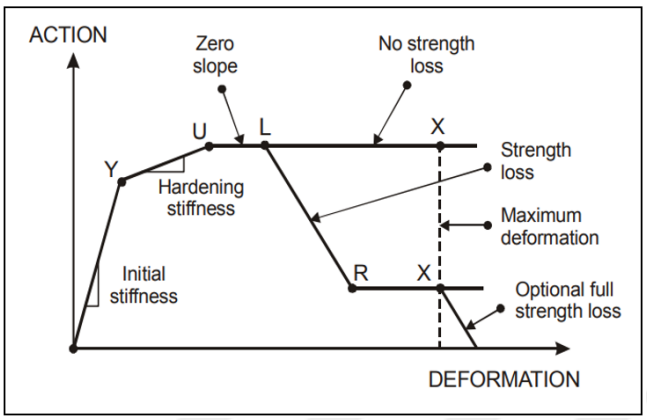


Şekil 4.2: Perform 3D için kolon ve kiriş elemanların rijit bölge tarifi.

Ayrıca bu tanımlamalar yapılırken malzeme için "Elastic Perfectly Plastic" (E-P-P), malzemenin dayanım kaybı ve kontrol edilecek gerilme seviyeleri de dikkate alınarak tanımlanmıştır.

Malzeme tanımı için "Elastic Perfectly Plastic" tercih edilmesinin en önemli sebeplerinden bir tanesi modellerde plastik gerilmeler akma yüzeyi üzerinde olacaktır. Bu nedenle, gerinim sertleştirmesini içermeyen her bir modelde ortaya çıkacak gerilimler akma geriliminden daha büyük olamayacaktır. Dolayısıyla bu tür malzemeye sahip elemanlar üzerine etkiyen kuvvetin kaldırılmasından sonra tekrar

eski şeklini almaya çalışacaklardır. Bu davranış türü tam olarak bir elemanın elastik ötesi şekil değiştirme limitine ulaşmadığı sürece üzerindeki kuvvetin etkisi kalktıktan sonra yapmasını beklediğimiz davranıştır.



Şekil 4.3: Kuvvet- deformasyon grafiği.

Ayrıca kuvvet-deformasyon grafiğinde de gösterilen ilgili dayanım kayıpları ASCE 41-13 uyarınca hesaplanmıştır. Kolon elemanı için belirlenen P/P_{CL} oranına göre gerekli $b/2t_f$ ve h/t_w aralığı sağlanarak plastik dönme açı değerleri aşağıda gösterildiği gibi ASCE 41-13 uyarınca tespit edilip Perform 3D'ye girilmiştir.

Tablo 4.1: Kolon elemanı için doğrusal olmayan prosedürler için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri-yapısal çelik bileşenler.

	Modeling Parameters			Acceptance Criteria		
	Plastic Rotation Angle, Radians		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, Radians		
Component or Action	*a*	*b*	*c*	IO	LS	CP
Beams—Flexure						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{418}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	$1\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{640}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					
Columns—Flexure[a,b]						
For $P/P_{CL} < 0.2$						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{300}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	$1\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{460}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					
For $0.2 \le P/P_{CL} \le 0.5$						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{260}{\sqrt{F_{ye}}}$	—[c]	—[d]	0.2	$0.25\theta_y$	—[c]	—[d]
b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{400}{\sqrt{F_{ye}}}$	$1\theta_y$	$1.5\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$1.2\theta_y$	$1.2\theta_y$
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					

Aşağıda Perform 3D'de ilgili kolon elemanları için gerekli olan dönme değerleri sunulmuştur. Bu değer Tablo 4.1 (ASCE 41-13) uyarınca ilgili kolon elemanlarının eksenel kuvvet oranları göz önüne alınarak başlık ve gövde kalınlığı sınırları uyarınca hesaplanmıştır.

DU	0.007569
DL	0.030274
DR	0.030512
DX	0.045412

Şekil 4.4: Kolon elemanı uzama değerleri.

4.4. Kiriş Elemanı Modelleme

Tasarımları yapılan kiriş elemanlarının Perform 3D analiz programında kolon elemanlarında olduğu gibi "Cross Section" bölümünde belirlenerek programa tanıtılmıştır. Bu belirleme kısmında ise tıpkı kolon elemanlarında olduğu gibi elemanların enkesit alanı, akma dayanımları ve plastik mukavemet momenti değerlerine göre hesaplanan çekme ve basınç dayanımı kapasiteleri ilgili bölümde tanımlanarak akma gerilmesine bağlı kapasiteleri programa girilmiştir.

Ayrıca kiriş elemanının sismik etkiler altında akma sonrası davranışı tanımlamak için Perform 3D programına ilgili PMM mafsalına ait moment-dönme eğrisi ilişkilerini de kolon elemanlarda olduğu gibi ilgili bölümünden girilmesi gerekmektedir.

Sismik etkiler altında çaprazlı bir çerçevedeki kiriş elemanlarında da tıpkı kolon elemanlarında olduğu gibi herhangi bir elastik ötesi şekil değiştirme durumu söz konusu olmasa da Perform 3D tasarım mantığı olarak rijit bölgeler tanımlanmaktadır. Bu işlemi yaparken kiriş elemanı boyunca bazı bölgelere mevcut kiriş elemanından daha rijit eleman tanımlanacak ve mevcut kiriş elemanı ile bu rijit eleman arasına PMM mafsalı atanarak elastik ötesi şekil değiştirmesi beklenen bölge programa girilmiştir.Kiriş elemanı plastik dönme açısı değerleri için hesaplanacak dayanım kayıpları oranları ASCE 41-13 uyarınca hesaplanmıştır. Kiriş elemanı için gerekli $b/2t_f$ ve h/t_w aralığı sağlanarak plastik dönme açısı değerleri aşağıda gösterildiği gibi Tablo 4.2 (ASCE 41-13) uyarınca analiz programına girilmiştir.

Tablo 4.2: Kiriş elemanı için doğrusal olmayan prosedürler için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri-yapısal çelik bileşenler.

Component or Action	Modeling Parameters: Plastic Rotation Angle, Radians — a	Modeling Parameters: Plastic Rotation Angle, Radians — b	Modeling Parameters: Residual Strength Ratio — c	Acceptance Criteria: Plastic Rotation Angle, Radians — IO	Acceptance Criteria: Plastic Rotation Angle, Radians — LS	Acceptance Criteria: Plastic Rotation Angle, Radians — CP
Beams—Flexure						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{418}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	$1\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{640}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					
Columns—Flexure[a,b]						
For $P/P_{CL} < 0.2$						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{300}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	$1\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{460}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					
For $0.2 \le P/P_{CL} \le 0.5$						
a. $\frac{b_f}{2t_f} \le \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ and $\frac{h}{t_w} \le \frac{260}{\sqrt{F_{ye}}}$	—[c]	—[d]	0.2	$0.25\theta_y$	—[e]	—[d]
b. $\frac{b_f}{2t_f} \ge \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ or $\frac{h}{t_w} \ge \frac{400}{\sqrt{F_{ye}}}$	$1\theta_y$	$1.5\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$1.2\theta_y$	$1.2\theta_y$
c. Other	Linear interpolation between the values on lines a and b for both flange slenderness (first term) and web slenderness (second term) shall be performed, and the lower resulting value shall be used					

Aşağıda Perform 3D'de hem ters V hem de iki katta X çapraz konfigürasyonuna ait kiriş elemanları için gerekli olan dönme değerleri sunulmuştur. Bu değer tıpkı kolon elemanları gibi ASCE 41-13 uyarınca hesaplanmıştır.

	a	b
DU	0.010981	0.015445
DL	0.043926	0.061781
DR	0.044305	0.062160
DX	0.065889	0.092671

Şekil 4.5: a) Ters v çapraz konfigürasyonuna ait uzama değerleri, b) İki katta x çapraz konfigürasyonuna ait uzama değerleri.

4.5. Çapraz Elemanı Modelleme

Tasarımları yapılan çapraz elemanlarının Perform 3D analiz programında tanımlanması kolon ve kiriş elemanları gibi "Cross Section" bölümünden yapılmamaktadır. Programa "Inelastic Materials" bölümünün "Steel Bar/Tie/Strut" başlığı altında programa tanıtılmıştır. Daha sonra ise çapraz elemanın kuvvet-yer değiştirme davranışını tanımlamak için Perform 3D'de "Inelastic Steel Material,

Buckling" olarak tanımlanmıştır. Bunlarla birlikte aynı bölümde çapraz elemanının çekme ve basınç etkisi altında gerçekleştireceği akma uzaması ve basınç kısalması değerleri de hesaplanıp programın ilgili bölümüne girilmiştir. Şekil değiştirme kapasitesi dikkate alınarak tasarlanan ilgili çapraz eleman için dayanım kaybı göz önüne alınmıştır. Eksenel deformasyon baz alınarak hesaplanan plastik deformasyon değerleri ASCE41-13 uyarınca Tablo 5.4'te gösterildiği gibi dikkate alınmıştır.

Çapraz elemanı için de tıpkı kiriş ve kolon elemanlarında olduğu gibi plastik dönme açısı değerleri için hesaplanacak dayanım kayıpları oranları ASCE 41-13 uyarınca hesaplanmıştır. Tablo 4.3'te gösterildiği gibi ASCE 41-13 uyarınca basınç etkisi altındaki çapraz elemanları için plastik deformasyon ve artık güç oranı Perform 3D analiz programına girilmiştir.

Tablo 4.3: Çapraz elemanı için doğrusal olmayan prosedürler-yapısal çelik bileşenler-eksenel hareketler için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri.

	Modeling Parameters			Acceptance Criteria		
	Plastic Deformation		Residual Strength Ratio	Plastic Deformation		
Component/Action	*a*	*b*	*c*	IO	LS	CP
Braces in Compression (except EBF braces)[a,b]						
a. Slender $\frac{Kl}{r} \geq 4.2\sqrt{E/F_y}$						
1. *W*, *I*, 2*L* in-plane[c], 2*C* in-plane[c]	$0.5\Delta_c$	$10\Delta_c$	0.3	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	$10\Delta_c$
2. 2*L* out-of-plane[c], 2*C* out-of-plane[c]	$0.5\Delta_c$	$9\Delta_c$	0.3	$0.5\Delta_c$	$7\Delta_c$	$9\Delta_c$
3. HSS, pipes, tubes	$0.5\Delta_c$	$9\Delta_c$	0.3	$0.5\Delta_c$	$7\Delta_c$	$9\Delta_c$
4. Single angle	$0.5\Delta_c$	$12\Delta_c$	0.3	$0.5\Delta_c$	$9\Delta_c$	$12\Delta_c$
b. Stocky[d] $\frac{Kl}{r} \leq 2.1\sqrt{E/F_y}$						
1. *W*, *I*, 2*L* in-plane[c], 2*C* in-plane[c]	$1\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.5	$0.5\Delta_c$	$7\Delta_c$	$8\Delta_c$
2. 2*L* out-of-plane[c], 2*C* out-of-plane[c]	$1\Delta_c$	$7\Delta_c$	0.5	$0.5\Delta_c$	$6\Delta_c$	$7\Delta_c$
3. HSS, pipes, tubes	$1\Delta_c$	$7\Delta_c$	0.5	$0.5\Delta_c$	$6\Delta_c$	$7\Delta_c$
c. Intermediate	Linear interpolation between the values for slender and stocky braces (after application of all applicable modifiers) shall be used.					
Braces in Tension (except EBF braces)[e,f,g]						
1. *W*	$10\Delta_T$	$13\Delta_T$	0.6	$0.5\Delta_T$	$10\Delta_T$	$13\Delta_T$
2. 2*L*	$9\Delta_T$	$12\Delta_T$	0.6	$0.5\Delta_T$	$9\Delta_T$	$12\Delta_T$
3. HSS	$9\Delta_T$	$11\Delta_T$	0.6	$0.5\Delta_T$	$8\Delta_T$	$11\Delta_T$
4. Pipe	$8\Delta_T$	$9\Delta_T$	0.6	$0.5\Delta_T$	$7\Delta_T$	$9\Delta_T$
5. Single angle	$10\Delta_T$	$11\Delta_T$	0.6	$0.5\Delta_T$	$8\Delta_T$	$10\Delta_T$
Beams, columns in tension (except EBF beams, columns)[e]	$5\Delta_T$	$7\Delta_T$	1.0	$0.5\Delta_T$	$6\Delta_T$	$7\Delta_T$
Buckling-restrained braces[h,i,j]	$13.3\Delta_y$	$13.3\Delta_y$	1.0	$3.0\Delta_y$	$10\Delta_y$	$13.3\Delta_y$

İlgili çapraz elemanı Perform 3D analiz programında kolon ve kiriş elemanlarının eksenlerini baz alarak modellendiği için elemanın gerçekte olan boyu dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca tıpkı kolon ve kiriş elemanları gibi çapraz elemanlarının da ASCE 41-13 uyarınca hesaplanan dönme değerleri Perform 3D analiz programına girilmiştir.

4.6. Hasar Sınır Durumları Tanımlama

Hasar sınır durumları Perform 3D analiz programında “Limit State” bölümü altında tanımlanacaktır. Bu bölümde şekil değiştirme, dayanım, kat kayması, deplasman ve kesit tesirlerinin kapasite kontrolleri yapılmaktadır. İlgili başlık altında öncelikle “Limit State” bölümünde kontrolü yapılacak hasar sınırı için programa tanıtılır.

Bu tanımlama işlemi gerçekleşmesi beklenen sismik etkiler altında ilgili elemanlarda oluşması beklenen eksenel kuvvet altında kiriş, kolon ve çapraz elemanlarında basınç, çekme ve dönme etkisi kontrolleri için şekil değiştirme (Deformation) sınır durumu tanımlanmıştır.

4.7. Deprem Yer Hareketi Tanımlama

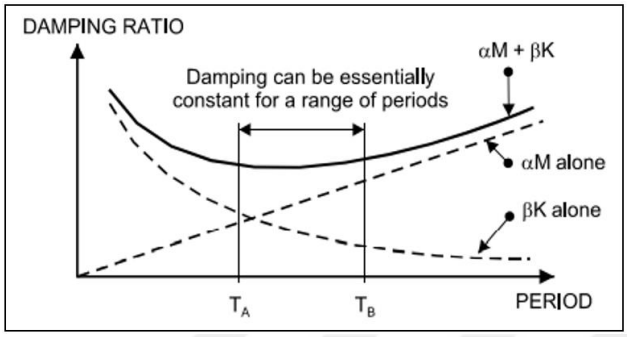
Çalışma kapsamında her bir analiz modeli için 22 çift deprem kaydı seçilmiştir. Seçilen bu deprem kayıtları ilgili çalışmanın düşey ve sismik yükler bölümünde detaylı olarak gösterilmiştir. ‘PEER Ground Motion Database’ üzerinden seçilen bu kayıtlar yatay elastik tasarım spektrumu dikkate alınarak ortalama deprem yer hareketi zarfının 0.2Tp ve 1.5Tp periyotları arasındaki genliklerinin tasarım spektrumunun üzerinde olduğu doğrulanmıştır. Daha sonra her bir kayıt için ortaya çıkan ölçek faktörleri göz önüne alınarak Perform 3D analiz programına tanımlanmıştır. İlgili deprem kayıtları ve ölçek faktörleri tez kapsamında “Düşey ve Sismik Yükler” başlığı altında sunulmuştur.

4.8. Rayleigh Sönüm Modeli Tanımlaması

Çalışma kapsamında sönüm tarifinde Rayleigh sönüm modeli kabul edilmiştir. Burada yapının kütlesi ve başlangıç rijitliği dikkate alınarak tariflenen Rayleigh sönüm modeli hem kütle hem de rijitlik için kabul edilen α ve β katsayı çarpanları ile tarif edilecektir. Buradaki α kütlenin, β ise başlangıç rijitlik değerlerinin çarpan faktörleridir. Bu sönüm modeli aşağıda gösterildiği gibi tariflenmektedir.

$$C = \alpha M + \beta K \quad (4.1)$$

Ayrıca aşağıda dikkate alınan periyot ve sönüm oranları uyarınca sönüm oranı ve periyot ilişkisi Şekil 4.6'da (Perform 3D kullanıcı kılavuzu) gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Sönüm oranı – periyot ilişkisi.

Aşağıda ters V ve iki katta X çapraz konfigürasyonlarına sahip analiz modellerinin Rayleigh sönüm tarifi gösterilmiştir. Perform 3D tasarım kılavuzu uyarınca ilgili yapının periyot değerleri dikkate alınarak hesaplanan A ve B noktaları programa girilmiştir. Ayrıca sönüm oranı %3 olarak dikkate alınmıştır. Analiz programında dikkate alınacak veriler Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Perform 3D için sönüm değerleri.

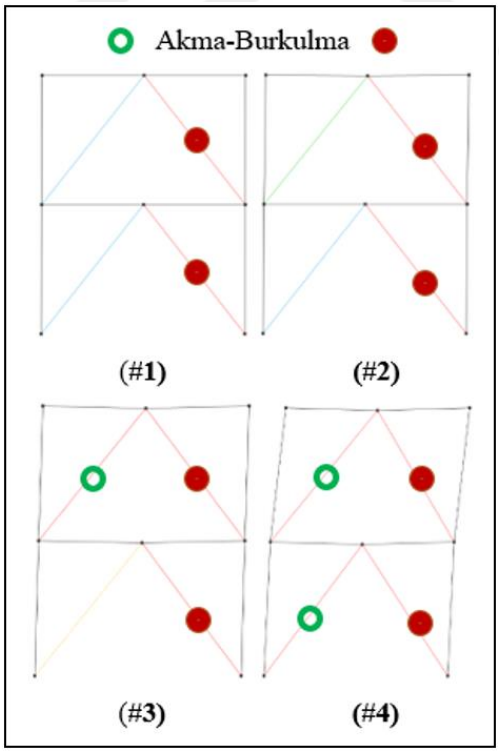
Ters V Çapraz Konfigürasyonu				
Periyot		Perform 3D Veri		Sönüm (%)
$T_{1,(mode1)}$	0.322	Point A	0.3602	3
$T_{2,(mode2)}$	0.116	Point B	1	3
İki Katta X Çapraz Konfigürasyonu				
Periyot		Perform 3D Veri		Sönüm (%)
$T_{1,(mode1)}$	0.315	Point A	0.3746	3
$T_{2,(mode2)}$	0.118	Point B	1	3

5. ANALİZ SONUÇLARI

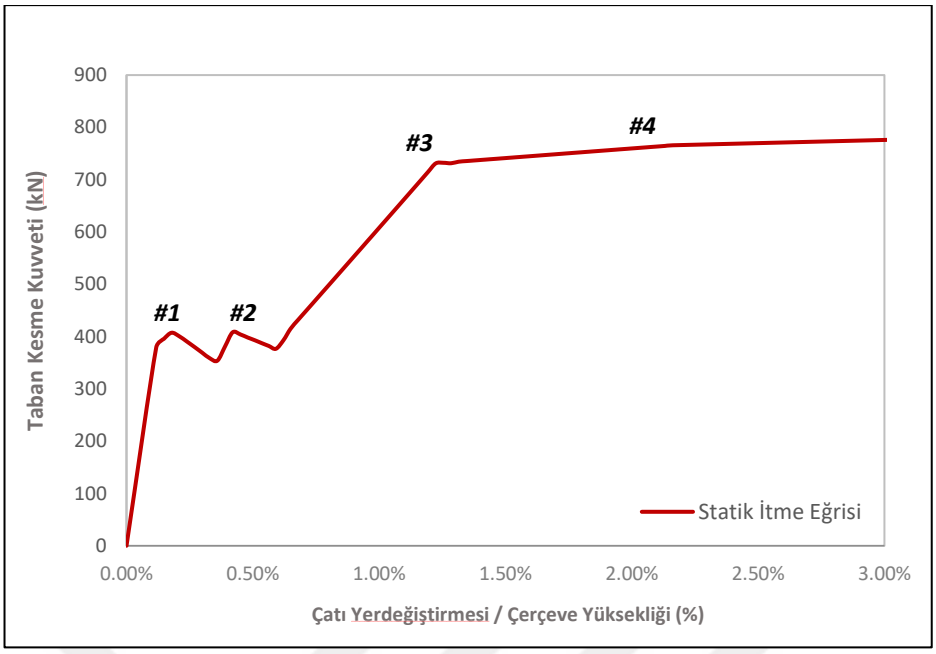
Bu bölümde ilgili tez çalışması kapsamında yapılan statik ve dinamik analizler için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Statik analiz sadece ters V çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı çelik çaprazlı çerçeve sistemi için yapılmıştır.

5.1. Statik Analiz Sonucu

İlgili tez kapsamında ters V çapraz düzenine sahip çok katmanlı çelik çaprazlı çerçeve için statik itme analizi uygulanmıştır. Elde edilen itme analizi sonuçları incelenmiş ve çapraz elemanlarında sismik etkiler altında eksenel deformasyonlar görülmüştür. Bu deformasyonlar (çapraz elemanlarında çekme etkisi altında akma ve basınç etkisi altında burkulma) statik itme eğrisi üzerinde adım adım gösterilmiştir. İlgili itme analizi için %3 çerçeve kayması (çerçeve yer değiştirmesi/çerçeve yüksekliği) uygulanmıştır.



Şekil 5.1: Ters v çapraz düzeni için itme analizi çapraz elemanı eksenel deformasyon adımları.



Şekil 5.2: Ters V Çapraz Düzeni İçin Statik İtme Eğrisi

Çapraz elemanlarının çekme etkisi altında aktığı ve basınç etkisi altında burkulduğu adımlar Şekil 5.2'de statik itme eğrisi üzerinde gösterilmiştir. İlgili adımların açıklaması aşağıda sunulmuştur.

- **#1:** Bu adımda her iki katman için basınç etkisi altındaki çapraz elemanları aynı anda kapasitelerine ulaşarak ilgili elemanlar için burkulma durumu görülmüştür.
- **#2:** Bu adımda ikinci katmandaki çekme etkisi altındaki çapraz elemanı kapasitesinin %50'sinden fazlasına ulaştığı görülmüştür.
- **#3:** Bu adımda ikinci katmandaki çekme etkisi altındaki çapraz elemanı kapasitesine ulaşarak ilgili eleman için akma durumu görülmüştür.
- **#4:** Bu adımda ilk katmandaki (kritik katman) çekme etkisine çalışan çapraz elemanı kapasitesine ulaşarak ilgili eleman için akma durumu görülmüştür.

5.2. Dinamik Analiz Sonuçları

Çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin değerlendirilmesi için ilgili çalışma kapsamında ters V ve iki katta X çapraz konfigürasyonuna sahip toplamda iki adet analiz modeli dikkate alınmıştır. Her bir analiz modeli için toplam

22 çift deprem kaydı dikkate alınarak yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları incelenmiştir. Her iki analiz modeli için elde edilen doğrusal olmayan analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Ters V çapraz düzenine sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevenin analiz sonuçları incelenmiş ve aşağıda maddeler halinde her bir grafik ve sonuç için ayrı ayrı açıklanmıştır.

- Şekil 5.3'te görüldüğü gibi ilk katmandaki (kritik katman) sol çapraz elemanının doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak gelen eksenel kuvvetlerin çapraz elemanının kapasitesine oranı (P/Pc) incelendiğinde gelen maksimum talebin kapasitenin %30 üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca maksimum değer ile birlikte medyan, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.3'te sunulmuştur.
- Şekil 5.4'te görüldüğü gibi ilk katmandaki (kritik katman) sağ çapraz elemanının doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak gelen eksenel kuvvetlerin çapraz elemanının kapasitesine oranı (P/Pc) incelendiğinde gelen maksimum talebin kapasitenin %25 üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca maksimum değer ile birlikte medyan, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.3'te sunulmuştur.
- Şekil 5.5'te görüldüğü gibi ikinci katmandaki sol çapraz elemanının doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak gelen eksenel kuvvetlerin çapraz elemanının kapasitesine oranı (P/Pc) incelendiğinde gelen maksimum talebin kapasitenin %40 üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca maksimum değer ile birlikte medyan, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.3'te sunulmuştur.
- Şekil 5.6'da görüldüğü gibi ikinci katmandaki sağ çapraz elemanının doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak gelen eksenel kuvvetlerin çapraz elemanının kapasitesine oranı (P/Pc) incelendiğinde gelen maksimum talebin kapasitenin %40 üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca maksimum değer ile birlikte medyan, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.3'te sunulmuştur.
- Şekil 5.7'de görüldüğü gibi ilk katmandaki katman kaymasının (katman yer değiştirmesi / katman yüksekliği) doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı

olarak ortalama %0.48 mertebelerinde olduğu ve çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için sınır değer olan %2.0'nin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.1'de sunulmuştur.

- Şekil 5.8'de görüldüğü gibi ikinci katmandaki katman kaymasının (katman yer değiştirmesi / katman yüksekliği) doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama %0.84 mertebelerinde olduğu ve çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için sınır değer olan %2.0'nin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.1'de sunulmuştur.
- Şekil 5.9'da görüldüğü gibi çerçeve kaymasının (çerçeve yer değiştirmesi / çerçeve yüksekliği) doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama %0.65 mertebelerinde olduğu ve çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için sınır değer olan %2.0'nin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.1'de sunulmuştur.
- Şekil 5.10'da görüldüğü gibi sol kolon elemanın eksenel kuvvet taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak maksimum 1100 kN, minimum 550 kN ve ortalama 875 kN olduğu görülerek kapasitenin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Şekil 5.11'de görüldüğü gibi sağ kolon elemanın eksenel kuvvet taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak maksimum 1100 kN, minimum 550 kN ve ortalama 985 kN olduğu görülerek kapasitenin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te görüldüğü gibi sol ve sağ kolon elemanın PMM etkileşim taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 0.37 mertebelerinde olduğu görülerek kapasitenin (1.0) altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.2'de sunulmuştur.
- Şekil 5.14 ve 5.15'te görüldüğü gibi sol ve sağ kolon elemanın düzlem içi moment taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 112.82 kN mertebelerinde olduğu görülerek kapasitenin (250 kN) altında

olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.2'de sunulmuştur.

- Şekil 5.16'te görüldüğü gibi ilk katmandaki (kritik katman) sol çapraz elemanın süneklilik taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 1.5 mertebelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.3'te sunulmuştur.
- Şekil 5.17'te görüldüğü gibi ilk katmandaki (kritik katman) sağ çapraz elemanın süneklilik taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 1.7 mertebelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.3'te sunulmuştur.
- Şekil 5.18'de görüldüğü gibi ikinci katmandaki sol çapraz elemanın süneklilik taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 2.4 mertebelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.3'te sunulmuştur.
- Şekil 5.19'da görüldüğü gibi ikinci katmandaki sağ çapraz elemanın süneklilik taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 2.6 mertebelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.3'te sunulmuştur.

İki katta X çapraz düzenine sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçevenin analiz sonuçları incelenmiş ve aşağıda maddeler halinde her bir grafik ve sonuç için ayrı ayrı açıklanmıştır.

- Şekil 5.30'da görüldüğü gibi ilk katmandaki (kritik katman) sol çapraz elemanının doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak gelen eksenel kuvvetlerin çapraz elemanının kapasitesine oranı (P/Pc) incelendiğinde gelen maksimum talebin kapasitenin %40 üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca maksimum değer ile birlikte medyan, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.

- Şekil 5.31'de görüldüğü gibi ilk katmandaki (kritik katman) sağ çapraz elemanının doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak gelen eksenel kuvvetlerin çapraz elemanının kapasitesine oranı (P/Pc) incelendiğinde gelen maksimum talebin kapasitenin %40 üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca maksimum değer ile birlikte medyan, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.
- Şekil 5.32'te görüldüğü gibi ikinci katmandaki sol çapraz elemanının doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak gelen eksenel kuvvetlerin çapraz elemanının kapasitesine oranı (P/Pc) incelendiğinde gelen maksimum talebin kapasitenin %40 üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca maksimum değer ile birlikte medyan, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.
- Şekil 5.33'te görüldüğü gibi ikinci katmandaki sağ çapraz elemanının doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak gelen eksenel kuvvetlerin çapraz elemanının kapasitesine oranı (P/Pc) incelendiğinde gelen maksimum talebin kapasitenin %40 üzerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca maksimum değer ile birlikte medyan, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.
- Şekil 5.34'te görüldüğü gibi ilk katmandaki katman kaymasının (katman yer değiştirmesi / katman yüksekliği) doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama %0.44 mertebelerinde olduğu ve çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için sınır değer olan %2.0'nin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.4'te sunulmuştur.
- Şekil 5.35'te görüldüğü gibi ikinci katmandaki katman kaymasının (katman yer değiştirmesi / katman yüksekliği) doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama %0.78 mertebelerinde olduğu ve çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için sınır değer olan %2.0'nin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.4'te sunulmuştur.
- Şekil 5.36'te görüldüğü gibi çerçeve kaymasının (çerçeve yer değiştirmesi / çerçeve yüksekliği) doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama %0.59 mertebelerinde olduğu ve çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için sınır

değer olan %2.0'nin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.4'te sunulmuştur.

- Şekil 5.37'de görüldüğü gibi sol kolon elemanın eksenel kuvvet taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak maksimum 1100 kN, minimum 510 kN ve ortalama 1005 kN olduğu görülerek kapasitenin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Şekil 5.38'de görüldüğü gibi sağ kolon elemanın eksenel kuvvet taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak maksimum 1100 kN, minimum 530 kN ve ortalama 1010 kN olduğu görülerek kapasitenin altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Şekil 5.39 ve 5.40'ta görüldüğü gibi sol ve sağ kolon elemanın PMM etkileşim taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 0.24 mertebelerinde olduğu görülerek kapasitenin (1.0) altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.5'te sunulmuştur.
- Şekil 5.41 ve 5.42'de görüldüğü gibi sol ve sağ kolon elemanın düzlem içi moment taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 34.30 kN mertebelerinde olduğu görülerek kapasitenin (250 kN) altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.5'te sunulmuştur.
- Şekil 5.44'te görüldüğü gibi ilk katmandaki (kritik katman) sol çapraz elemanın süneklilik taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 1.8 mertebelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.
- Şekil 5.45'te görüldüğü gibi ilk katmandaki (kritik katman) sağ çapraz elemanın süneklilik taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 1.7 mertebelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.
- Şekil 5.46'da görüldüğü gibi ikinci katmandaki sol çapraz elemanın süneklilik taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 2.6

mertebelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.

- Şekil 5.47'da görüldüğü gibi ikinci katmandaki sağ çapraz elemanın süneklilik taleplerinin doğrusal olmayan analiz sonuçlarına bağlı olarak ortalama 2.4 mertebelerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ortalama değer ile birlikte medyan, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.6'da sunulmuştur.

Hem ters V hem de iki katta X çapraz düzenine sahip çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için elde edilen sonuçlar detaylı olarak açıklanmıştır. Her iki çok katmanlı çaprazlı çerçeve için analiz sonuçları incelenmiştir. İncelenen sonuçlara istinaden iki çapraz düzeni dikkate alınarak elde edilen sonuçlar hakkındaki genel gözlemler aşağıda sunulmuştur.

- Çapraz elemanlara gelen eksenel kuvvetin kendi kapasitelerine oranı (P/Pc) 22 çift deprem kaydı altında her iki analiz modeli için ekte görüldüğü üzere 1.5 oranının altındadır. İki katmanda X çapraz konfigürasyonuna sahip sistemlerin neredeyse tüm katmanlarında bu oranın 1-1.5 arasında olduğu tespit edilse de, ters V çapraz konfigürasyonuna sahip sistem için P/Pc oranı kritik katmanda 1'in altında yoğunlaşması bize çapraz elemanın ilgili deprem kayıtları altında beklenen şekilde akma veya burkulma durumuna ulaşamadığı ve daha çok elastik şekil değiştirmeler yaptığı gözlemlenmiştir.
- Çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin katman yer değiştirme oranları AISC 2016 sismik hükümleri uyarınca %2 ile sınırlandırılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda 22 çift deprem kaydı için ters V çapraz konfigürasyonunun ilk katmanındaki yer değiştirme oranının %1'i bile geçmediği görülmektedir. İkinci katmanda ise 44 adet deprem kaydından sadece 10 adet deprem kaydının yer değiştirme oranı %1'i geçmiştir. Buradaki 10 adet deprem kaydının 9'u sismik hükümler uyarınca belirtilen %2 sınır değerinin altında olduğu görülmektedir.
- Ters V çapraz konfigürasyonuna sahip çaprazlı çerçeve sisteminin seçilmiş deprem kayıtları altında katman yer değiştirme taleplerinin bazı deprem

kayıtları altında oldukça konservatif kalması çapraz elemanlarının akma uzaması ve basınç kısalması değerlerinin elastik sınırlar içinde kaldığını doğrulamıştır.

- İki katmanda X çapraz konfigürasyonunun katman yer değiştirme oranları 22 çift deprem kaydı altında zaman tanım analında doğrusal olmayan analizler ile incelendiğinde ilk katmanda sadece tek deprem kaydının %1'i geçtiği geri kalan deprem kaydı sonuçların %0.8'i bile geçemediği ve %1'i geçen deprem kaydının ise AISC 2016 sismik hükümleri uyarınca gerekli sınır değer olan %2'nin altında kaldığı görülmektedir. İkinci katmana bakıldığında ise ilk katmana göre %1'in altında sonuç elde edilecek kadar konservatif sonuçlar elde edilemediği fakat tek deprem kaydı hariç geri kalan 43 adet deprem kaydı için yer değiştirme oranlarının %2'nin altında kaldığı tespit edilmiştir.
- Katmanlar arsı yer değiştirmelerin ters V çapraz konfigürasyona sahip sistem için homojen dağıldığı, iki katta X çapraz konfigürasyonuna sahip çaprazlı çerçeve sistemi için ise katman yer değiştirmeleri homojen kalma eğiliminde olsa da bazı durumlarda kritik katmanda bazı durumda ise kritik olmayan katmanda yoğunlaştığı gözlemlenmektedir.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda hem ters V hem de iki katta X çapraz konfigürasyonlu analiz modelleri için çapraz elemanlar ile tutulu kolon elemanlarında oluşan eksenel kuvvet etkisi kolon elemanının kapasitesinin üçte birinden daha az kuvvet meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Yapılan analizler sonucunda kolon elemanları için 22 çift deprem kaydı altında bileşik etki oranları incelenmiştir. İnceleme sonucunda kolon elemanlarına etkiyen eksenel kuvvet-moment ilişkisi oranları iki katta X çapraz konfigürasyonu için her iki kolon elemanında da bu oranın 0.3'u geçmeyerek beklenenden çok daha fazla konservatif kaldığı tespit edilmiştir. Ters V çapraz konfigürasyonuna sahip çaprazlı çerçeve sistemi için iki katta X çapraz konfigürasyonuna sahip sistem kadar konservatif kalmadığı ve bu oranın bazı deprem kayıtları için 0.3 ile 0.7 mertebeleri arasında olduğu görülmektedir.
- Kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talepleri incelenmiştir. İki katta X çapraz konfigürasyonu için sonuçlar incelendiğinde beklenenden oldukça düşük değerler elde edildiği görülmüştür. İki katta X çapraz konfigürasyonu

için elde edilen düzlem içi moment değerleri kolon elemanlarının oldukça konservatif kaldığını göstermektedir.

- Ters V çapraz konfigürasyonuna ait kolon elemanının düzlem içi moment talepleri ise iki katta X çapraz konfigürasyonuna ait sistemin kolon elemanlarında oluşan düzlem içi moment değerlerine göre biraz daha yüksek talepler elde edilmiştir.
- Analiz sonuçları incelendiğinde kolon elemanın düzlem içi moment talepleri tasarım sırasında da dikkate alınan çapraz elemanın dengelenmemiş kuvvetlerinden dolayı oluşan kesme kuvvetinin kolon elemanının düzlem içi doğrultusunda oluşturacağı moment değeri ile karşılaştırılmıştır. Her iki analiz modeli için 22 çift deprem kaydı altında elde edilen moment talepleri, tasarım aşamasında dikkate alınan moment değerinden oldukça az olduğu tespit edilmiştir.
- Elde edilmiş düzlem içi eğilme momenti taleplerinin hem kapasitenin hem de çapraz elemanların dengelenmemiş kuvvetinden dolayı oluşacak moment değerinin altında olması kolon elemanlarının düzlem içi beklenen burkulma limitine ulaşamadığını göstermektedir.
- 22 çift deprem kaydı altında yapılan analiz sonuçları incelendiğinde her iki analiz modeli için çapraz elemanların süneklilik talepleri değerlendirilmiştir. Ters V çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli sonucunda çapraz elemanların gerektiği kadar uzama ve kısalma şekil değiştirmelerine uğrayamadığı görülmüştür. Seçilmiş deprem kayıtlarının yarısı için bazı çaprazlarda herhangi bir süneklilik talebi görülmemiştir. Ters V çapraz konfigürasyonu için 44 adet deprem kaydı sonuçları altında ortalama süneklilik oranı ilk katman için 1.6, ikinci katman için ise 2.5'tir.
- İki katmanda X çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli için çapraz elemanların sismik etkiler altındaki süneklilik talepleri inceleme sonucunda her iki katmanda da çapraz elemanların uzama veya kısalma etkileri elastik ötesi şekilde yoğunlaştığı görülmektedir.
- İki katmanda X çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı çaprazlı analiz modelinin çapraz elemanı süneklilik talepleri, ters V çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeline göre ilgili çapraz elemanları seçilmiş deprem kayıtları

altında doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre çok daha fazla süneklilik etkileri gösterdiği tespit edilmiştir.

İlgili tez kapsamında yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları AISC 2016 sismik hükümleri uyarınca tasarımları yapılan ters V ve iki katta X çapraz konfigürasyonuna ait eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin 44 adet deprem kaydı altındaki sonuçları incelenmiştir.

Bu incelemeler sonucunda çok katmanlı çaprazlı çerçevelerin katman yer değiştirme oranları, çapraz ve kolon elemanlarına etki eden eksenel kuvvetin kapasite ile oranı, kolon elemanlarının doğrusal olmayan analizler ile bileşik etki oranları incelenerek eksenel kuvvet-moment etkisi altında oluşacak oranın kapasitelerinin aşıp aşmadığı, kolon elemanlarının düzlem içi oluşacak eğilme momenti taleplerinin hem kapasiteleri ile karşılaştırılması hem de çapraz elemanların dengelenmemiş kuvvetlerinden dolayı oluşacak düzlem içi eğilme momenti talebi ile karşılaştırılması ve dikkate alınan deprem kayıtları altında çapraz elemanların süneklilik talepleri incelenmiştir.

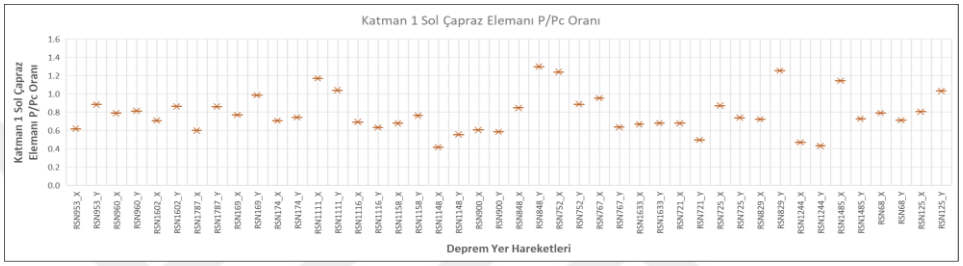
AISC 2016 sismik hükümleri uyarınca tasarımları yapılan çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri için elde edilen bu sonuçlar yukarıda bahsedildiği üzere birçok durum altında elemanların beklenenden daha fazla elastik kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla hem beklenen talepleri yakalayabilmek için hem de daha ekonomik sonuçlar elde edebilmek için çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerin tasarım gereksinimleri için yeni yöntemler getirilmesi gerekmektedir. Fakat unutulmamalıdır ki bu sonuçlar iki katmanlı ve katman yükseklikleri birbirine eşit çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri için geçerlidir.

İlgili sonuçlar için özet tablo bölüm 5.3 ve bölüm 5.4'te sunulmaktadır. Detaylı sonuçlar Ek-B ve Ek-C'de sunulmuştur. Perform 3D detaylı tasarım tariflemesi ise Ek-D'de sunulmuştur.

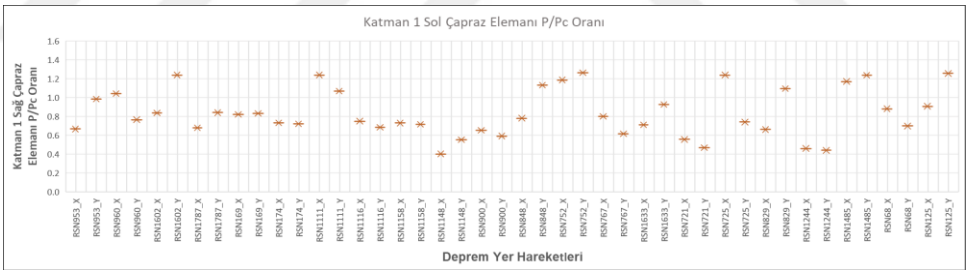
5.3. Ters V Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Çok Katmanlı Çaprazlı Çerçeve Sistemi Özet Analiz Sonuçları

Bu bölümde ters V çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli için 22 çift deprem kaydı altında yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları sunulmaktadır.

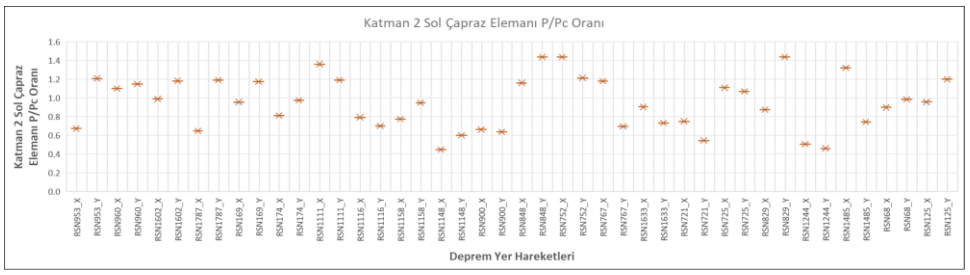
Elde edilen sonuçlara bakıldığında her bir deprem kaydı altında her iki katmandaki çapraz elemanı için elde edilen P/Pc (eksenel kuvvet talebinin kapasiteye oranı) oranları Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da sunulmuştur.



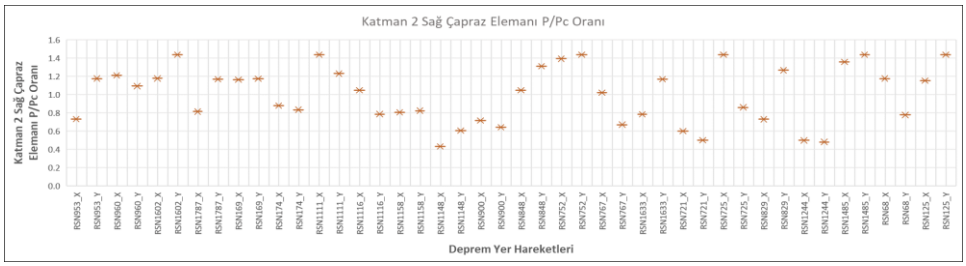
Şekil 5.3: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı P/Pc oranları.



Şekil 5.4: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı P/Pc oranları.

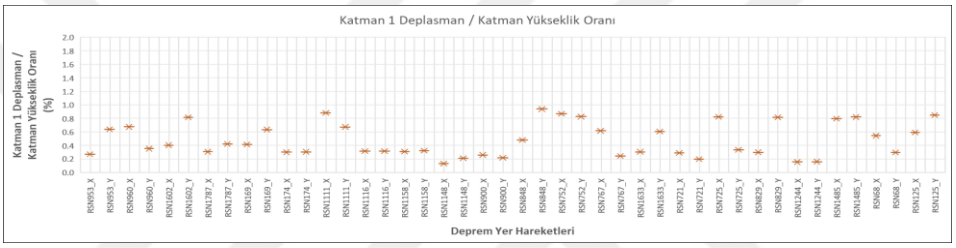


Şekil 5.5: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı P/Pc oranları.

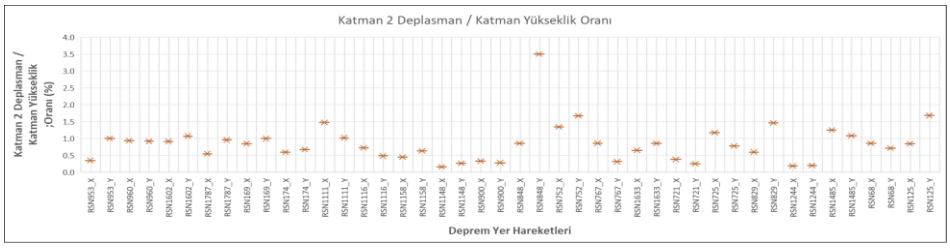


Şekil 5.6: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı P/Pc oranları.

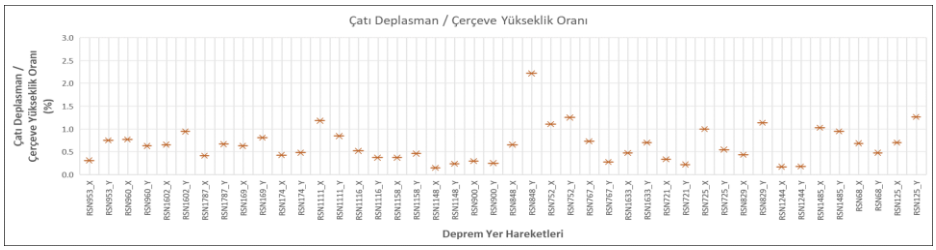
Her bir deprem kaydı altında her iki katmandaki katman kaymasının (katman yer değiştirmesinin katman yüksekliğine oranı) ve çerçevenin kaymasının oranları Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da sunulmuştur.



Şekil 5.7: Deprem yer hareketleri – katman 1 deplasman / katman yükseklik oranları.



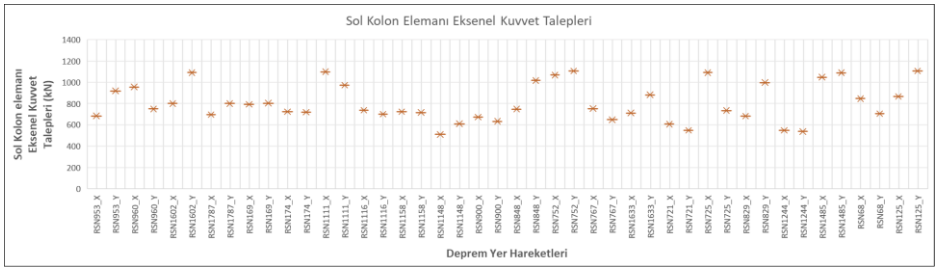
Şekil 5.8: Deprem yer hareketleri – katman 2 deplasman / katman yükseklik oranları.



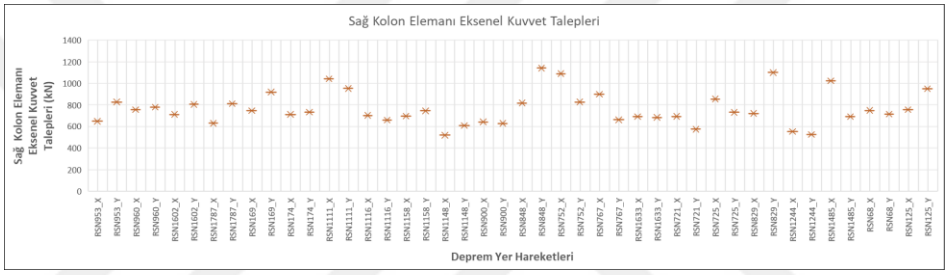
Şekil 5.9: Deprem yer hareketleri – çatı deplasman / çerçeve yükseklik oranları.

Her bir deprem kaydı altında her iki kolon elemanı için elde edilen eksenel kuvvet talepleri Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de sunulmuştur. Ayrıca her iki kolon için

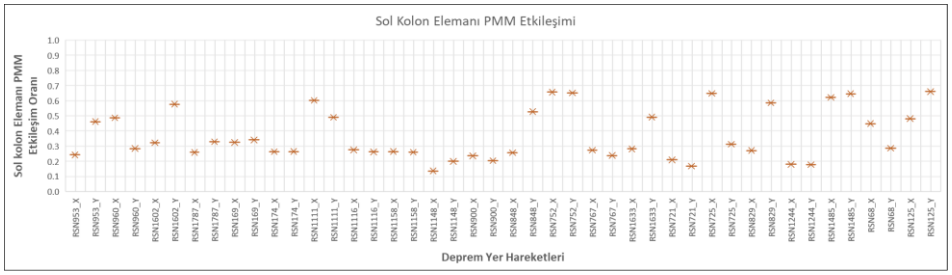
elde edilen PMM etkileşim değerleri Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te sunulmuştur. Bunlarla birlikte yine her iki kolon için elde edilen düzlem içi moment talepleri Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te sunulmuştur.



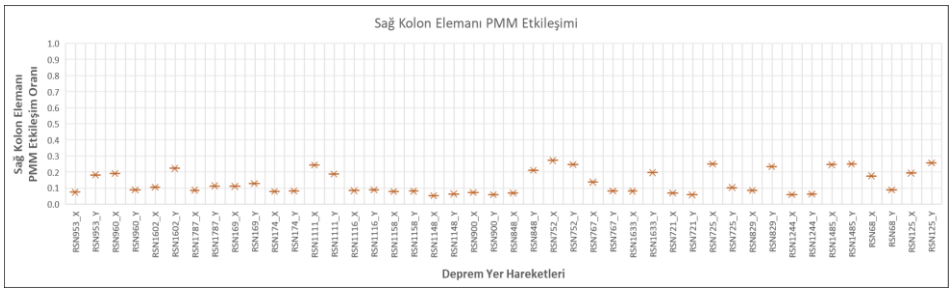
Şekil 5.10: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı eksenel kuvvet talepleri.



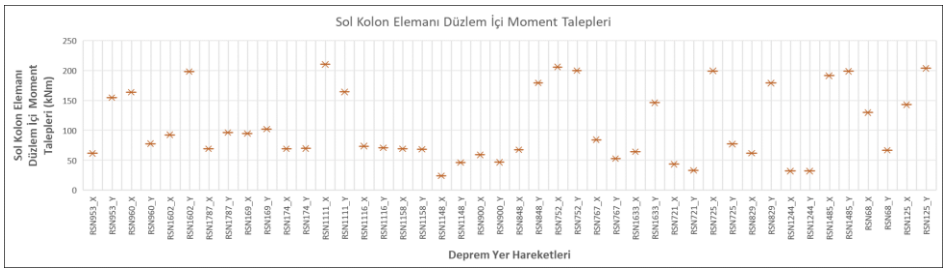
Şekil 5.11: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı eksenel kuvvet talepleri.



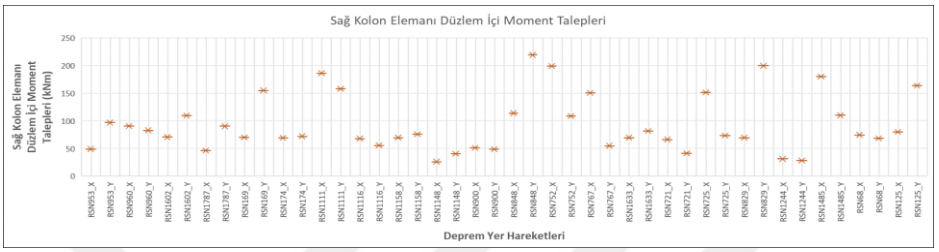
Şekil 5.12: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı PMM etkileşimi.



Şekil 5.13: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı PMM etkileşimi.

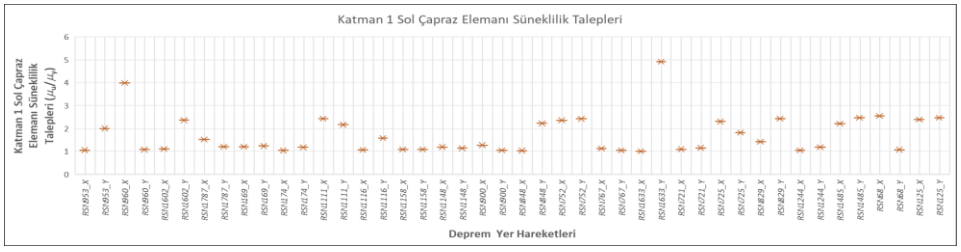


Şekil 5.14: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı düzlem içi moment talepleri.

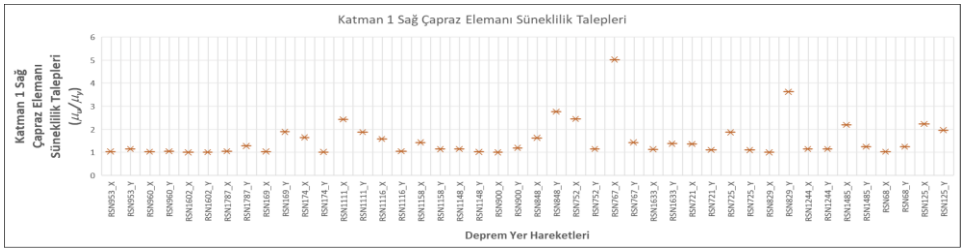


Şekil 5.15: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı düzlem içi moment talepleri.

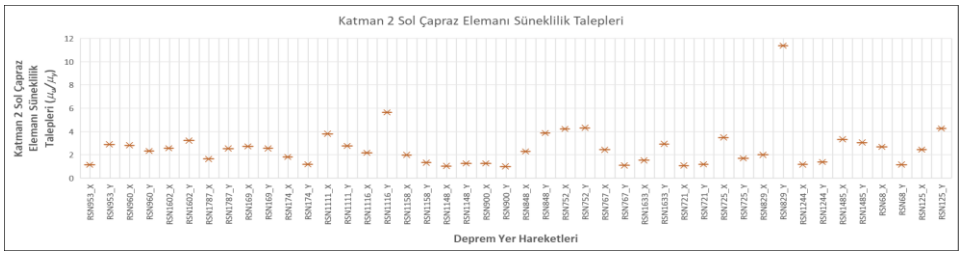
Son olarak her bir deprem kaydı altında her iki katmandaki çapraz elemanları için elde edilen süneklilik talepleri Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da sunulmuştur.



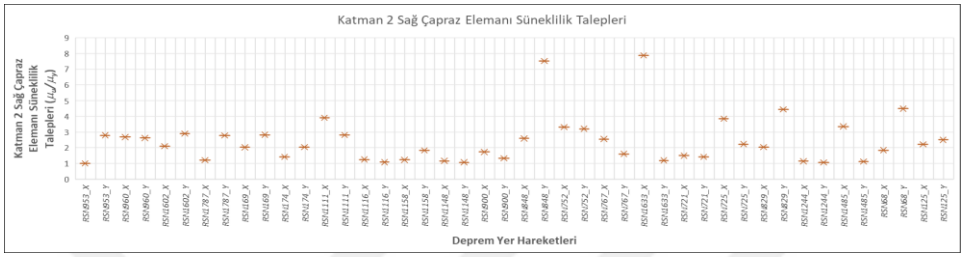
Şekil 5.16: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı süneklilik talepleri.



Şekil 5.17: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı süneklilik talepleri.



Şekil 5.18: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı süneklilik talepleri.

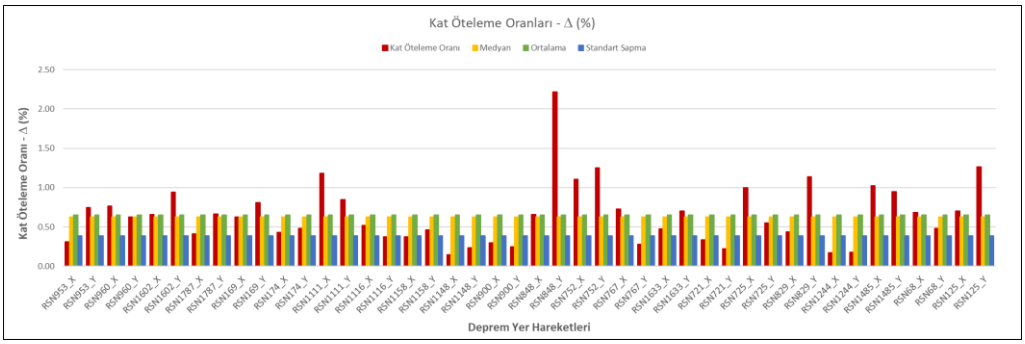


Şekil 5.19: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı süneklilik talepleri.

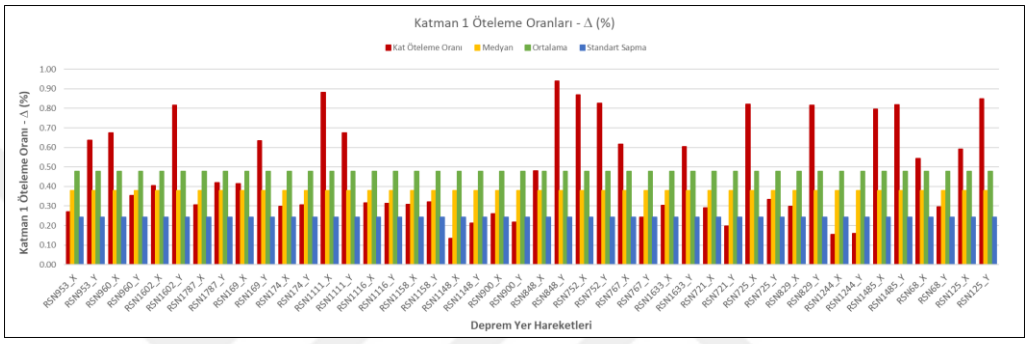
Ters V çapraz düzeni için elde edilen değerlerin kat ve katman öteleme, kolon elemanı eksenel kuvvet değerleri ve çapraz elemanlarının sünekliliği için medyan, ortalama, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te sunulmuştur.

Tablo 5.1: Ters v çapraz düzeni için kat ve katman öteleme değerleri.

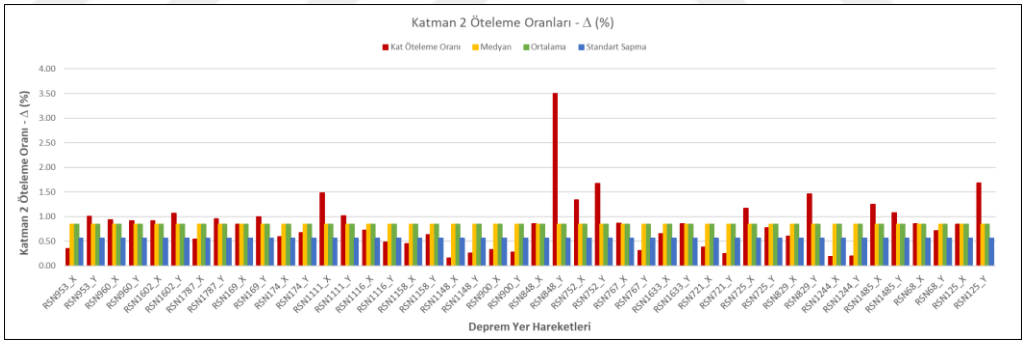
	Yer Hareketi	Kat Öteleme Oranı (%), Δ	Katman 1 Öteleme Oranı, Δ1	Katman 2 Öteleme Oranı, Δ2	Δ1/Δ	Δ2/Δ
Medyan		0.63	0.38	0.85	0.79	1.24
Ortalama		0.65	0.48	0.84	0.77	1.26
Maksimum		2.22	0.94	3.50	0.91	1.58
Minimum		0.15	0.13	0.16	0.42	1.09
Standart Sapma		0.39	0.24	0.56	0.11	0.12
	RSN953_X	0.31	0.27	0.35	0.87	1.13
	RSN953_Y	0.75	0.64	1.00	0.85	1.34
	RSN960_X	0.77	0.68	0.93	0.88	1.21
	RSN960_Y	0.63	0.35	0.92	0.56	1.46
	RSN1602_X	0.66	0.40	0.91	0.62	1.39
	RSN1602_Y	0.94	0.82	1.07	0.87	1.14
	RSN1787_X	0.41	0.31	0.54	0.74	1.31
	RSN1787_Y	0.67	0.42	0.96	0.63	1.43
	RSN169_X	0.63	0.41	0.85	0.66	1.35
	RSN169_Y	0.81	0.63	1.00	0.78	1.23
	RSN174_X	0.43	0.30	0.59	0.70	1.39
	RSN174_Y	0.48	0.31	0.67	0.64	1.40
	RSN1111_X	1.18	0.88	1.48	0.75	1.25
	RSN1111_Y	0.85	0.67	1.02	0.80	1.20
	RSN1116_X	0.52	0.32	0.72	0.61	1.39
	RSN1116_Y	0.37	0.31	0.48	0.84	1.29
	RSN1158_X	0.37	0.31	0.45	0.83	1.20
	RSN1158_Y	0.46	0.32	0.63	0.70	1.37
	RSN1148_X	0.15	0.13	0.16	0.91	1.09
	RSN1148_Y	0.24	0.21	0.26	0.89	1.11
	RSN900_X	0.30	0.26	0.33	0.88	1.12
	RSN900_Y	0.25	0.22	0.28	0.87	1.13
	RSN848_X	0.66	0.48	0.85	0.73	1.30
	RSN848_Y	2.22	0.94	3.50	0.42	1.58
	RSN752_X	1.11	0.87	1.34	0.79	1.21
	RSN752_Y	1.25	0.83	1.67	0.66	1.34
	RSN767_X	0.73	0.62	0.86	0.85	1.18
	RSN767_Y	0.28	0.24	0.31	0.88	1.12
	RSN1633_X	0.47	0.30	0.65	0.65	1.38
	RSN1633_Y	0.70	0.60	0.86	0.86	1.22
	RSN721_X	0.33	0.29	0.38	0.87	1.13
	RSN721_Y	0.22	0.20	0.25	0.88	1.12
	RSN725_X	1.00	0.82	1.17	0.82	1.18
	RSN725_Y	0.55	0.33	0.78	0.61	1.42
	RSN829_X	0.44	0.30	0.60	0.69	1.37
	RSN829_Y	1.14	0.81	1.46	0.72	1.28
	RSN1244_X	0.17	0.16	0.19	0.91	1.09
	RSN1244_Y	0.18	0.16	0.20	0.89	1.11
	RSN1485_X	1.02	0.80	1.25	0.78	1.22
	RSN1485_Y	0.95	0.82	1.08	0.86	1.14
	RSN68_X	0.69	0.54	0.86	0.79	1.25
	RSN68_Y	0.48	0.30	0.71	0.62	1.49
	RSN125_X	0.70	0.59	0.85	0.84	1.20
	RSN125_Y	1.26	0.85	1.68	0.67	1.33



Şekil 5.20: Deprem yer hareketleri – kat öteleme oranları.



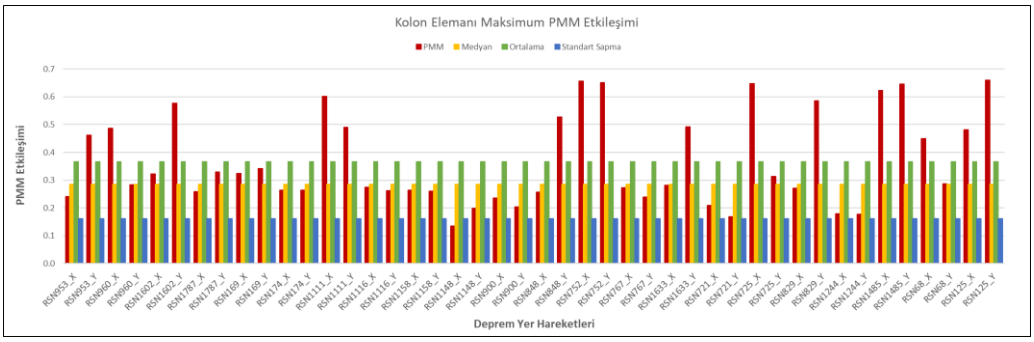
Şekil 5.21: Deprem yer hareketleri – katman 1 öteleme oranları.



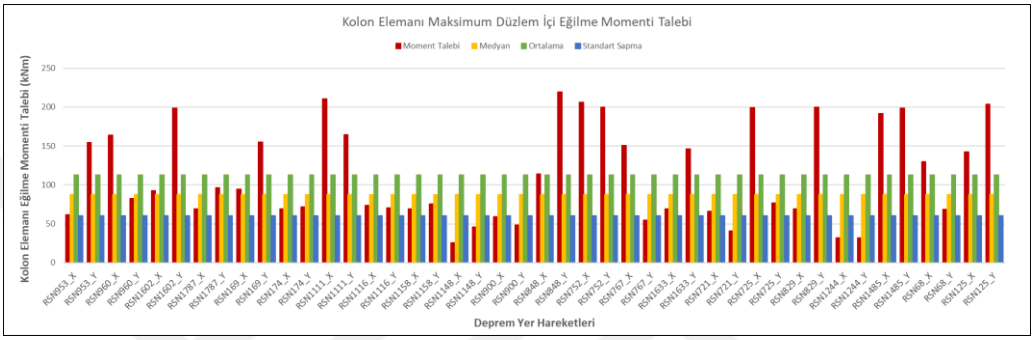
Şekil 5.22: Deprem yer hareketleri – katman 2 öteleme oranları.

Tablo 5.2: Ters v çapraz düzeni içi kolon elemanı PMM etkileşimi ve moment talebi değerleri.

	Yer Hareketi	Mak. PMM Etkileşimi	Mak. Düzlem İçi Eğilme Moment Talebi (kNm)
Medyan		0.29	87.55
Ortalama		0.37	112.82
Maksimum		0.66	219.28
Minimum		0.14	25.93
Standart Sapma		0.16	60.35
	RSN953_X	0.2420	61.48192
	RSN953_Y	0.4623	154.4825
	RSN960_X	0.4867	163.8355
	RSN960_Y	0.2844	82.63548
	RSN1602_X	0.3224	92.4723
	RSN1602_Y	0.5774	198.4228
	RSN1787_X	0.2585	69.08749
	RSN1787_Y	0.3293	96.33463
	RSN169_X	0.3245	94.43102
	RSN169_Y	0.3414	155.0646
	RSN174_X	0.2637	69.09954
	RSN174_Y	0.2642	71.97537
	RSN1111_X	0.6016	210.323
	RSN1111_Y	0.4909	164.2762
	RSN1116_X	0.2750	73.59854
	RSN1116_Y	0.2625	70.65266
	RSN1158_X	0.2643	69.42419
	RSN1158_Y	0.2608	75.56314
	RSN1148_X	0.1359	25.93265
	RSN1148_Y	0.1993	46.11741
	RSN900_X	0.2355	59.04422
	RSN900_Y	0.2042	48.68001
	RSN848_X	0.2567	113.9147
	RSN848_Y	0.5277	219.2774
	RSN752_X	0.6570	205.9082
	RSN752_Y	0.6519	199.8405
	RSN767_X	0.2727	150.5159
	RSN767_Y	0.2385	54.61195
	RSN1633_X	0.2821	69.52491
	RSN1633_Y	0.4916	146.107
	RSN721_X	0.2097	66.23553
	RSN721_Y	0.1681	41.07732
	RSN725_X	0.6476	199.2911
	RSN725_Y	0.3133	76.98368
	RSN829_X	0.2714	69.51543
	RSN829_Y	0.5854	199.6805
	RSN1244_X	0.1798	31.79433
	RSN1244_Y	0.1778	31.83591
	RSN1485_X	0.6222	191.4034
	RSN1485_Y	0.6464	198.842
	RSN68_X	0.4491	129.6189
	RSN68_Y	0.2865	68.46339
	RSN125_X	0.4815	142.7802
	RSN125_Y	0.6602	203.796



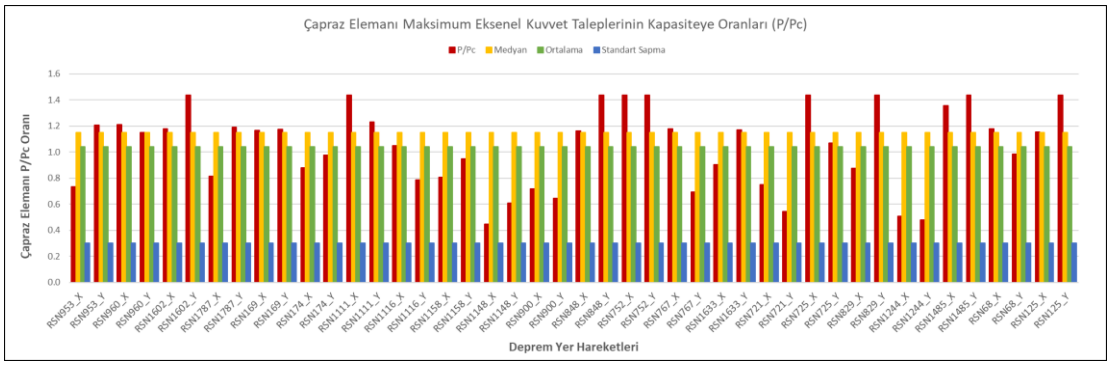
Şekil 5.23: Deprem yer hareketleri – kolon elemanı maksimum PMM etkileşimleri.



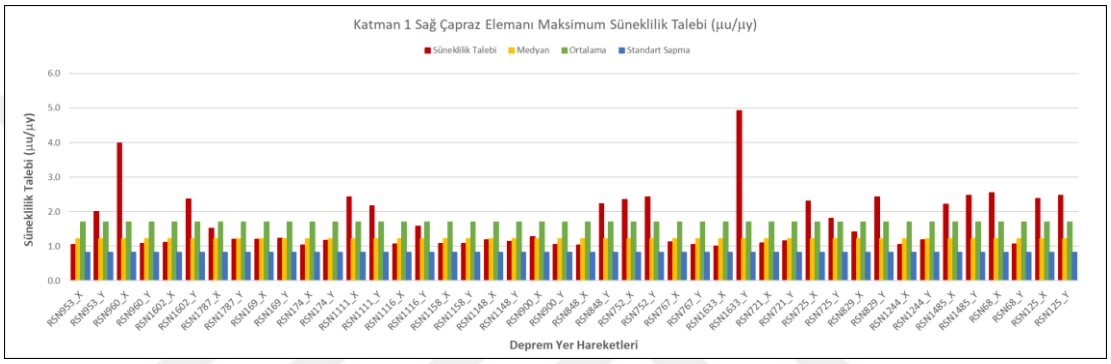
Şekil 5.24: Deprem yer hareketleri – kolon elemanı maksimum düzlem içi eğilme momenti talepleri.

Tablo 5.3: Ters v çapraz düzeni için çapraz elemanı P/Pc oranları ve süneklilik değerleri.

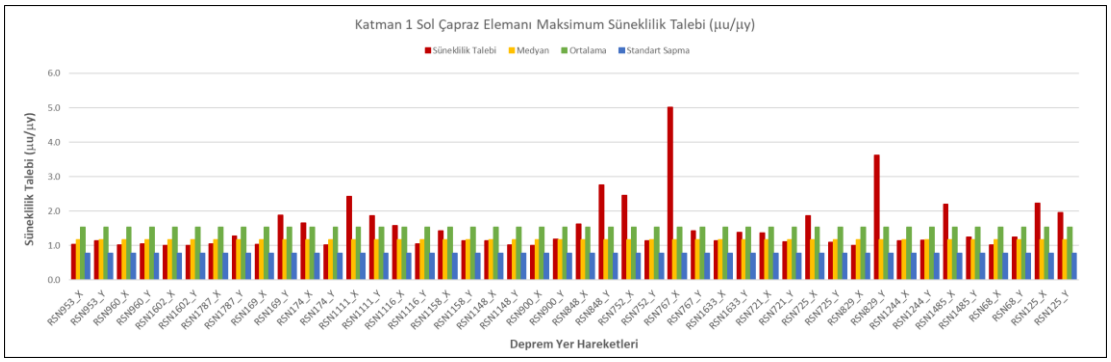
	Yer Hareketi	$(P/Pc)^{max}$	Katman 1 Sağ Çapraz Elemanı Mak. Süneklilik Talebi (μ_t/μ_y)	Katman 1 Sol Çapraz Elemanı Mak. Süneklilik Talebi (μ_t/μ_y)	Katman 2 Sağ Çapraz Elemanı Mak. Süneklilik Talebi (μ_t/μ_y)	Katman 2 Sol Çapraz Elemanı Mak. Süneklilik Talebi (μ_t/μ_y)
Medyan		1.2	1.2	1.2	2.4	2.1
Ortalama		1.0	1.7	1.5	2.6	2.4
Maksimum		1.4	4.9	5.0	11.4	7.9
Minimum		0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
Standart Sapma		0.30	0.83	0.77	1.72	1.48
	RSN953_X	0.7	1.1	1.0	1.1	1.0
	RSN953_Y	1.2	2.0	1.1	2.9	2.8
	RSN960_X	1.2	4.0	1.0	2.8	2.7
	RSN960_Y	1.1	1.1	1.0	2.3	2.6
	RSN1602_X	1.2	1.1	1.0	2.6	2.1
	RSN1602_Y	1.4	2.4	1.0	3.2	2.9
	RSN1787_X	0.8	1.5	1.0	1.6	1.2
	RSN1787_Y	1.2	1.2	1.3	2.5	2.8
	RSN169_X	1.2	1.2	1.0	2.7	2.0
	RSN169_Y	1.2	1.2	1.9	2.6	2.8
	RSN174_X	0.9	1.0	1.6	1.8	1.4
	RSN174_Y	1.0	1.2	1.0	1.2	2.0
	RSN1111_X	1.4	2.4	2.4	3.8	3.9
	RSN1111_Y	1.2	2.2	1.9	2.8	2.8
	RSN1116_X	1.0	1.1	1.6	2.2	1.3
	RSN1116_Y	0.8	1.6	1.0	5.6	1.1
	RSN1158_X	0.8	1.1	1.4	2.0	1.2
	RSN1158_Y	0.9	1.1	1.1	1.3	1.8
	RSN1148_X	0.4	1.2	1.1	1.0	1.2
	RSN1148_Y	0.6	1.1	1.0	1.3	1.1
	RSN900_X	0.7	1.3	1.0	1.3	1.7
	RSN900_Y	0.6	1.0	1.2	1.0	1.3
	RSN848_X	1.2	1.0	1.6	2.3	2.6
	RSN848_Y	1.4	2.2	2.8	3.9	7.5
	RSN752_X	1.4	2.4	2.5	4.2	3.3
	RSN752_Y	1.4	2.4	1.1	4.3	3.2
	RSN767_X	1.2	1.1	5.0	2.4	2.6
	RSN767_Y	0.7	1.0	1.4	1.1	1.6
	RSN1633_X	0.9	1.0	1.1	1.5	7.9
	RSN1633_Y	1.2	4.9	1.4	2.9	1.2
	RSN721_X	0.8	1.1	1.4	1.1	1.5
	RSN721_Y	0.5	1.2	1.1	1.2	1.4
	RSN725_X	1.4	2.3	1.9	3.5	3.9
	RSN725_Y	1.1	1.8	1.1	1.7	2.2
	RSN829_X	0.9	1.4	1.0	2.0	2.0
	RSN829_Y	1.4	2.4	3.6	11.4	4.4
	RSN1244_X	0.5	1.0	1.1	1.2	1.1
	RSN1244_Y	0.5	1.2	1.1	1.4	1.1
	RSN1485_X	1.4	2.2	2.2	3.3	3.4
	RSN1485_Y	1.4	2.5	1.2	3.1	1.1
	RSN68_X	1.2	2.6	1.0	2.7	1.9
	RSN68_Y	1.0	1.1	1.2	1.2	4.5
	RSN125_X	1.2	2.4	2.2	2.5	2.2
	RSN125_Y	1.4	2.5	2.0	4.3	2.5



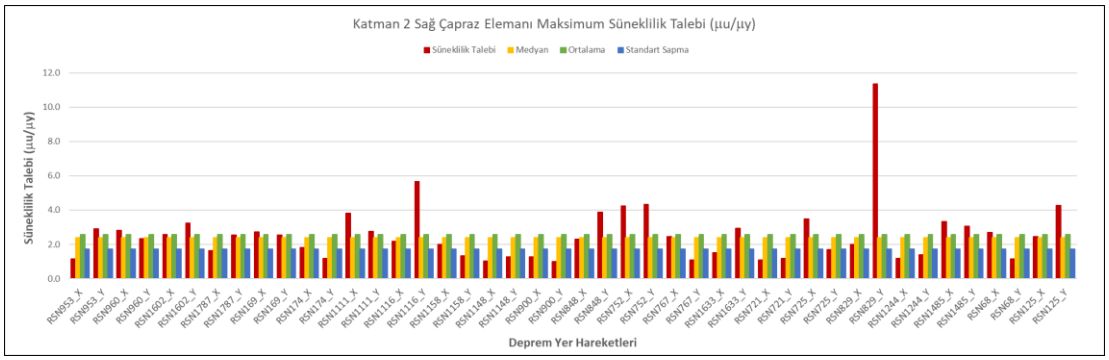
Şekil 5.25: Deprem yer hareketleri – çapraz elemanı eksenel kuvvet talebinin kapasiteye oranları (P/Pc).



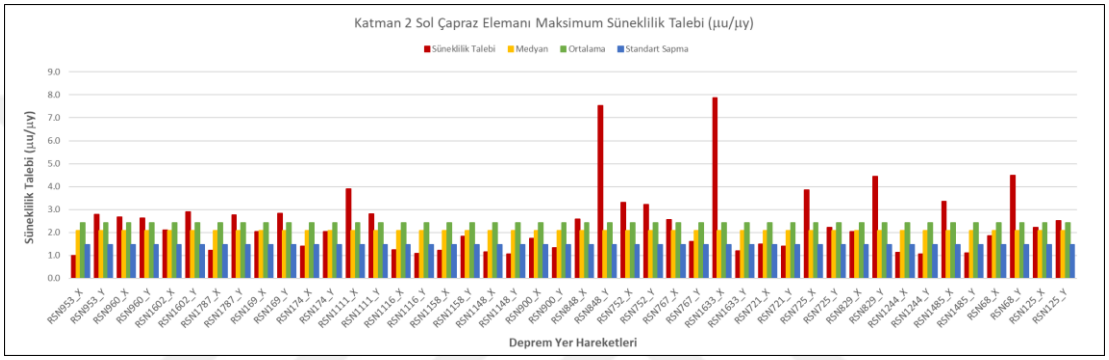
Şekil 5.26: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y).



Şekil 5.27: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y).



Şekil 5.28: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y).

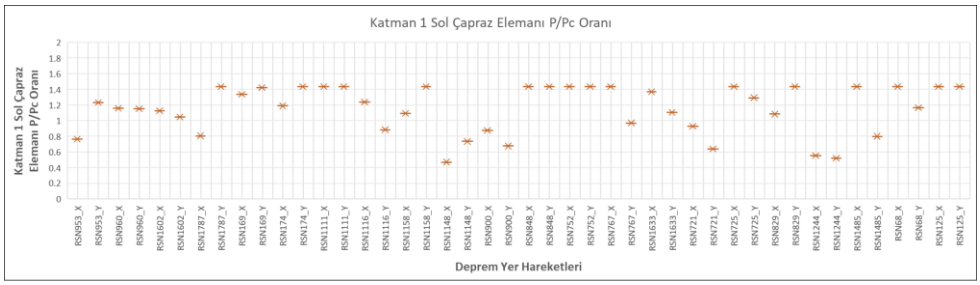


Şekil 5.29: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y).

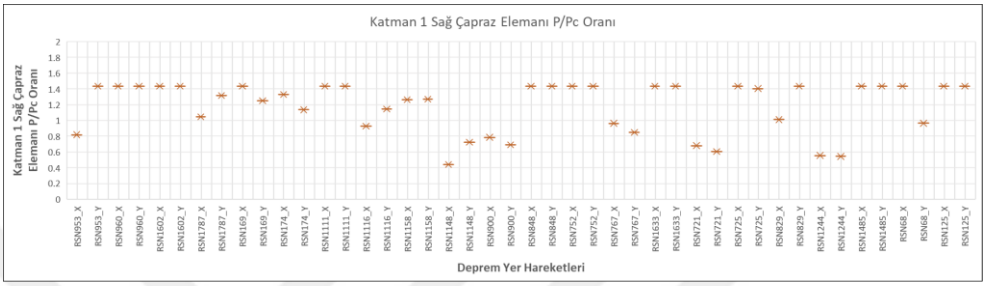
5.4. İki Katta X Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Çok Katmanlı Çaprazlı Çerçeve Sistemi Özet Analiz Sonuçları

Bu bölümde iki katmanda X çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli için 22 çift deprem kaydı altında yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları sunulmaktadır.

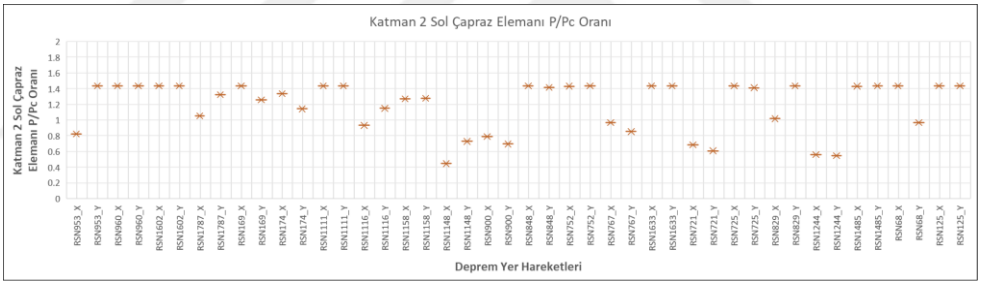
Elde edilen sonuçlara bakıldığında her bir deprem kaydı altında her iki katmandaki çapraz elemanı için elde edilen P/Pc (eksenel kuvvet talebinin kapasiteye oranı) oranları Şekil 5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te sunulmuştur.



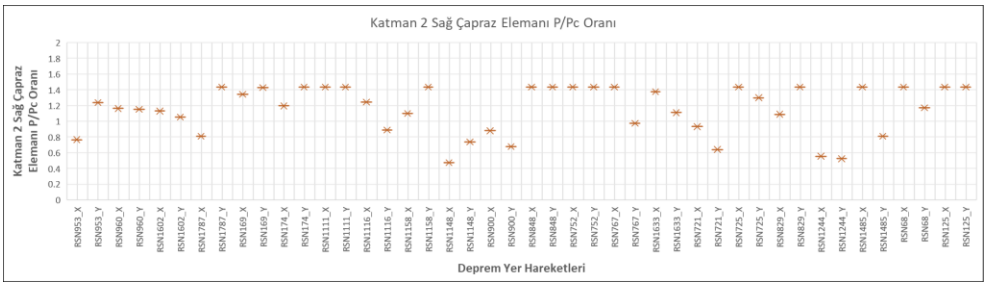
Şekil 5.30: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı P/Pc oranları.



Şekil 5.31: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı P/Pc oranları.

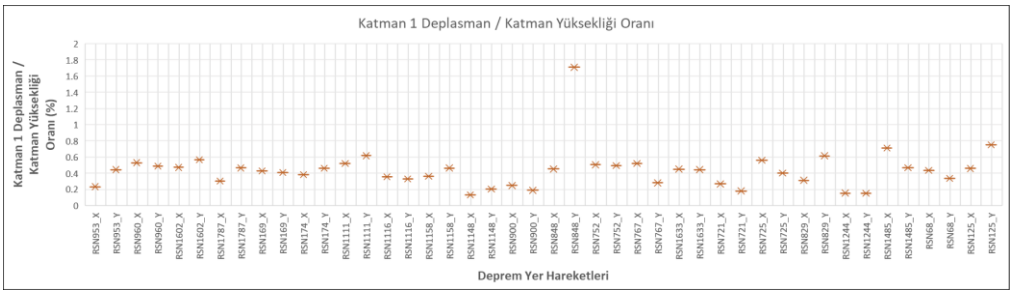


Şekil 5.32: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı P/Pc oranları.

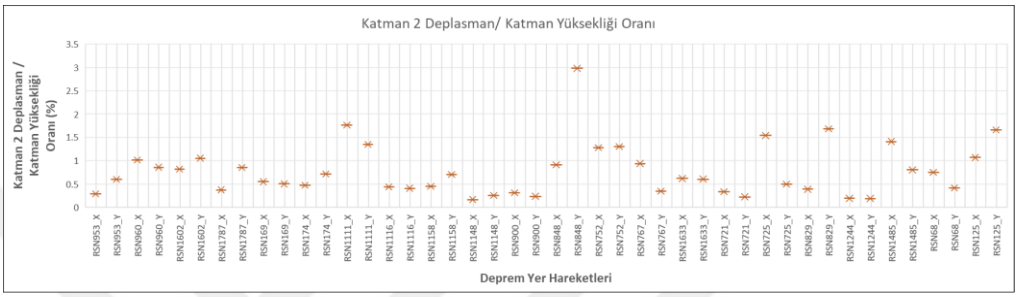


Şekil 5.33: Deprem Yer Hareketleri – Katman 2 Sağ Çapraz Elemanı P/Pc Oranları.

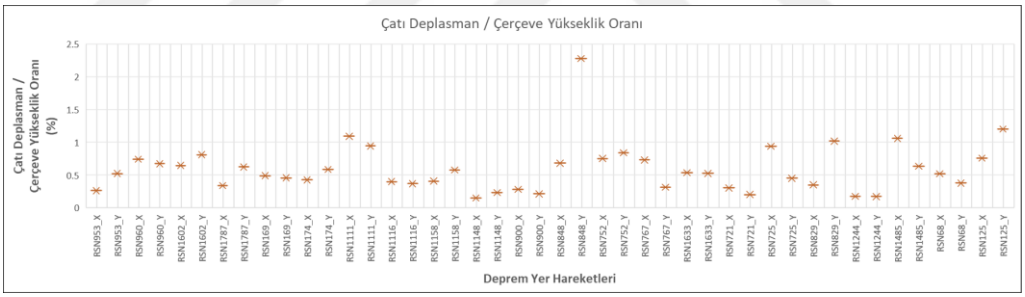
Her bir deprem kaydı altında her iki katmandaki katman kaymasının (katman yer değiştirmesinin katman yüksekliğine oranı) ve çerçevenin kaymasının oranları Şekil 5.34, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da sunulmuştur.



Şekil 5.34: Deprem yer hareketleri – katman 1 deplasman / katman yüksekliği oranları.

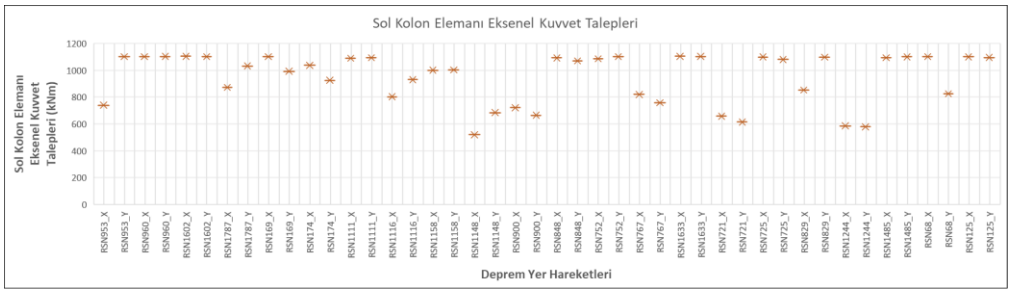


Şekil 5.35: Deprem Yer Hareketleri – Katman 2 Deplasman / Katman Yüksekliği Oranları.

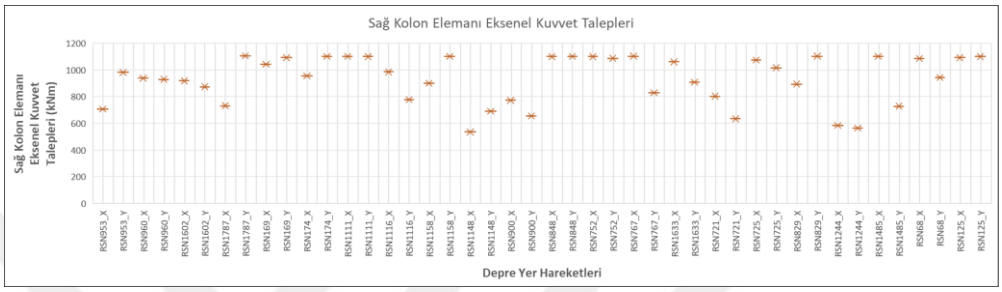


Şekil 5.36: Deprem yer hareketleri – çatı deplasman / çerçeve yüksekliği oranları.

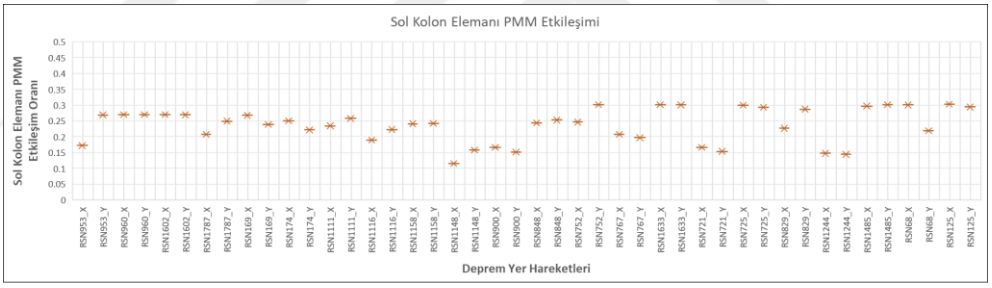
Her bir deprem kaydı altında her iki kolon elemanı için elde edilen eksenel kuvvet talepleri Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de sunulmuştur. Ayrıca her iki kolon için elde edilen PMM etkileşim değerleri Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da sunulmuştur. Bunlarla birlikte yine her iki kolon için elde edilen düzlem içi moment talepleri Şekil 5.41 ve Şekil 5.42'de sunulmuştur.



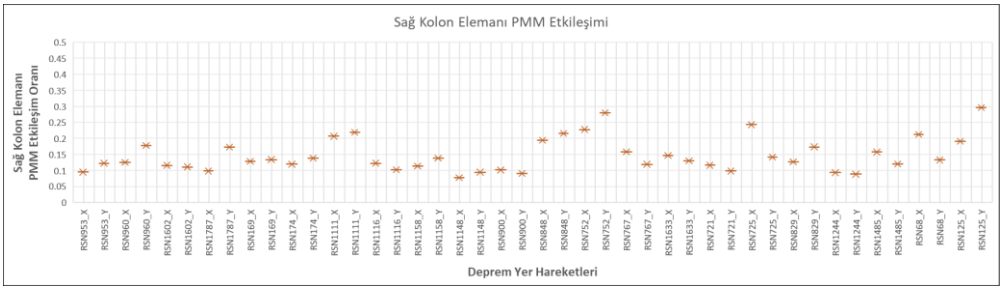
Şekil 5.37: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı eksenel kuvvet talepleri.



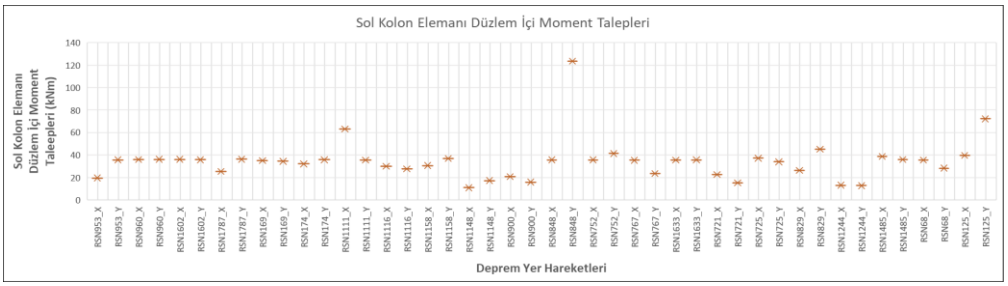
Şekil 5.38: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı eksenel kuvvet talepleri.



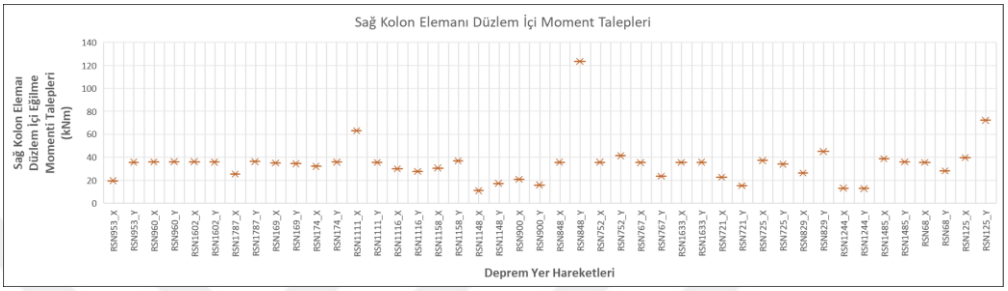
Şekil 5.39: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı PMM etkileşimi.



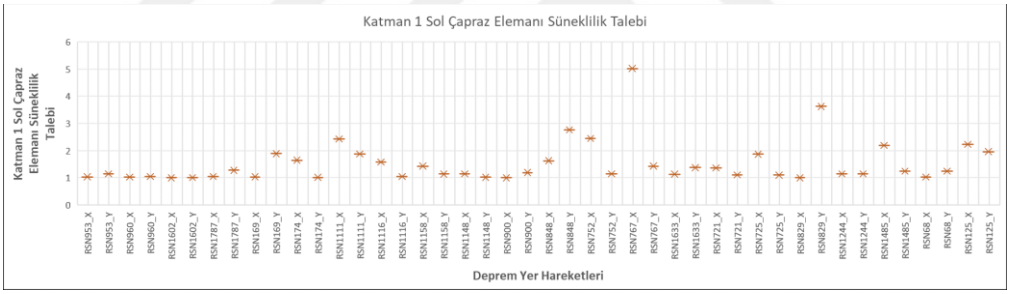
Şekil 5.40: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı PMM etkileşimi.



Şekil 5.41: Deprem yer hareketleri – sol kolon elemanı düzlem içi moment talepleri.

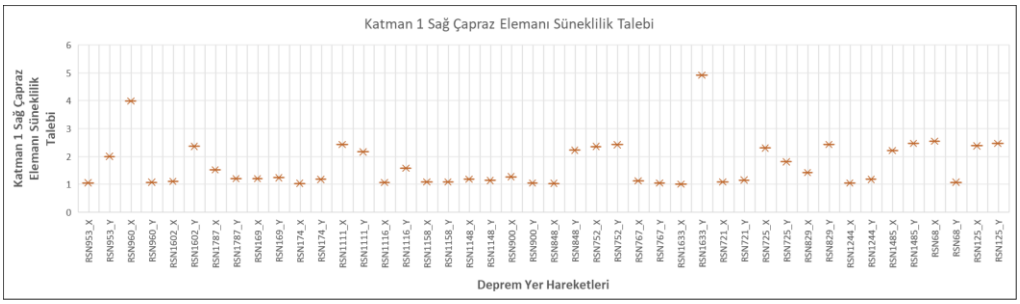


Şekil 5.42: Deprem yer hareketleri – sağ kolon elemanı düzlem içi moment talepleri.

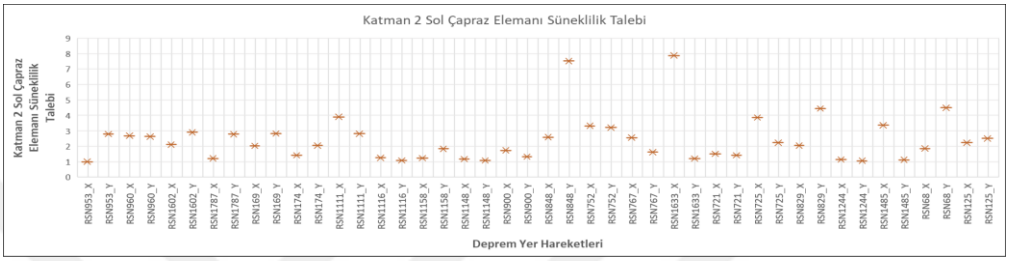


Şekil 5.43: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı süneklilik talepleri.

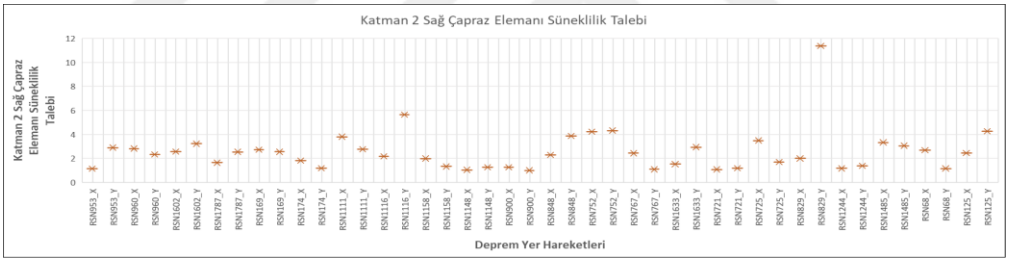
Son olarak her bir deprem kaydı altında her iki katmandaki çapraz elemanları için elde edilen süneklilik talepleri Şekil 5.43, Şekil 5.44, Şekil 5.45 ve Şekil 5.46'da sunulmuştur.



Şekil 5.44: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı süneklilik talepleri.



Şekil 5.45: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı süneklilik talepleri.

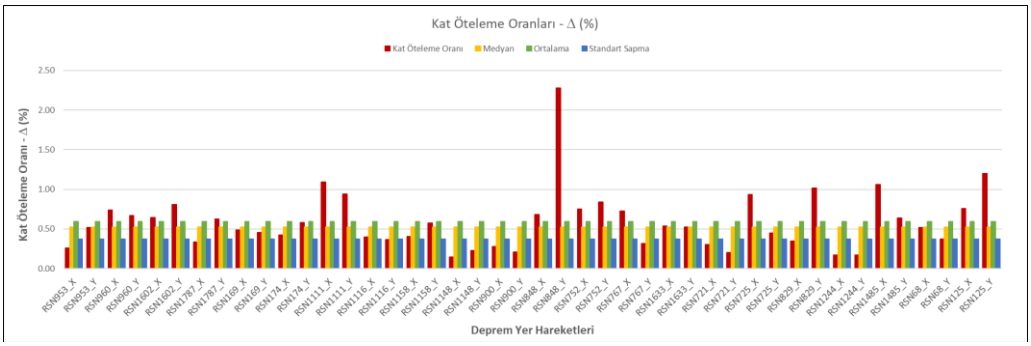


Şekil 5.46: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı süneklilik talepleri.

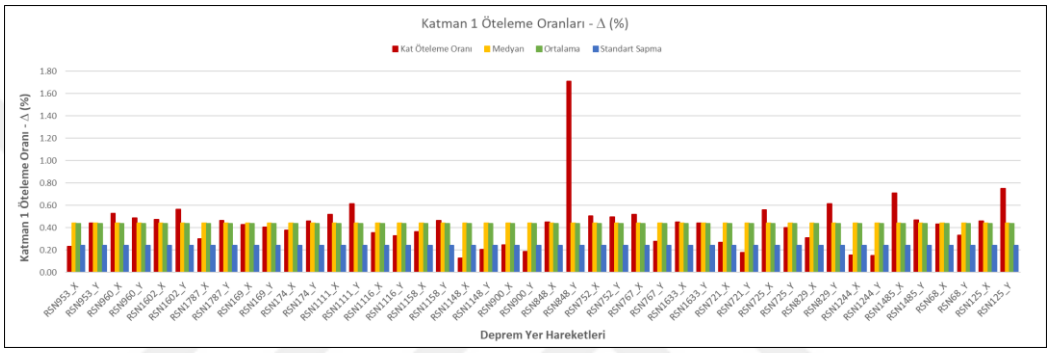
İki katta X çapraz düzeni için elde edilen değerlerin kat ve katman öteleme, kolon elemanı eksenel kuvvet değerleri ve çapraz elemanlarının sünekliliği için medyan, ortalama, maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da sunulmuştur.

Tablo 5.4: İki katta x çapraz düzeni için kat ve katman öteleme değerleri.

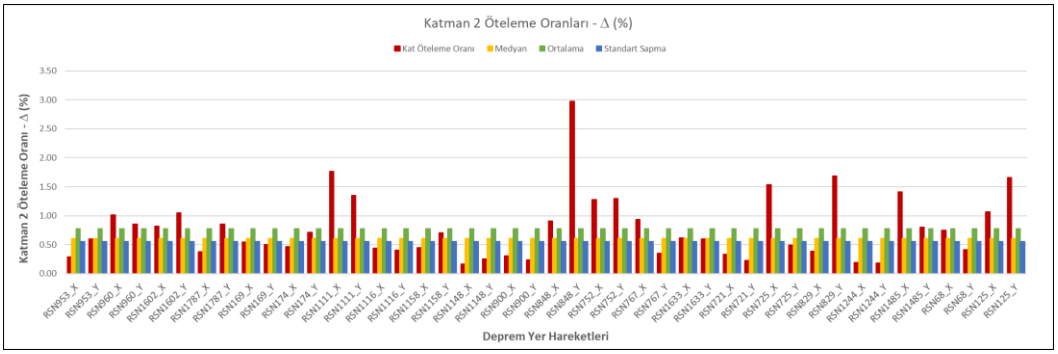
	Yer Hareketi	Kat Öteleme Oranı (%), Δ	Katman 1 Öteleme Oranı, Δ1	Katman 2 Öteleme Oranı, Δ2	Δ1/Δ	Δ2/Δ
Medyan		0.52	0.44	0.61	0.84	1.16
Ortalama		0.59	0.44	0.78	0.79	1.25
Maksimum		2.28	1.71	2.98	0.89	1.70
Minimum		0.15	0.13	0.17	0.48	1.11
Standart Sapma		0.37	0.24	0.55	0.12	0.17
	RSN953_X	0.26	0.23	0.29	0.89	1.11
	RSN953_Y	0.52	0.44	0.60	0.85	1.15
	RSN960_X	0.74	0.53	1.02	0.72	1.37
	RSN960_Y	0.67	0.49	0.86	0.73	1.27
	RSN1602_X	0.65	0.47	0.82	0.73	1.27
	RSN1602_Y	0.81	0.57	1.05	0.70	1.30
	RSN1787_X	0.34	0.30	0.37	0.89	1.11
	RSN1787_Y	0.62	0.47	0.85	0.75	1.37
	RSN169_X	0.49	0.43	0.55	0.87	1.13
	RSN169_Y	0.46	0.41	0.50	0.89	1.11
	RSN174_X	0.43	0.38	0.47	0.89	1.11
	RSN174_Y	0.58	0.46	0.71	0.79	1.22
	RSN1111_X	1.09	0.52	1.76	0.48	1.62
	RSN1111_Y	0.94	0.62	1.35	0.65	1.43
	RSN1116_X	0.40	0.36	0.44	0.89	1.11
	RSN1116_Y	0.37	0.33	0.41	0.89	1.11
	RSN1158_X	0.41	0.36	0.45	0.89	1.11
	RSN1158_Y	0.58	0.46	0.70	0.80	1.22
	RSN1148_X	0.15	0.13	0.17	0.88	1.12
	RSN1148_Y	0.23	0.20	0.25	0.89	1.11
	RSN900_X	0.28	0.25	0.31	0.89	1.11
	RSN900_Y	0.21	0.19	0.24	0.89	1.11
	RSN848_X	0.68	0.45	0.91	0.66	1.34
	RSN848_Y	2.28	1.71	2.98	0.75	1.31
	RSN752_X	0.75	0.51	1.28	0.67	1.70
	RSN752_Y	0.84	0.49	1.30	0.59	1.55
	RSN767_X	0.73	0.52	0.94	0.71	1.29
	RSN767_Y	0.31	0.28	0.35	0.89	1.11
	RSN1633_X	0.53	0.45	0.62	0.84	1.16
	RSN1633_Y	0.52	0.44	0.60	0.85	1.15
	RSN721_X	0.30	0.27	0.33	0.89	1.11
	RSN721_Y	0.20	0.18	0.22	0.89	1.11
	RSN725_X	0.94	0.56	1.54	0.60	1.64
	RSN725_Y	0.45	0.40	0.50	0.89	1.11
	RSN829_X	0.35	0.31	0.39	0.89	1.11
	RSN829_Y	1.02	0.61	1.68	0.60	1.65
	RSN1244_X	0.17	0.15	0.19	0.89	1.11
	RSN1244_Y	0.17	0.15	0.19	0.89	1.11
	RSN1485_X	1.06	0.71	1.41	0.67	1.33
	RSN1485_Y	0.63	0.47	0.80	0.74	1.26
	RSN68_X	0.52	0.43	0.75	0.84	1.44
	RSN68_Y	0.38	0.34	0.42	0.89	1.11
	RSN125_X	0.76	0.46	1.07	0.61	1.41
	RSN125_Y	1.20	0.75	1.66	0.63	1.38



Şekil 5.47: Deprem yer hareketleri – çapraz elemanı eksenel kuvvet talebinin kapasiteye oranları (P/Pc).



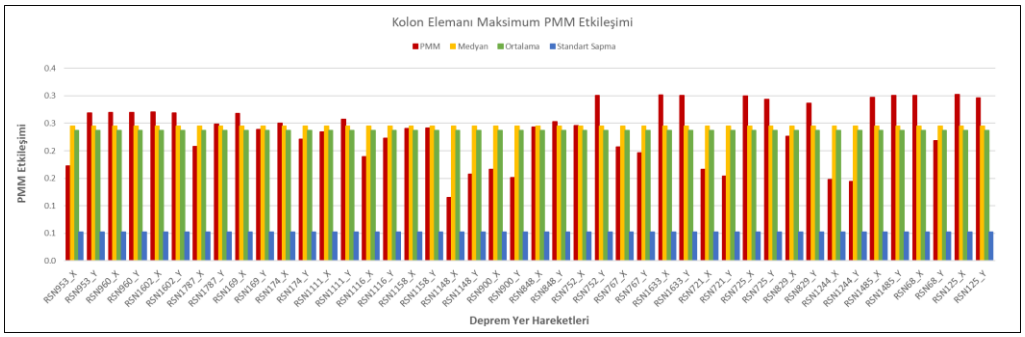
Şekil 5.48: Deprem yer hareketleri – katman 1 öteleme oranları.



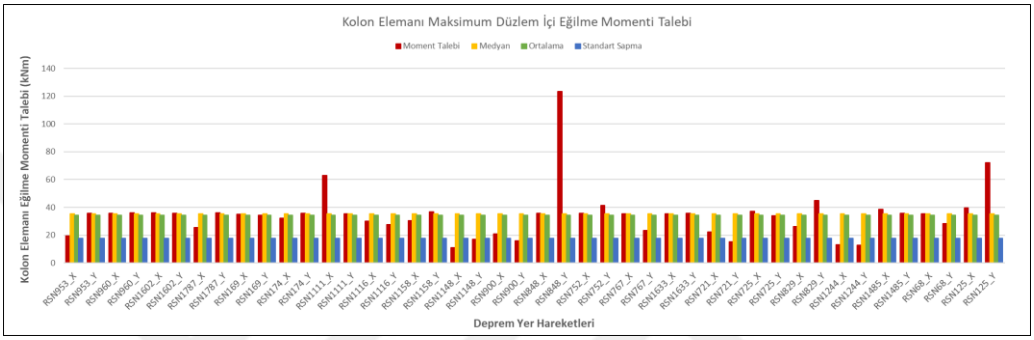
Şekil 5.49: Deprem yer hareketleri – katman 2 öteleme oranları.

Tablo 5.5: İki katta x çapraz düzeni için kolon elemanı PMM etkileşimi ve moment talebi değerleri.

	Yer Hareketi	Mak. PMM Etkileşimi	Mak. Düzlem İçi Eğilme Moment Talebi (kNm)
Medyan		0.24	35.43
Ortalama		0.24	34.30
Maksimum		0.30	123.57
Minimum		0.12	10.90
Standart Sapma		0.05	17.76
	RSN953_X	0.1724	19.56388
	RSN953_Y	0.2688	35.68622
	RSN960_X	0.2695	35.89431
	RSN960_Y	0.2701	36.16446
	RSN1602_X	0.2702	36.13544
	RSN1602_Y	0.2692	35.77062
	RSN1787_X	0.2077	25.38031
	RSN1787_Y	0.2489	36.29079
	RSN169_X	0.2676	35.12431
	RSN169_Y	0.2388	34.35184
	RSN174_X	0.2504	32.09864
	RSN174_Y	0.2214	35.79512
	RSN1111_X	0.2342	63.09186
	RSN1111_Y	0.2578	35.44859
	RSN1116_X	0.1890	29.96675
	RSN1116_Y	0.2226	27.7047
	RSN1158_X	0.2408	30.56989
	RSN1158_Y	0.2415	36.91686
	RSN1148_X	0.1153	10.90491
	RSN1148_Y	0.1577	17.19855
	RSN900_X	0.1664	20.80253
	RSN900_Y	0.1516	15.90037
	RSN848_X	0.2433	35.6497
	RSN848_Y	0.2528	123.5688
	RSN752_X	0.2461	35.67344
	RSN752_Y	0.3008	41.33239
	RSN767_X	0.2069	35.34418
	RSN767_Y	0.1967	23.55297
	RSN1633_X	0.3015	35.53773
	RSN1633_Y	0.3006	35.70718
	RSN721_X	0.1660	22.51445
	RSN721_Y	0.1538	15.13719
	RSN725_X	0.2998	37.14846
	RSN725_Y	0.2932	33.92308
	RSN829_X	0.2266	26.23092
	RSN829_Y	0.2868	45.07311
	RSN1244_X	0.1476	13.06193
	RSN1244_Y	0.1443	12.75916
	RSN1485_X	0.2968	38.76019
	RSN1485_Y	0.3010	35.86833
	RSN68_X	0.3005	35.41117
	RSN68_Y	0.2186	28.23639
	RSN125_X	0.3024	39.63971
	RSN125_Y	0.2962	72.1721



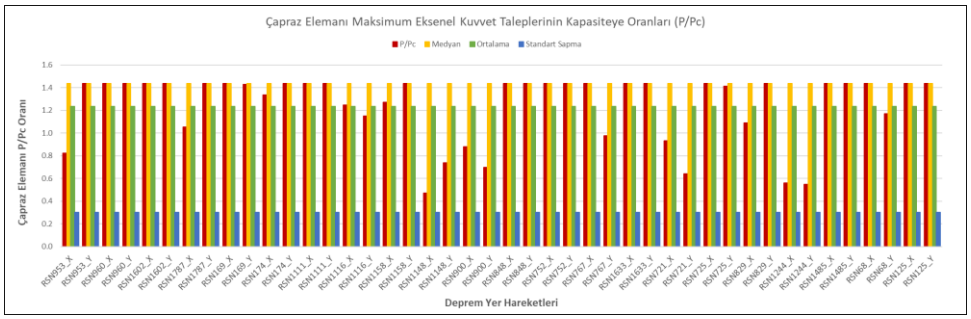
Şekil 5.50: Deprem yer hareketleri – kolon elemanı maksimum PMM etkileşimleri.



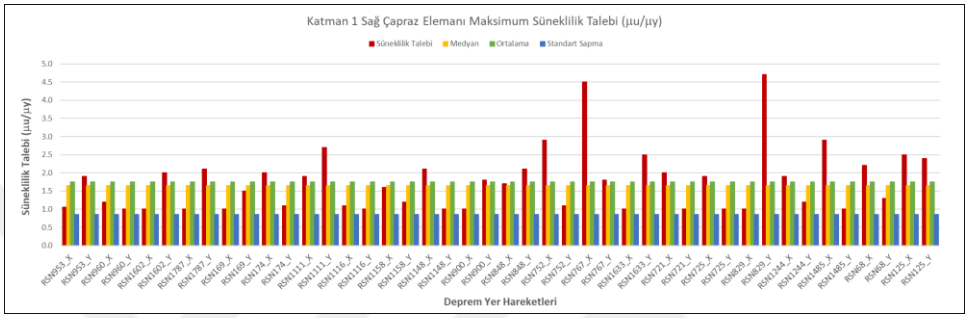
Şekil 5.51: Deprem yer hareketleri – kolon elemanı maksimum düzlem içi eğilme momenti talepleri.

Tablo 5.6: İki katta x çapraz düzeni için çapraz elemanı P/Pc oranları ve süneklilik değerleri.

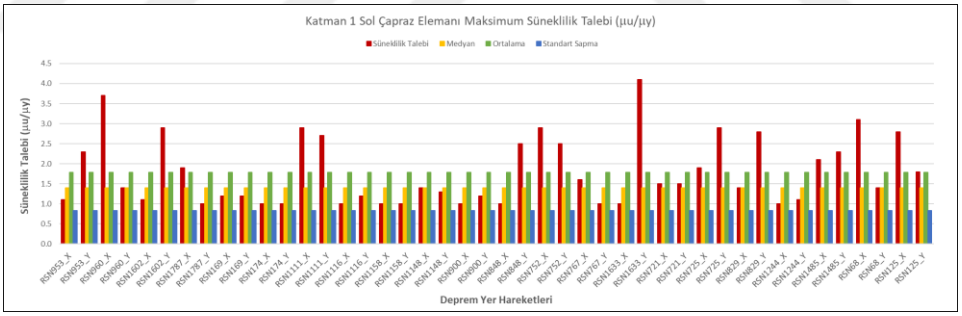
	Yer Hareketi	$(P/Pc)^{mak}$	Katman 1 Sağ Çapraz Elemanı Mak. Süneklilik Talebi (μ_x/μ_y)	Katman 1 Sol Çapraz Elemanı Mak. Süneklilik Talebi (μ_x/μ_y)	Katman 2 Sağ Çapraz Elemanı Mak. Süneklilik Talebi (μ_x/μ_y)	Katman 2 Sol Çapraz Elemanı Mak. Süneklilik Talebi (μ_x/μ_y)
Medyan		1.4	1.7	1.4	2.1	2.1
Ortalama		1.2	1.7	1.8	2.4	2.6
Maksimum		1.4	4.7	4.1	5.9	10.0
Minimum		0.5	1.0	1.0	1.0	0.4
Standart Sapma		0.30	0.85	0.84	1.13	1.64
	RSN953_X	0.8	1.1	1.1	1.5	1.0
	RSN953_Y	1.4	1.9	2.3	3.0	3.9
	RSN960_X	1.4	1.2	3.7	2.0	3.2
	RSN960_Y	1.4	1.0	1.4	3.1	3.0
	RSN1602_X	1.4	1.0	1.1	2.9	2.9
	RSN1602_Y	1.4	2.0	2.9	3.3	3.9
	RSN1787_X	1.1	1.0	1.9	1.8	1.5
	RSN1787_Y	1.4	2.1	1.0	2.9	3.0
	RSN169_X	1.4	1.0	1.2	2.2	3.5
	RSN169_Y	1.4	1.5	1.2	3.1	3.0
	RSN174_X	1.3	2.0	1.0	1.5	2.5
	RSN174_Y	1.4	1.1	1.0	2.0	1.3
	RSN1111_X	1.4	1.9	2.9	4.2	4.5
	RSN1111_Y	1.4	2.7	2.7	2.2	2.0
	RSN1116_X	1.2	1.1	1.0	1.5	2.5
	RSN1116_Y	1.2	1.0	1.2	1.0	4.2
	RSN1158_X	1.3	1.6	1.0	1.2	3.0
	RSN1158_Y	1.4	1.2	1.0	2.0	1.0
	RSN1148_X	0.5	2.1	1.4	1.0	1.0
	RSN1148_Y	0.7	1.0	1.3	1.2	1.1
	RSN900_X	0.9	1.0	1.0	1.4	1.2
	RSN900_Y	0.7	1.8	1.2	2.0	2.0
	RSN848_X	1.4	1.7	1.0	2.8	2.7
	RSN848_Y	1.4	2.1	2.5	5.3	2.0
	RSN752_X	1.4	2.9	2.9	3.1	0.4
	RSN752_Y	1.4	1.1	2.5	2.9	5.0
	RSN767_X	1.4	4.5	1.6	2.1	2.5
	RSN767_Y	1.0	1.8	1.0	1.8	1.0
	RSN1633_X	1.4	1.0	1.0	1.9	1.5
	RSN1633_Y	1.4	2.5	4.1	2.1	4.0
	RSN721_X	0.9	2.0	1.5	1.3	1.0
	RSN721_Y	0.6	1.0	1.5	1.1	1.5
	RSN725_X	1.4	1.9	1.9	4.2	2.0
	RSN725_Y	1.4	1.0	2.9	1.5	1.8
	RSN829_X	1.1	1.0	1.4	2.1	2.1
	RSN829_Y	1.4	4.7	2.8	3.1	10.0
	RSN1244_X	0.6	1.9	1.0	3.0	1.1
	RSN1244_Y	0.5	1.2	1.1	1.0	1.0
	RSN1485_X	1.4	2.9	2.1	4.0	2.1
	RSN1485_Y	1.4	1.0	2.3	1.0	3.2
	RSN68_X	1.4	2.2	3.1	2.5	3.0
	RSN68_Y	1.2	1.3	1.4	5.9	1.9
	RSN125_X	1.4	2.5	2.8	2.1	2.0
	RSN125_Y	1.4	2.4	1.8	3.9	5.5



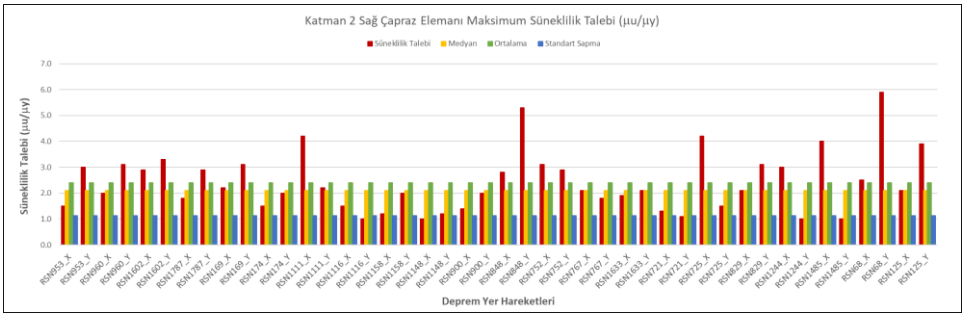
Şekil 5.52: Deprem yer hareketleri – çapraz elemanı eksenel kuvvet talebinin kapasiteye oranları (P/Pc).



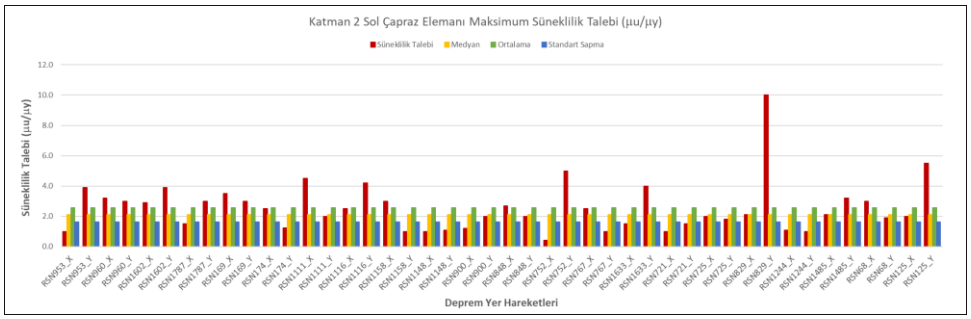
Şekil 5.53: Deprem yer hareketleri – katman 1 sağ çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y).



Şekil 5.54: Deprem yer hareketleri – katman 1 sol çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y).



Şekil 5.55: Deprem yer hareketleri – katman 2 sağ çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y).



Şekil 5.56: Deprem yer hareketleri – katman 2 sol çapraz elemanı maksimum süneklilik talepleri (μ_u/μ_y).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

İlgili tez kapsamında yapılan çalışmada, çelik çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için dikkate alınan çapraz sistemlerinin sismik etkiler altındaki davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında toplamda iki adet çapraz düzeni dikkate alınmıştır. Bunlar ters V çapraz düzeni ve iki katta X çapraz düzenidir. Ters V çapraz düzeni için statik itme analizi uygulanmış ve sonuçları elde edilmiştir. Bununla birlikte ilgili her bir çapraz düzeni için (ters V – iki katta X) dikkate alınan çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin kolon, kiriş ve çapraz elemanlarının 22 çift deprem kaydı altında doğrusal olmayan davranışları Perform 3D analiz programı kullanılarak incelenmiştir.

Dikkate alınan her iki çapraz düzeni için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Ters V çapraz düzenine sahip çok katmanlı çaprazlı çerçeve için statik ve dinamik analiz sonuçları karşılaştırıldığında, statik itme analizinde her iki katmandaki çapraz elemanlarının burkulma durumu ile birlikte akma durumu da gözlemlenirken, dinamik analiz sonuçlarına bakıldığında çapraz elemanları her ne kadar burkulsa da bazı deprem kayıtları altında akma durumuna geçemediği gözlemlenmiştir.
- Her iki çapraz düzeni için doğrusal olmayan analizler altında katman 1'deki katman kaymaları tüm deprem kayıtları için %1.0'in altında olurken, katman 2'deki katman kaymaları tek bir deprem kaydı hariç %1.0 - %2.0 değerleri arasında olduğu görülmüştür. Fakat katman yer değiştirmeleri çerçeve yüksekliği boyunca uniform bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.
- Doğrusal olmayan analizler altında katmanlar arasındaki yer değiştirme etkileri çapraz elemanlarda oluşan dengelenmemiş kuvvetlerin beraberinde katman noktasında kolon elemanında düzlem içi kesme kuvveti oluşmasına neden olmuştur. Bu kritik kuvvet ise beraberinde kolon elemanında düzlem içi eğilme momenti talebi oluşmasına neden olmuştur.

- Her iki çapraz düzeni için kolon elemanında oluşan düzlem içi eğilme moment talepleri incelendiğinde iki katta X çapraz düzenine sahip çerçevede oluşan eğilme momenti talebinin, ters V çapraz düzenine sahip çerçeveye göre daha konservatif iç kuvvetler elde edildiği tespit edilmiştir. Bu talep iki katta X çapraz düzeni için maksimum %50 mertebelerindedir. Dolayısıyla elde edilmiş düzlem içi eğilme momenti taleplerinin hem kapasitenin hem de çapraz elemanların dengelenmemiş kuvvetinden dolayı oluşacak moment değerinin altında olması kolon elemanlarının düzlem içi beklenen burkulma limitine ulaşamadığını göstermektedir.
- Her iki çapraz düzenine sahip çerçeve için çapraz davranışları incelendiğinde bazı deprem kayıtları altında çapraz elemanlarının ne burkulma sonrası kapasitesine ne de akma kapasitesine ulaşamaması ilgili çapraz elemanlarının akma uzaması ve basınç kısalması değerlerinin elastik şekil değiştirme sınırları içerisinde kaldığını göstermektedir.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda hem ters V hem de iki katta X çapraz düzenine sahip analiz modelleri için çapraz elemanların sismik etkiler altındaki kolon elemanlarında bileşke kuvvetlerin etkisi ile oluşacak eksenel kuvvet taleplerinin kolon elemanının kapasitesinin üçte birinden daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Çapraz elemanlarda beklenen süneklik talepleri her iki çapraz düzenine sahip çerçeveler için yakın etkiler gösterse de ters V çapraz düzenine sahip çerçeveye göre iki katta X çapraz düzeni için doğrusal olmayan analiz altında çapraz elemanlarda oluşan burkulma, burkulma sonrası ve akma durumları bize iki katta X çapraz düzenine sahip çerçeve için süneklilik talebi bakımından daha tatmin edici sonuç vermektedir.

6.2. Öneriler

İlgili tez kapsamında çok katmanlı çaprazlı çerçeveler için AISC 2016 sismik hükümler uyarınca yapılan çalışmada iki farklı çapraz düzenine sahip iki katmanlı çerçeve sistemleri seçilmiştir. Seçilen deprem yer hareketleri altında zaman tanım alanına doğrusal olmayan analizler çerçeve genel davranışı ve taşıyıcı sistem elemanları için oluşacak iç kuvvet taleplerinin mertebe olarak ön görülmesini

sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar iki katmana sahip ve katman yükseklikleri birbiri ile aynı sistemler için bize fikir vermektedir.

Çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemler ile ilgili ileride yapılacak çalışmalar için öneriler aşağıda sunulmuştur.

- İki katmanlı ve katman yükseklikleri birbirine eşit çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin yanı sıra katman sayıları, katman yükseklikleri ve çerçeve yüksekliği gibi birbirinden farklı durumları da incelenmelidir.
- Kolon, kiriş ve çapraz elemanlarında tercih edilen profillerin yanı sıra farklı profil elemanları tercih edilip çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemleri için performansları incelenmelidir.
- Endüstriyel yapılarda sıkça tercih edilen kren kirişli çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin kren etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi gerekmektedir.
- Çapraz düzeninin katman yükseklikleri, çerçeve yüksekliği ve katman sayısının farklı sismik bölgeler için ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir.
- İlgili tasarım yöntemine göre yapılmayan mevcut çok katmanlı çaprazlı çerçeve sistemlerinin güncel tasarım yöntemlerine göre performansları incelenmelidir.
- Bu sonuçlar iki katmanlı ve katman yükseklikleri birbirine eşit çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemleri için elde edilmiştir. Hem beklenen talepleri yakalayabilmek için hem de daha ekonomik sonuçlar elde edebilmek için çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sistemlerinin tasarım gereksinimleri için daha çok çalışma yapılarak tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

ANSI/AISC 341-16, (2016), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.

ANSI/AISC 360-16, (2016), Specification for Structural Steel Buildings.

ANSI/AISC 360-10, (2010), Specification for Structural Steel Buildings.

ASCE/AISC 41-13, (2014), Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings.

ASCE/SEI 7-16, (2016), Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.

Ashrafi A., Imanpour A. (2021). Seismic response of steel multi-tiered eccentrically braced frames. Journal of Constructional Steel Research, 181, 106600.

Cano P. A. (2019). Evaluation of the Seismic Design Methods for Steel Multi-Tiered Concentrically Braced Frames (Doctoral dissertation, University of Alberta).

Cano P. A., Imanpour A. (2019). Dynamic analysis of steel multi-tiered special concentrically braced frames. In Structures Congress 2019: Buildings and Natural Disasters. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. (99-112).

Houreh E. D. (2020). Simplified seismic design methods for low-ductile steel multi-tiered concentrically braced frames (Doctoral dissertation, University of Alberta).

Imanpour A., Auger K., Tremblay R. (2016). Seismic design and performance of multi-tiered steel braced frames including the contribution from gravity columns under in-plane seismic demand. Advances in Engineering Software, 101, 106-122.

Imanpour A., Tremblay R. (2012). Analytical Assessment of Stability of Unbraced Column in Two Panel Concentrically Braced Frames. In 3rd International Structural Specialty Conference, Edmonton, Alberta, Canada, 1218.

Imanpour A., Tremblay R., Davaran A. (2014). A new seismic design method for steel multi-tiered braced frames. In Structures Congress 2014 (2707-2720).

Imanpour A., Tremblay R., Davaran A., Stoakes C., Fahnestock L. A. (2016). Seismic Performance Assessment of Multitiered Steel Concentrically Braced Frames Designed in Accordance with the 2010 AISC Seismic Provisions. Journal of structural engineering (New York, NY), 142(12), 4016135.

Imanpour A., Tremblay R., Fahnestock L. A., Stoakes C. (2016). Analysis and Design of Two-Tiered Steel Braced Frames under In-Plane Seismic Demand. Journal of structural engineering (New York, NY), 142(11), 4016115.

Imanpour A., Tremblay R. (2016). Seismic design and response of steel multi-tiered concentrically braced frames in Canada. Canadian Journal of Civil Engineering, 43(10), 908-919.

Imanpour A., Tremblay R. (2014). Seismic design of steel multi-tiered braced frames. EUROSTEEL, Nápoles, Italia, (688).

Imanpour A., Stoakes C., Tremblay R., Fahnestock L., Davaran A. (2013). Seismic stability response of columns in multi-tiered braced steel frames for industrial applications. In Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession (2650-2661).

Uriz P., Mahin S. (2008). Toward earthquake-resistant design of concentrically braced steel-frame structures. PEER report 2008/08. University of California, Berkeley. Berkeley, USA.

PERFORM-3D, Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Version 8.1.0.

Web, (2022), https://ngawest2.berkeley.edu, (Erişim Tarihi: 17/06/2022).

ÖZGEÇMİŞ

Mert HUTO, 2014 yılında başladığı Beykent Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2019 yılında başarıyla tamamlayarak 2020 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programına başladı. 2020 yılından bu yana yapısal tasarım mühendisi olarak çalışmaktadır.

EKLER

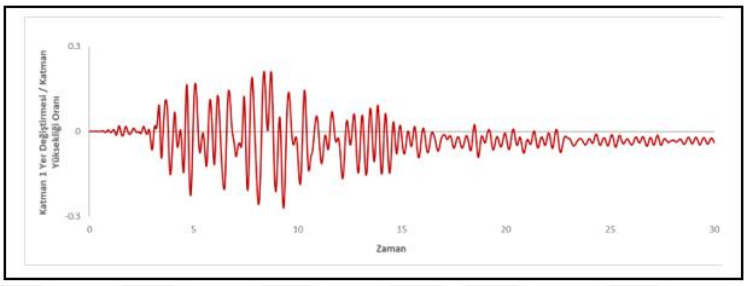
Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Huto M., Şeker O., (2023), "İki Katmanda X Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Çelik Çok Katmanlı Çaprazlı Çerçeve Sisteminin Sismik Davranışının Değerlendirilmesi", 5. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi, İstanbul, Türkiye, 25-26 Şubat.

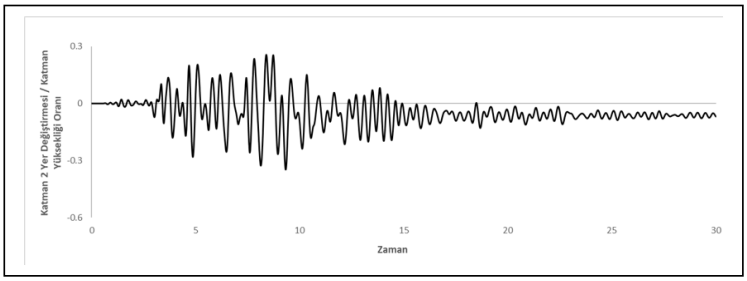
Ek B: Ters V Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Çok Katmanlı Çaprazlı Çerçeve Sistemi Detaylı Analiz Sonuçları

Bu bölümde ters V çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli için 22 çift deprem kaydı altında elde edilen sonuçlar her bir deprem kaydı için katman yer değiştirmeleri ve çerçeve yer değiştirmesi, çapraz elemanının katman yer değiştirmesi ile ilgili mekanizma durumu, kolon elemanı PMM etkileşimi ve düzlem içi eğilme momenti talepleri detaylı olarak gösterilmiştir.

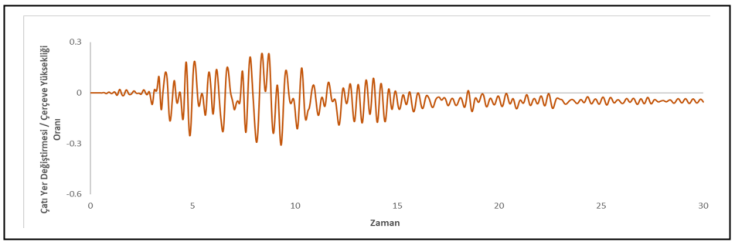
- **RSN 953-0 Deprem Kaydı Sonuçları**



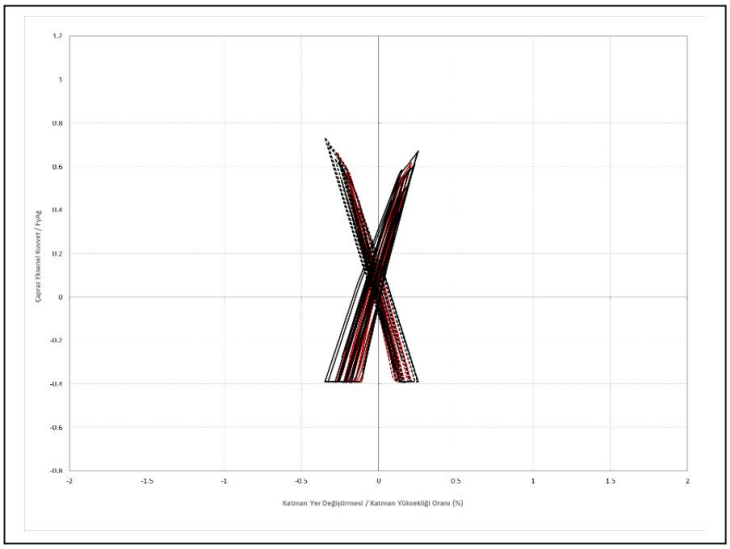
Şekil B1.1: Zaman – Katman 1 yer değiştirme oranı (%).



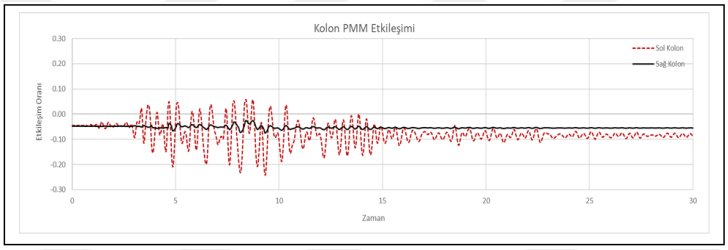
Şekil B1.2: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



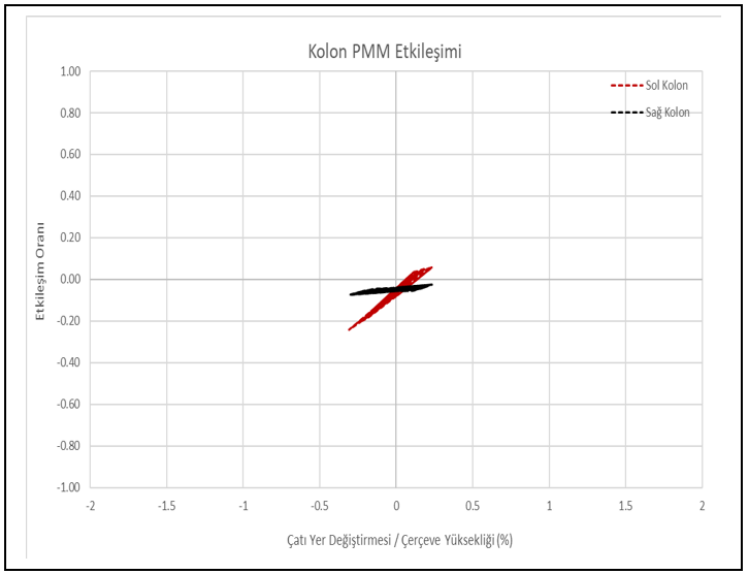
Şekil B1.3: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



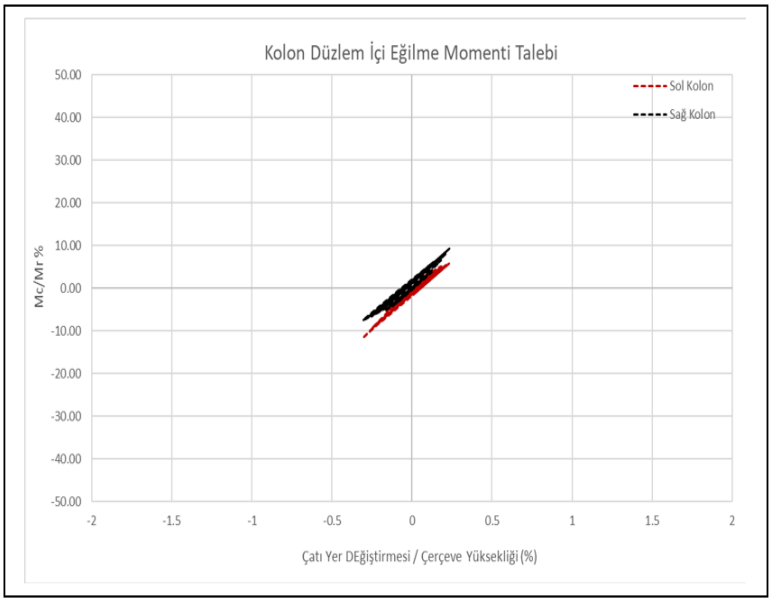
Şekil B1.4: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.5: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

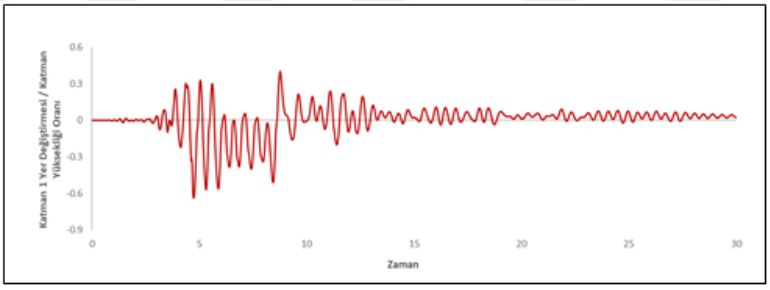


Şekil B1.6: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

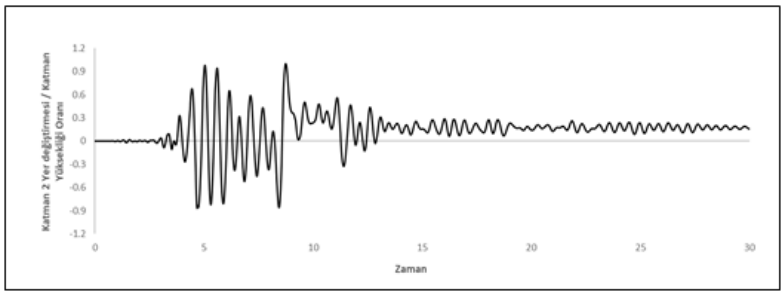


Şekil B1.7: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

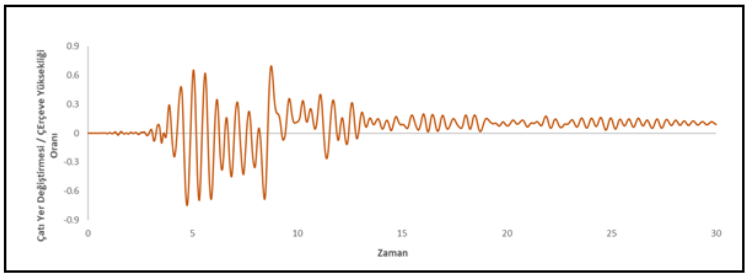
- **<u>RSN 953-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



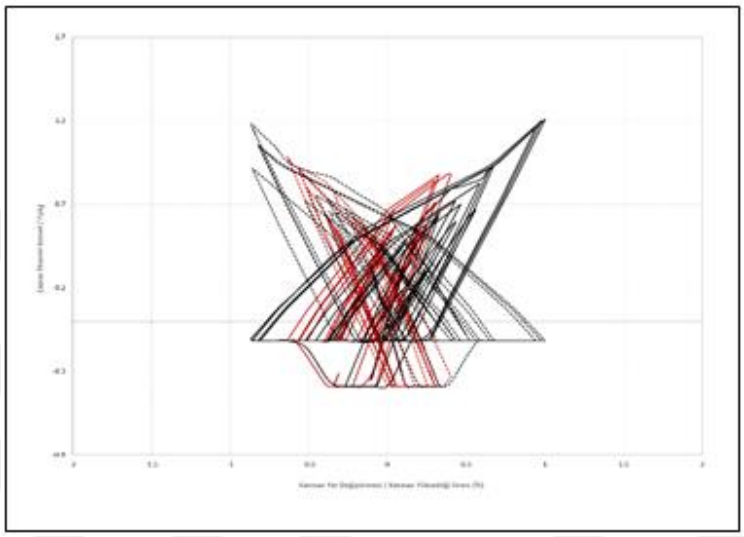
Şekil B1.8: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



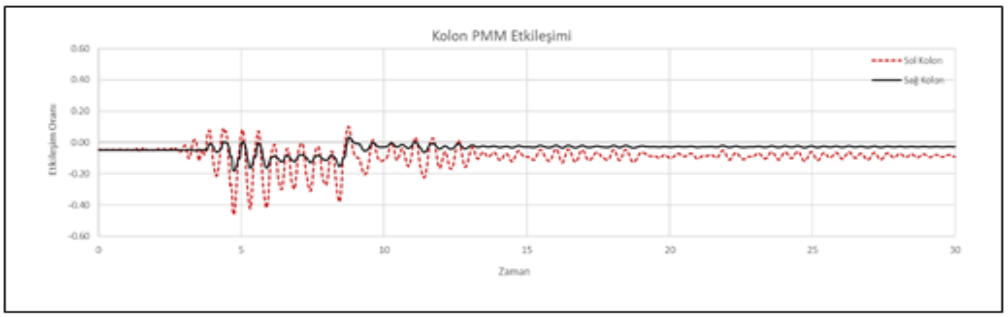
Şekil B1.9: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



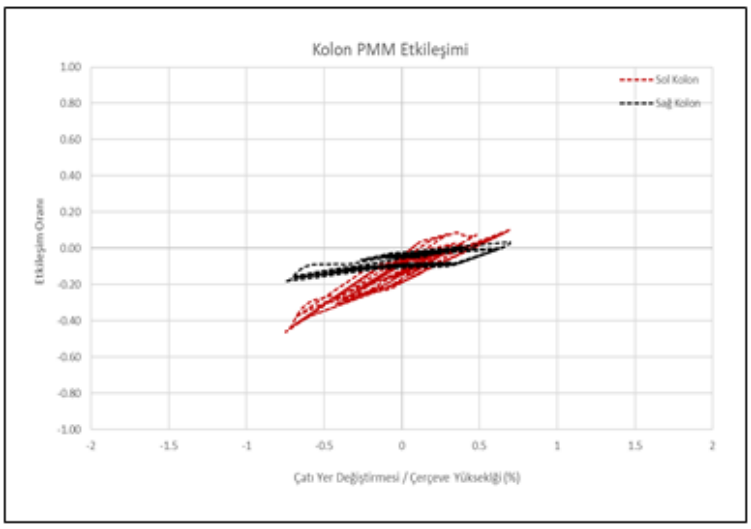
Şekil B1.10: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



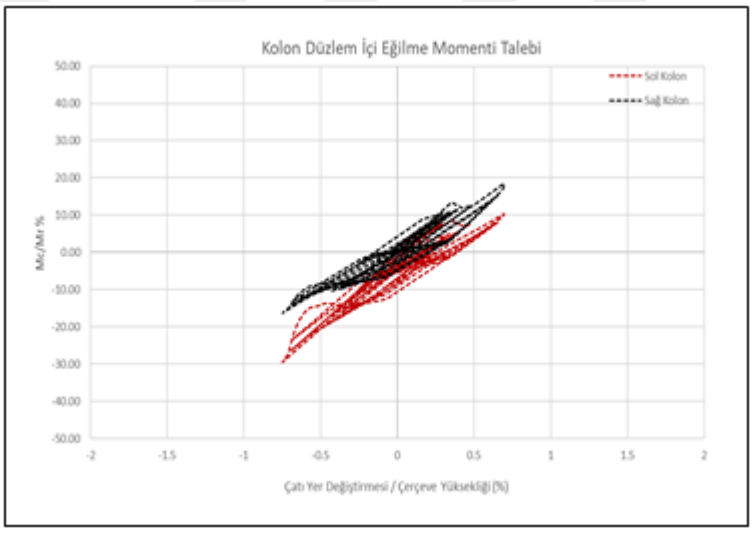
Şekil B1.11: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.12: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

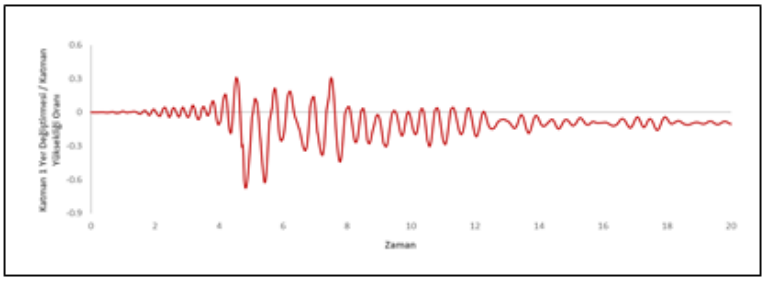


Şekil B1.13: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

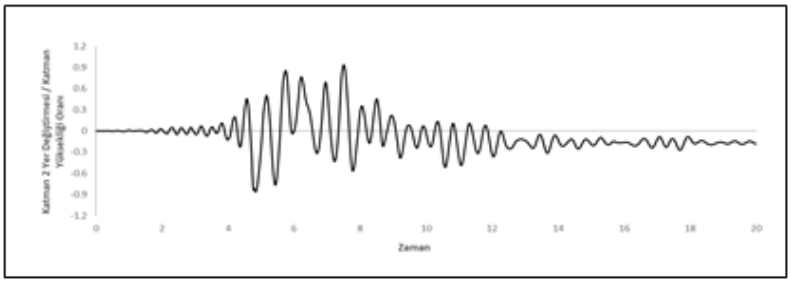


Şekil B1.14: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

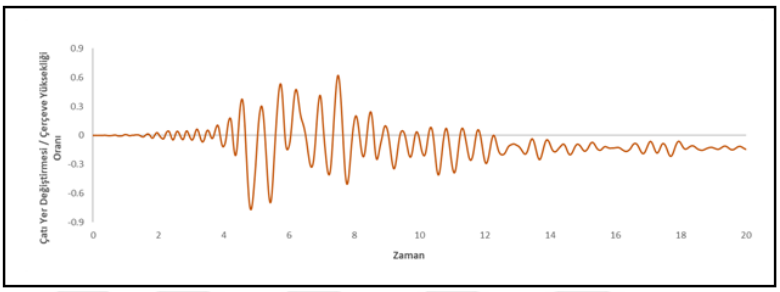
- **<u>RSN 960-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



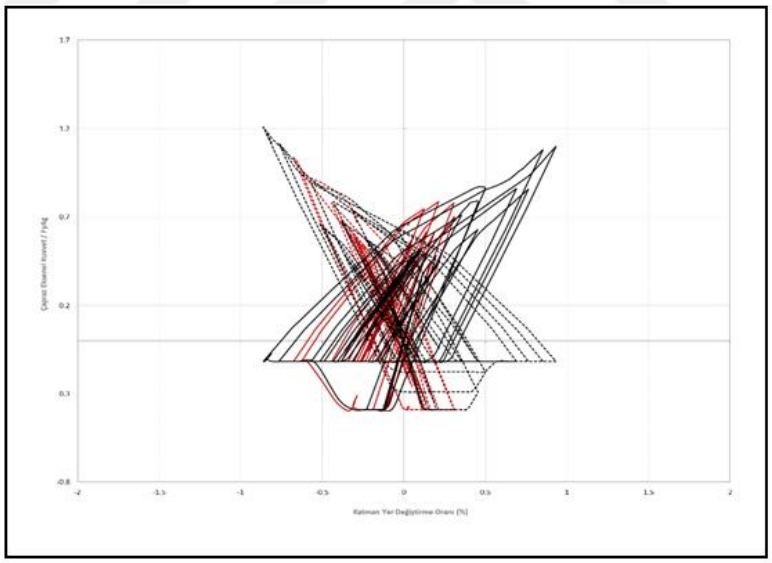
Şekil B1.15: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



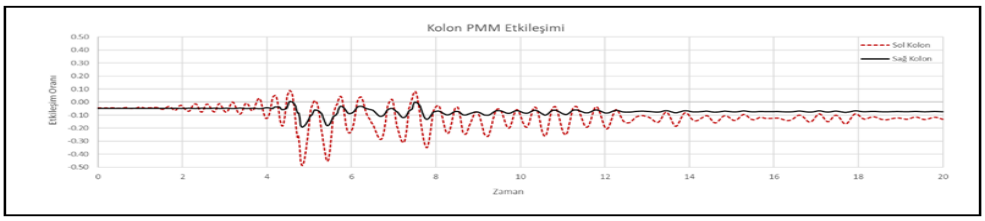
Şekil B1.16: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



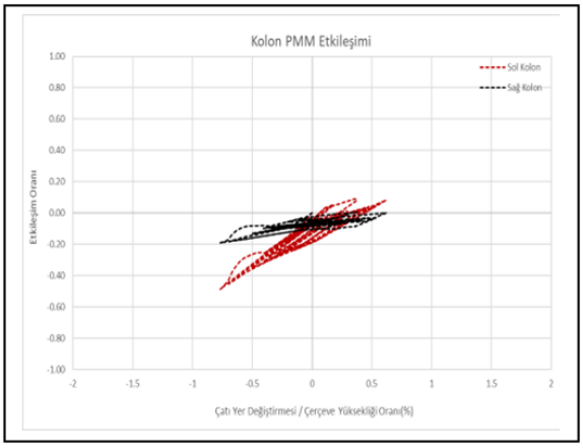
Şekil B1.17: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



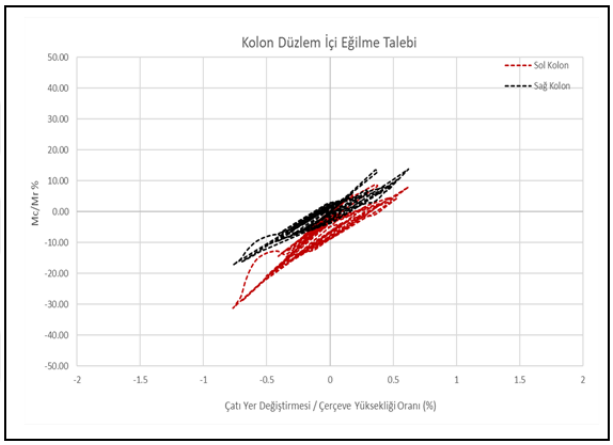
Şekil B1.18: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.19: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

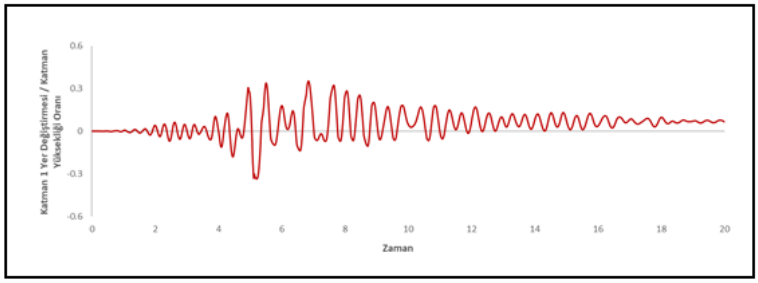


Şekil B1.20: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

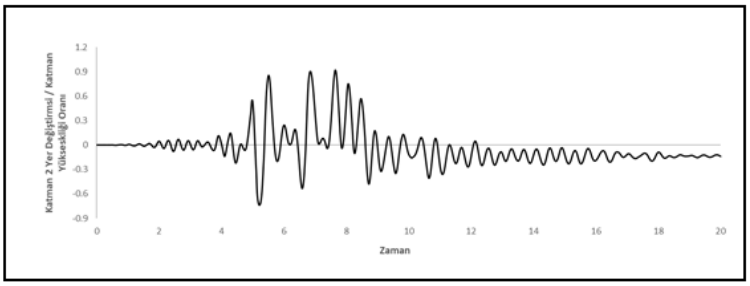


Şekil B1.21: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

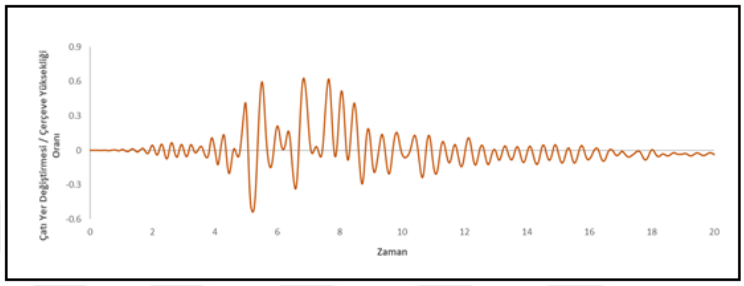
- **<u>RSN 960-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



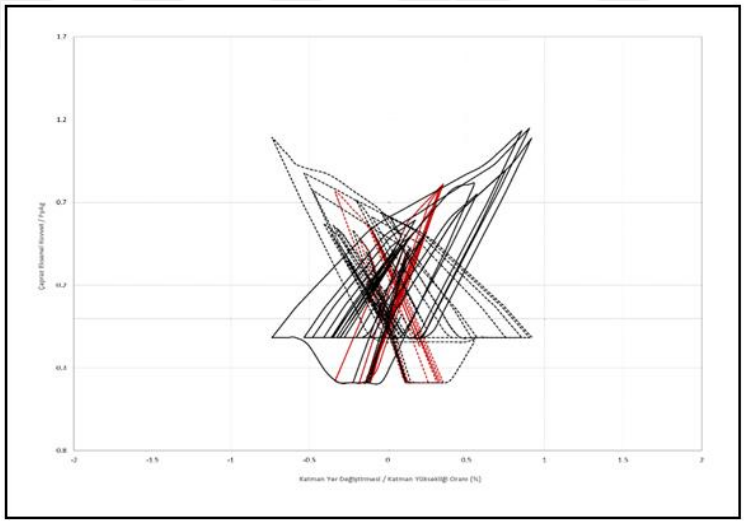
Şekil B1.22: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



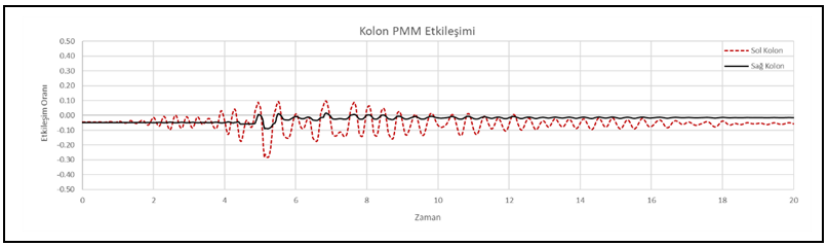
Şekil B1.23: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



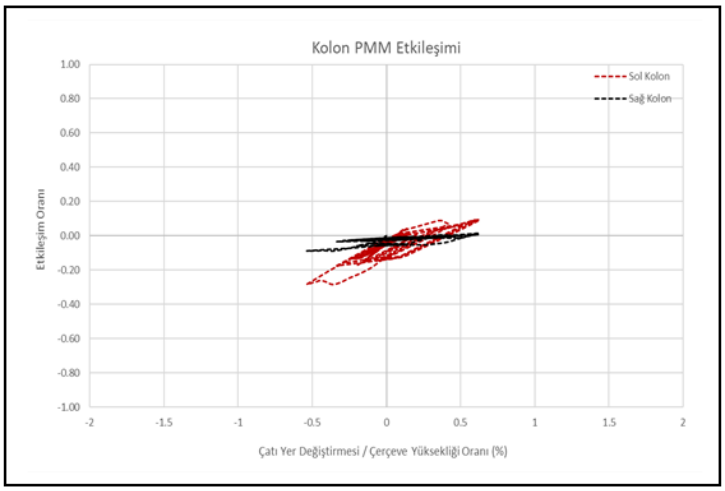
Şekil B1.24: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



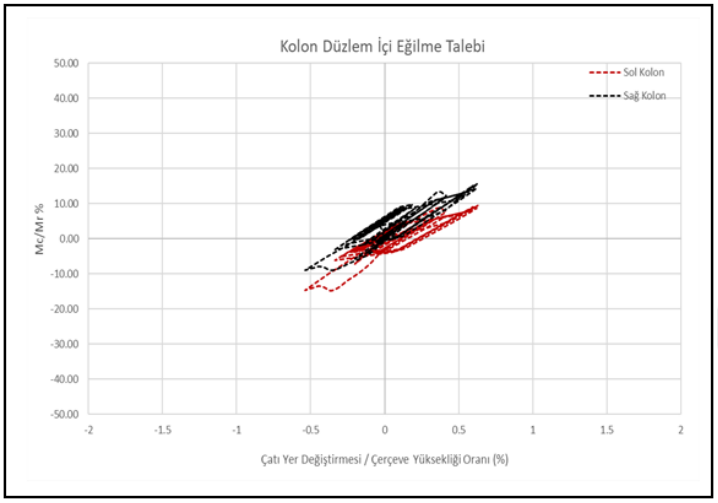
Şekil B1.25: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.26: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

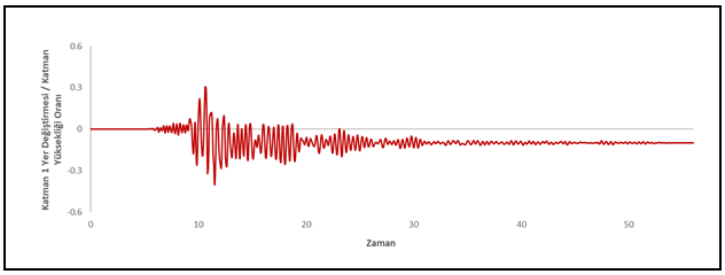


Şekil B1.27: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

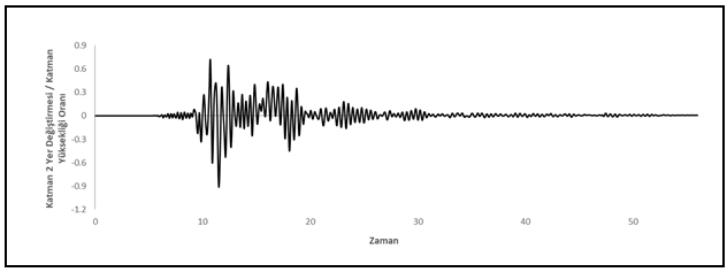


Şekil B1.28: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

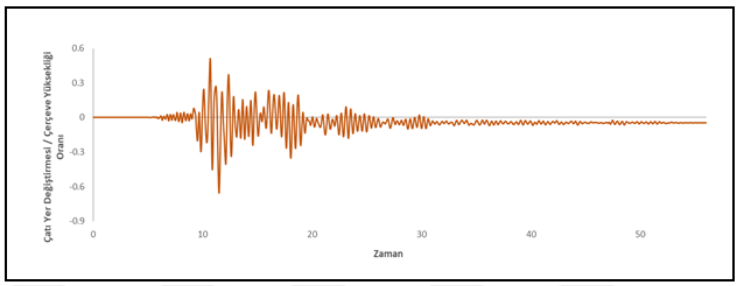
- **<u>RSN 1602-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



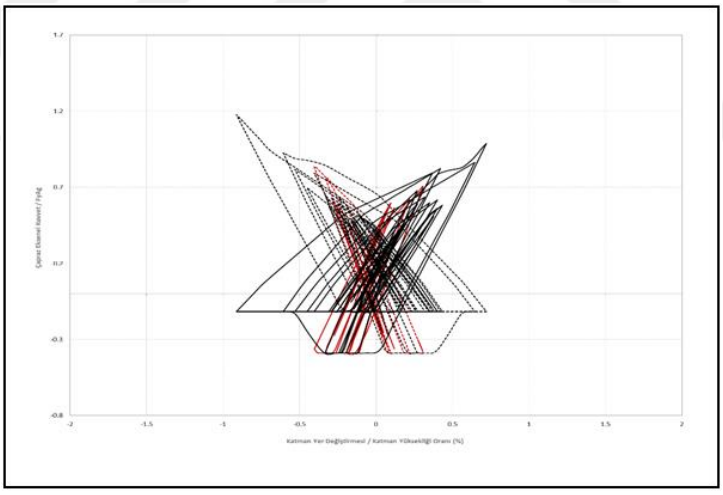
Şekil B1.29: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



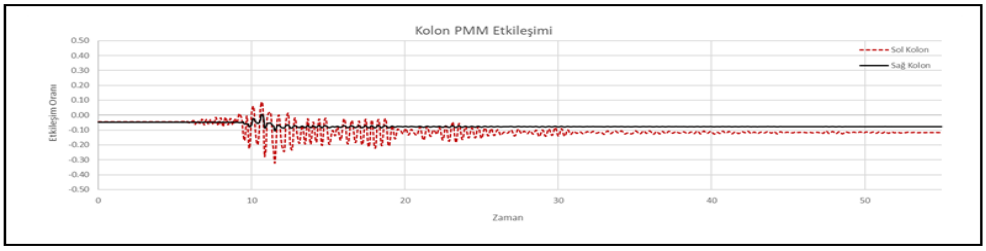
Şekil B1.30: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



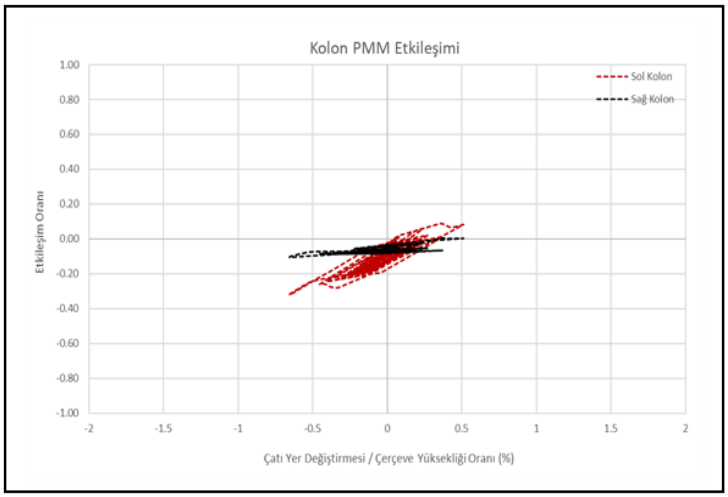
Şekil B1.31: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



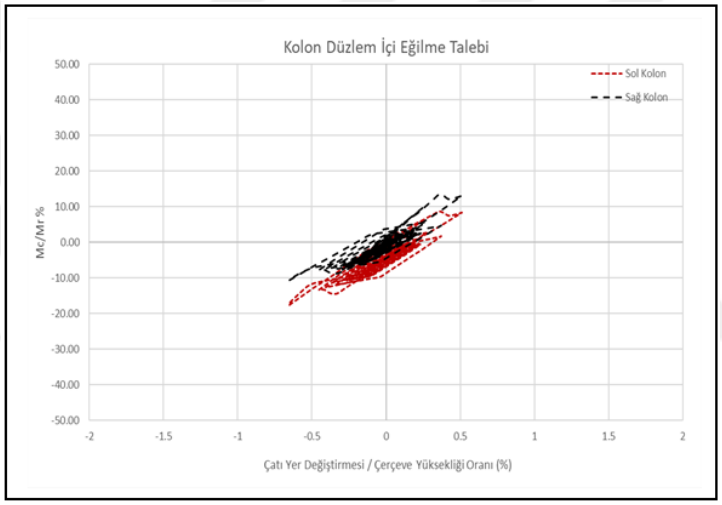
Şekil B1.32: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.33: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

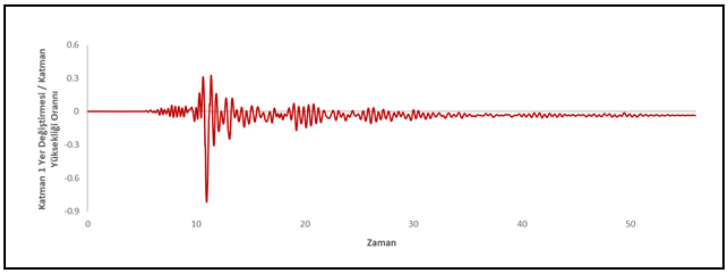


Şekil B1.34: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

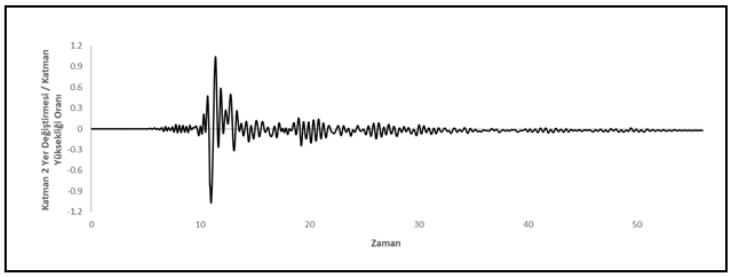


Şekil B1.35: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

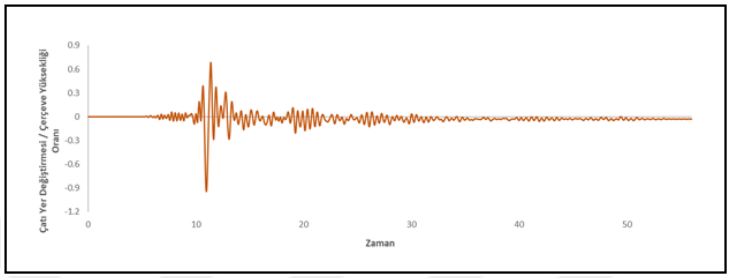
- **<u>RSN 1602-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



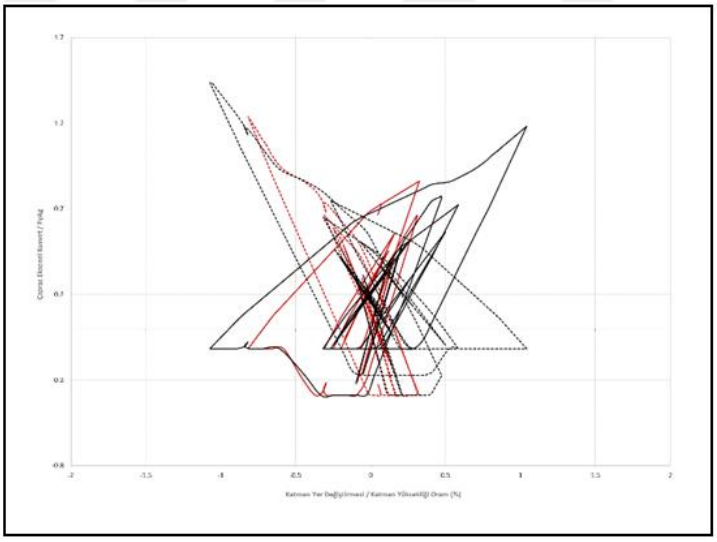
Şekil B1.36: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



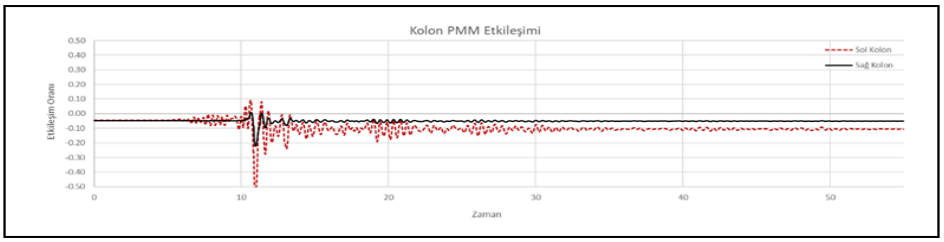
Şekil B1.37: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



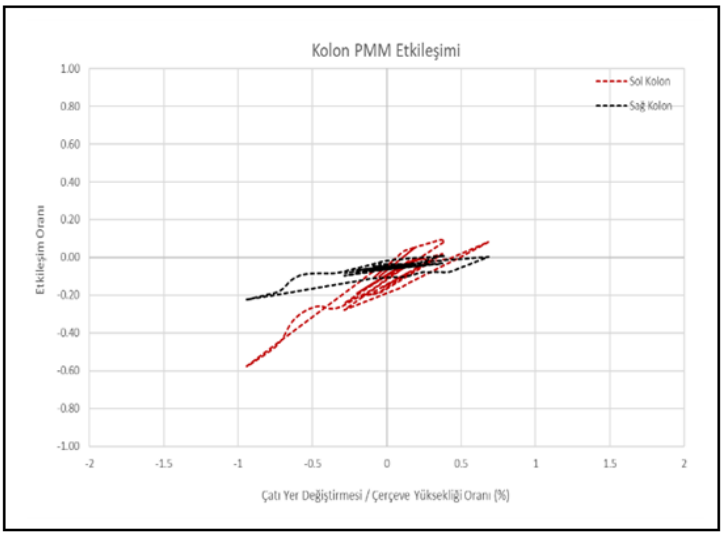
Şekil B1.38: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



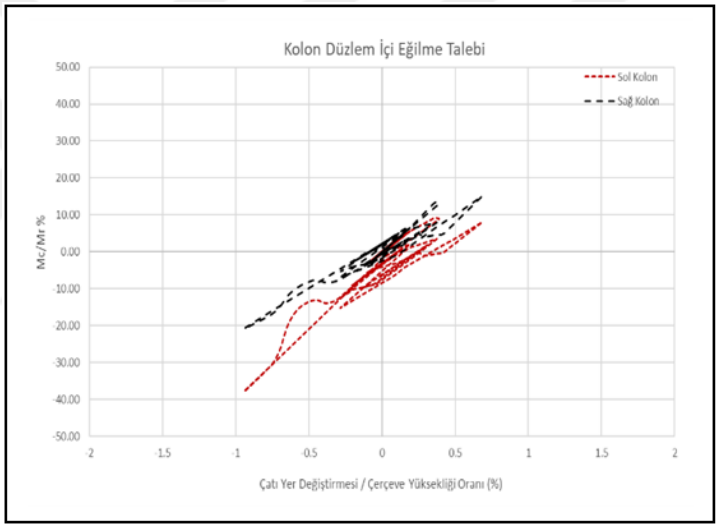
Şekil B1.39: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.40: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

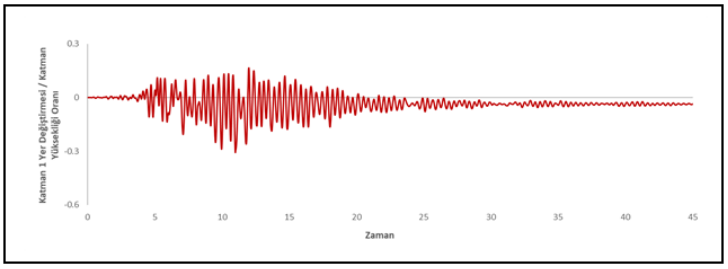


Şekil B1.41: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

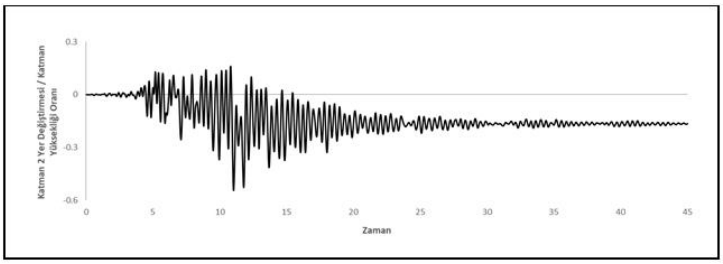


Şekil B1.42: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

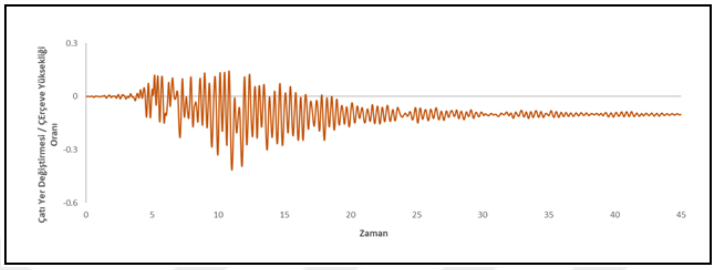
- **<u>RSN 1787-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



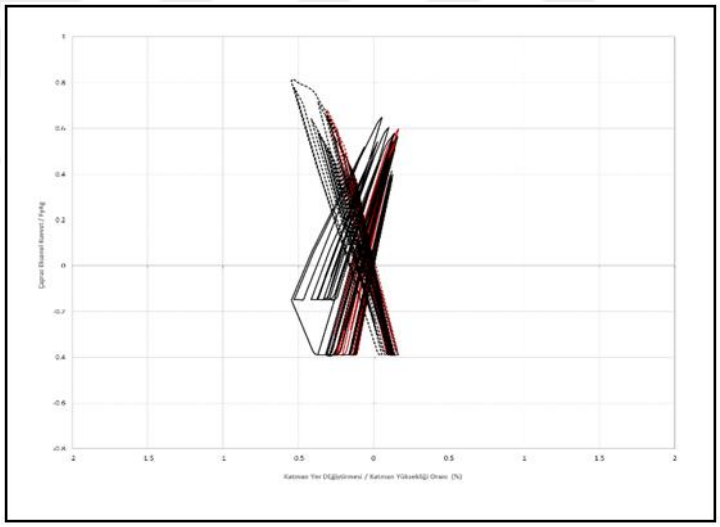
Şekil B1.43: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



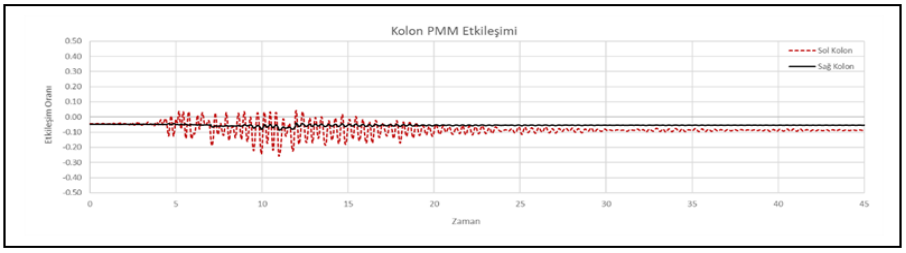
Şekil B1.44: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



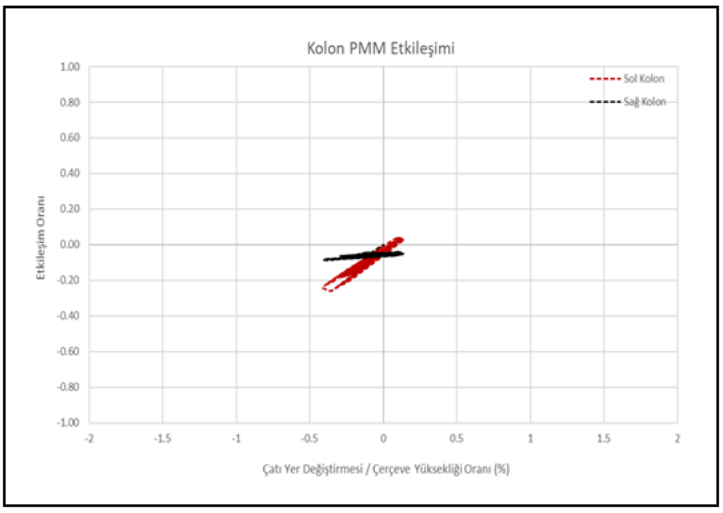
Şekil B1.45: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



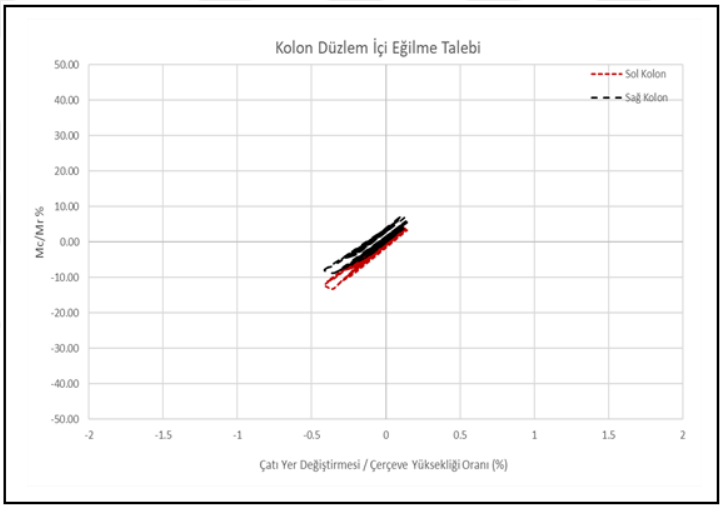
Şekil B1.46: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.47: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

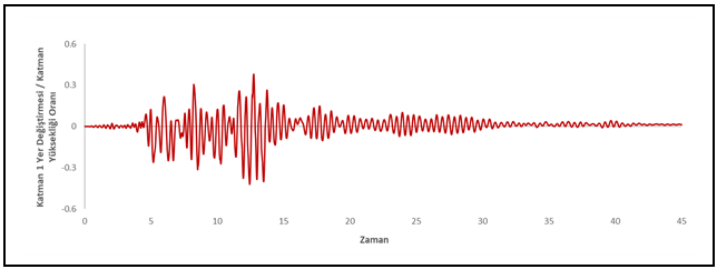


Şekil B1.48: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

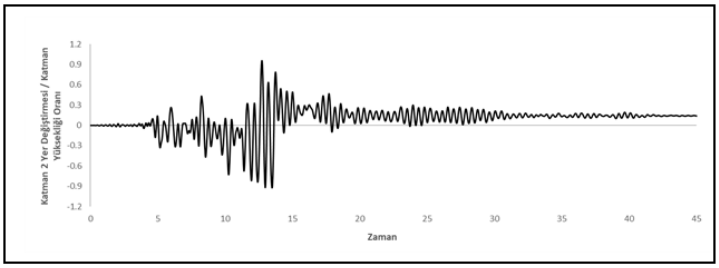


Şekil B1.49: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

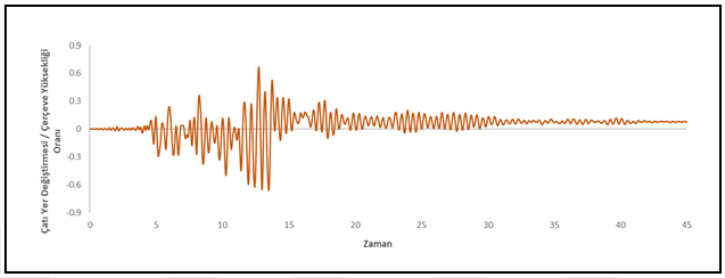
- **<u>RSN 1787-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



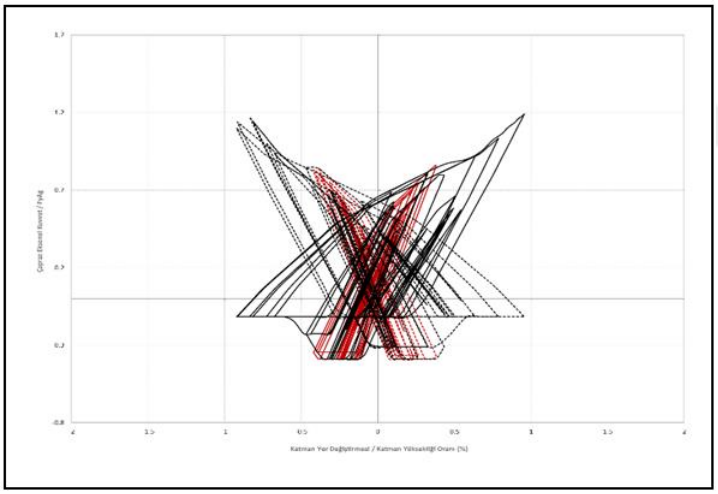
Şekil B1.50: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



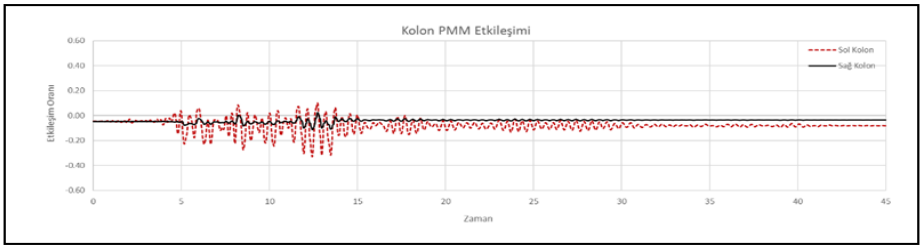
Şekil B1.51: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



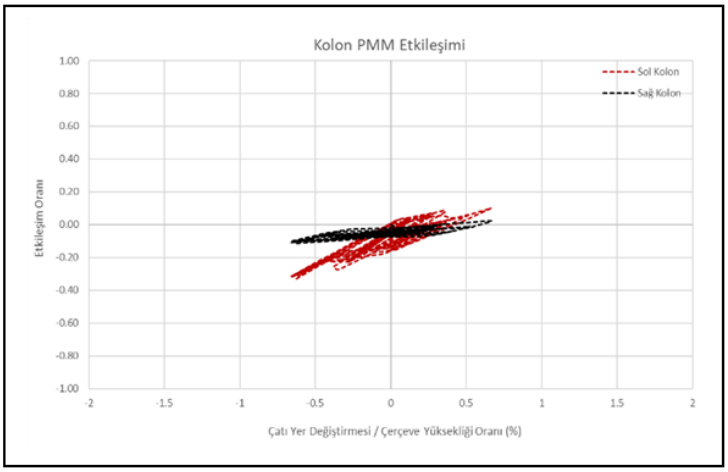
Şekil B1.52: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



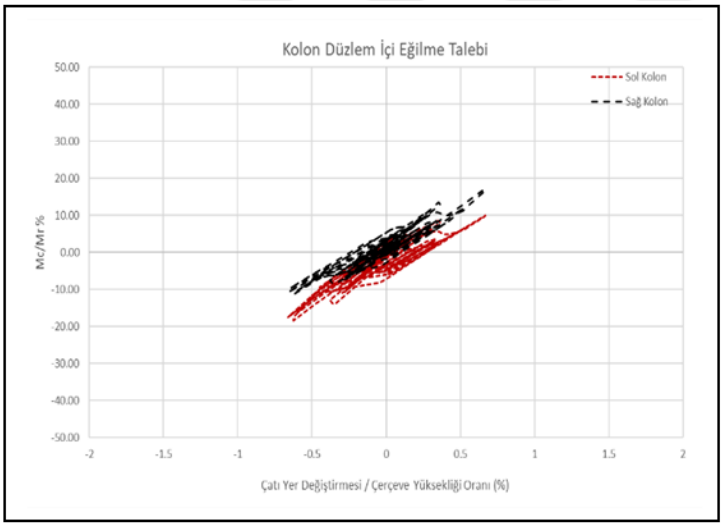
Şekil B1.53: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.54: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

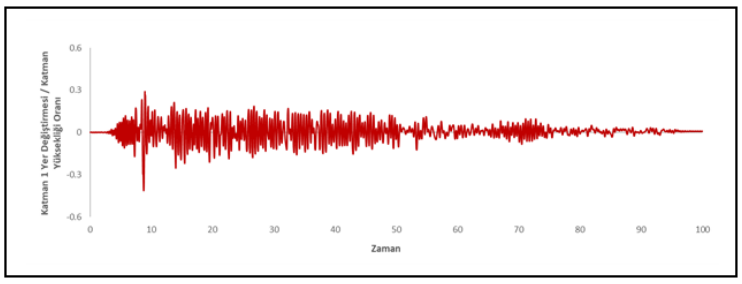


Şekil B1.55: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

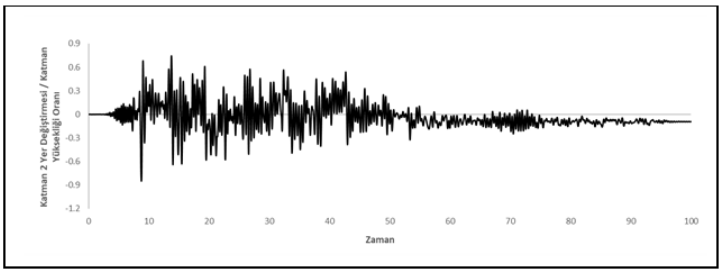


Şekil B1.56: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

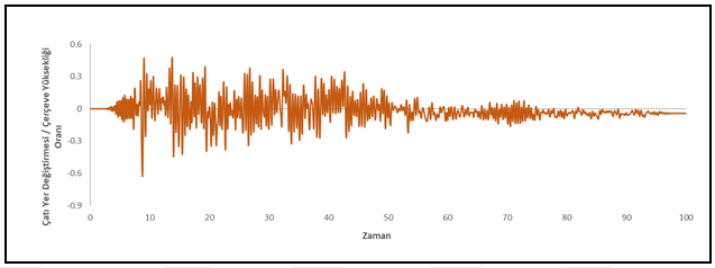
- **<u>RSN 169-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



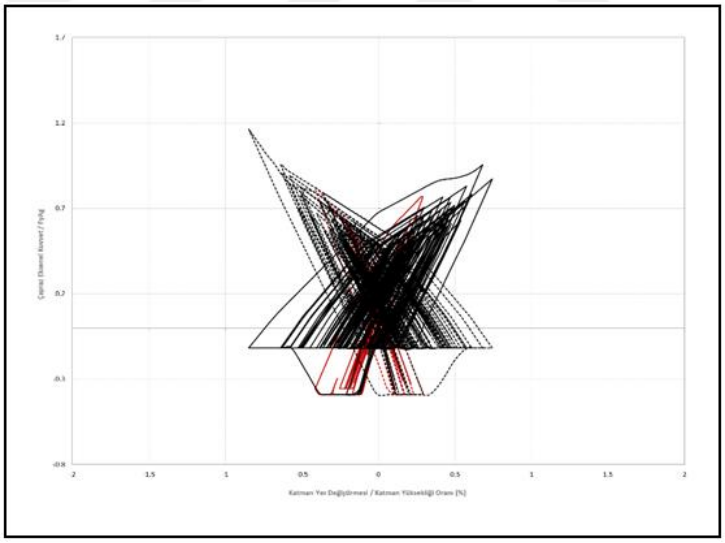
Şekil B1.57: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



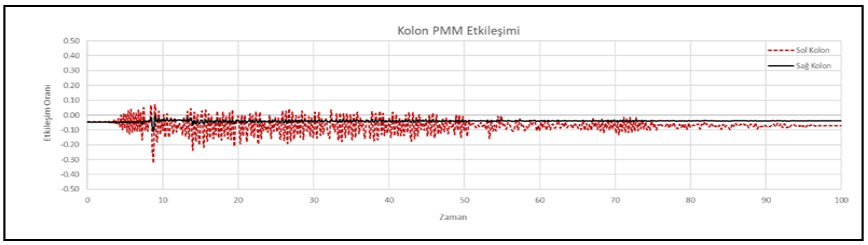
Şekil B1.58: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



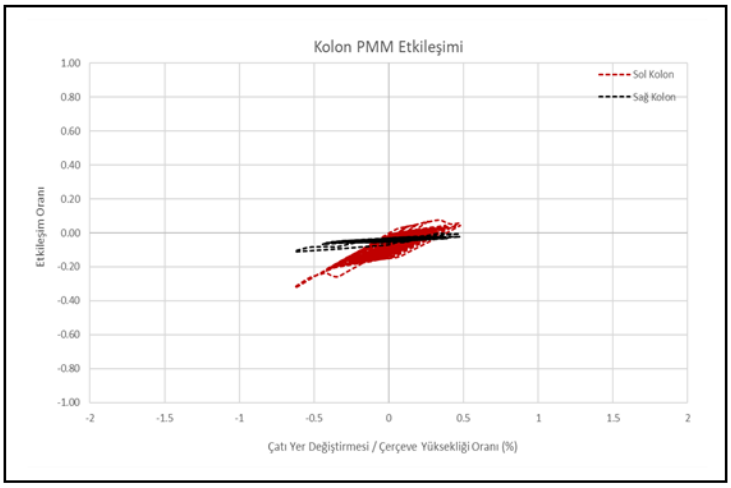
Şekil B1.59: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



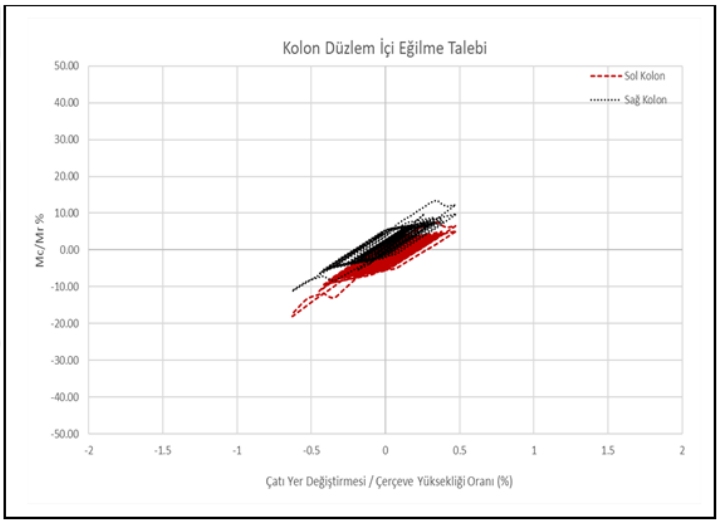
Şekil B1.60: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.61: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

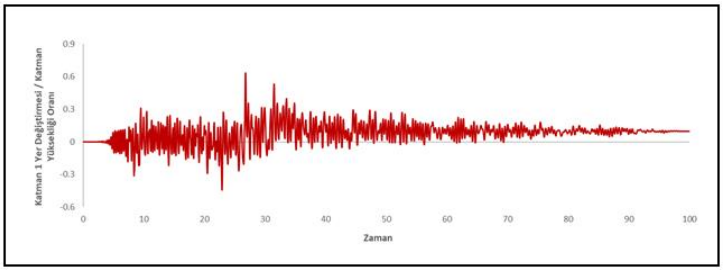


Şekil B1.62: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

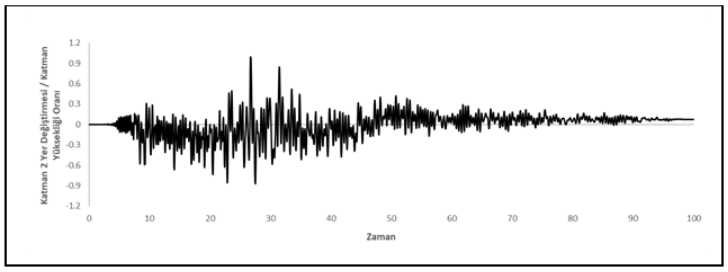


Şekil B1.63: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

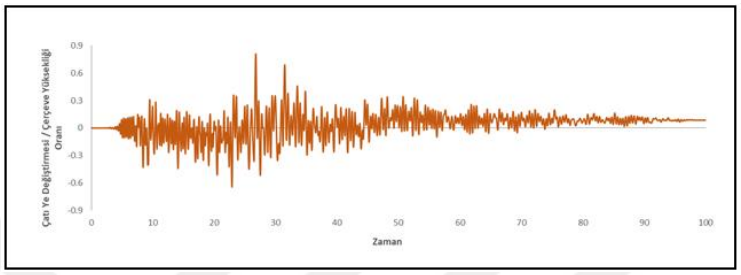
- **<u>RSN 169-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



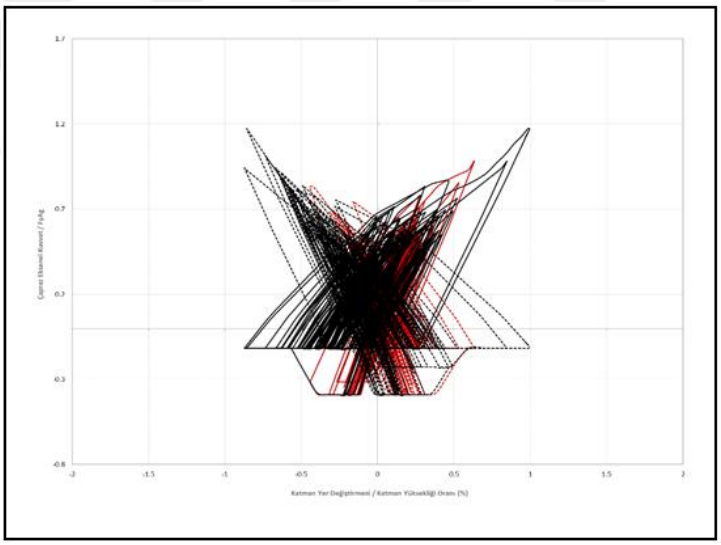
Şekil B1.64: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



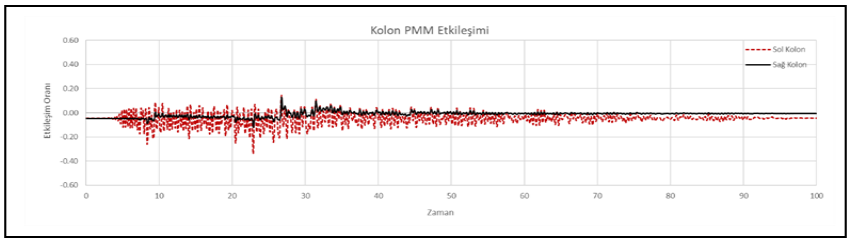
Şekil B1.65: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



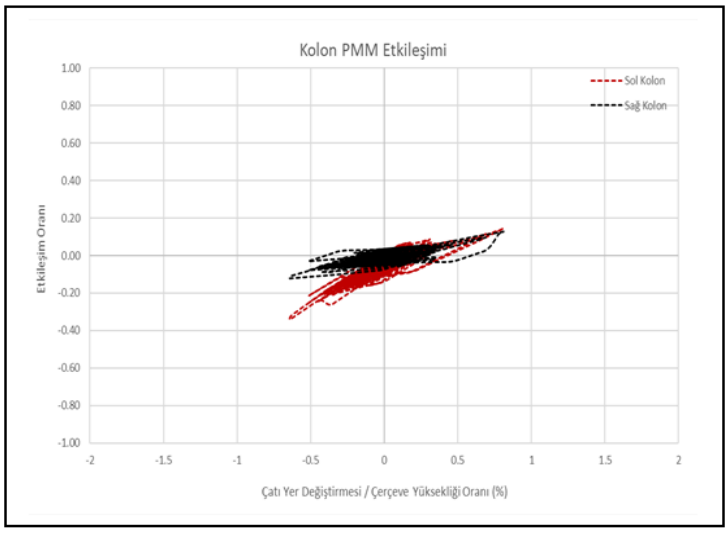
Şekil B1.66: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



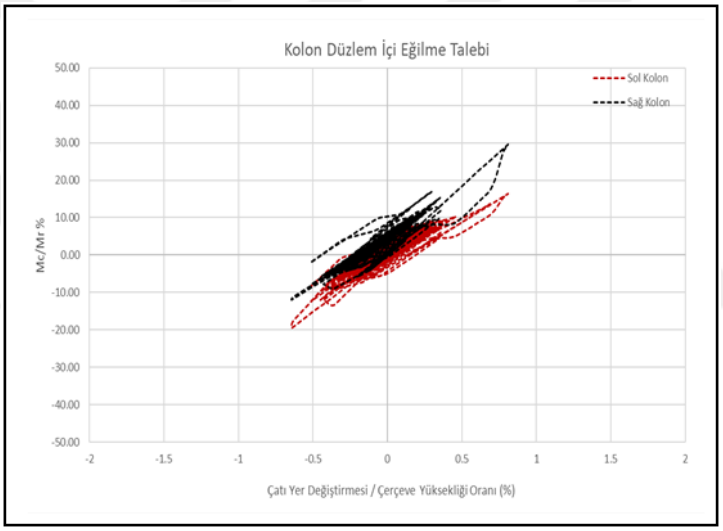
Şekil B1.67: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.68: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

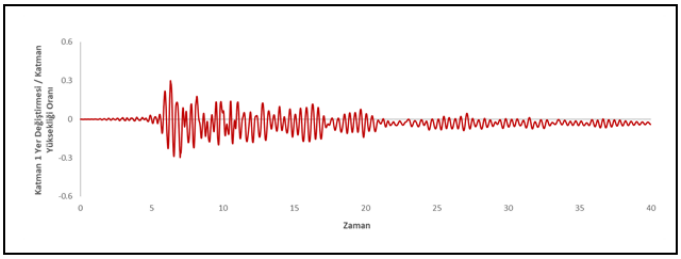


Şekil B1.69: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

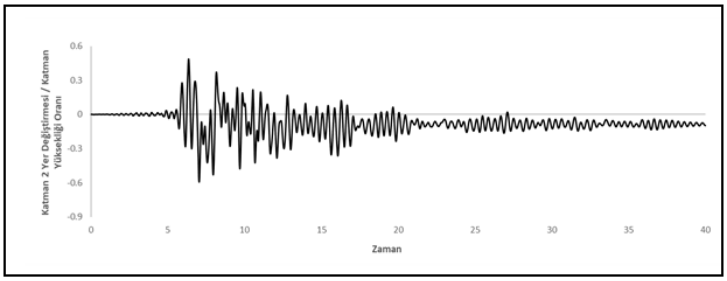


Şekil B1.70: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

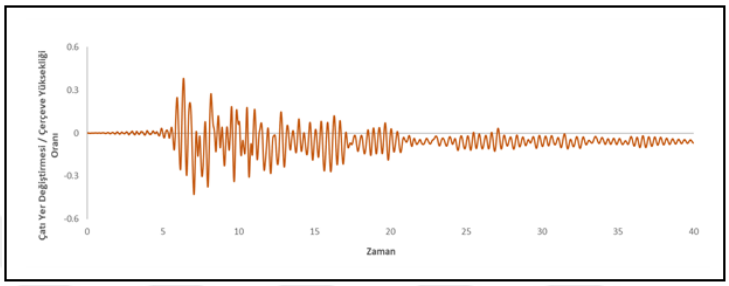
- **<u>RSN 174-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



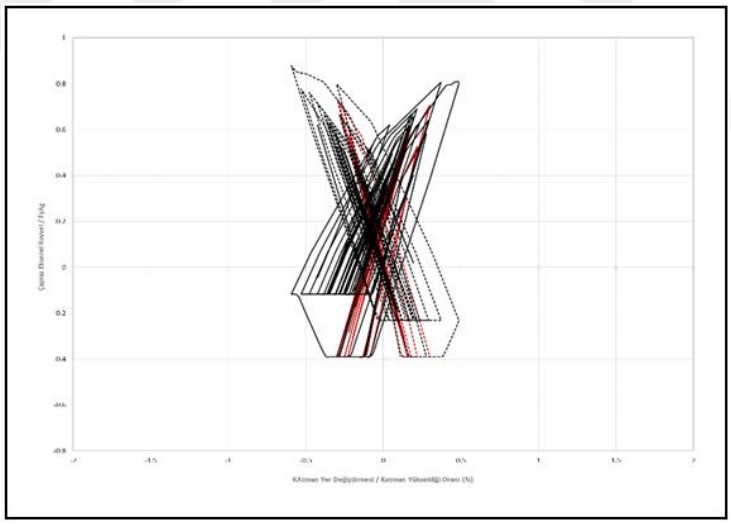
Şekil B1.71: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



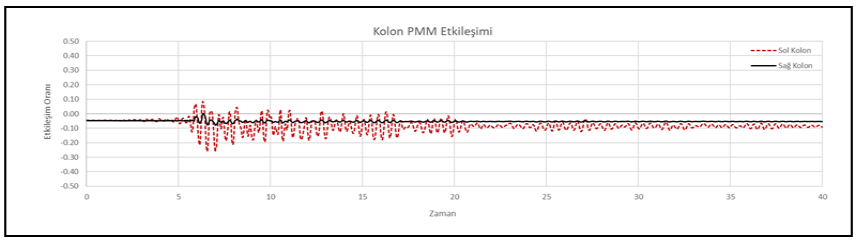
Şekil B1.72: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



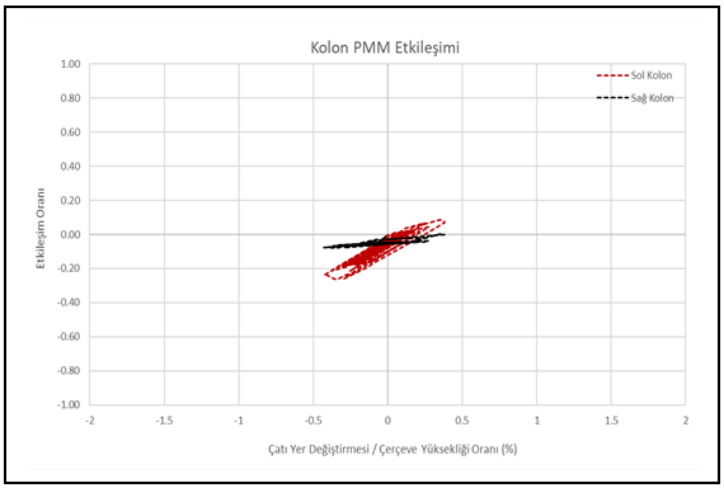
Şekil B1.73: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



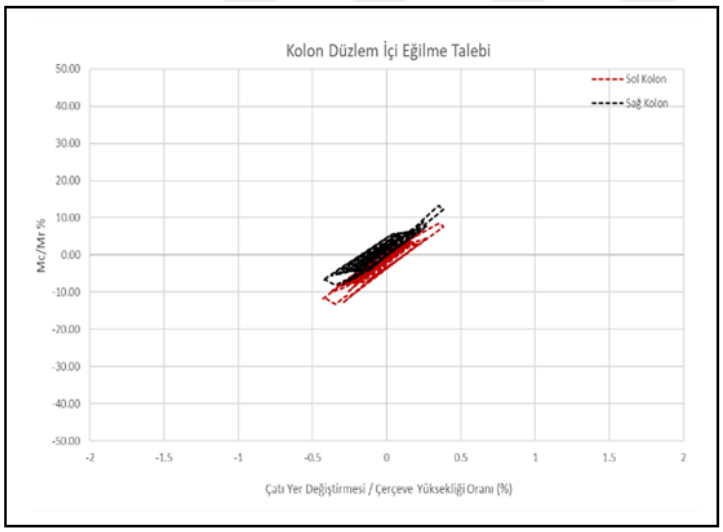
Şekil B1.74: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.75: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

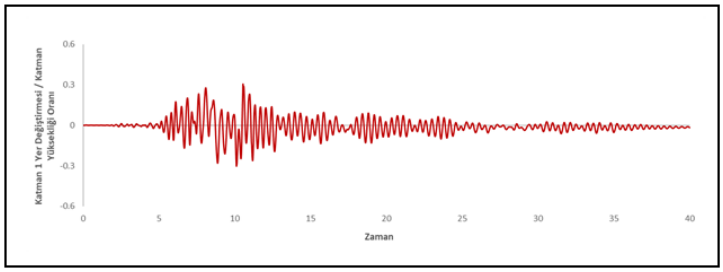


Şekil B1.76: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

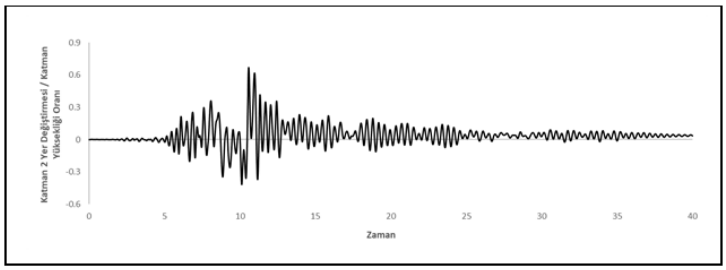


Şekil B1.77: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

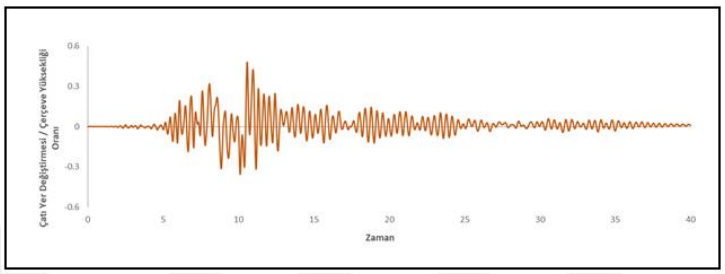
- **<u>RSN 174-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



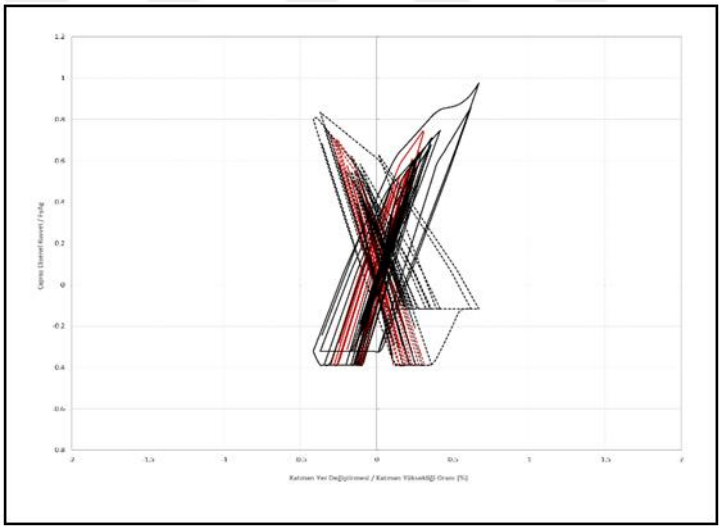
Şekil B1.78: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



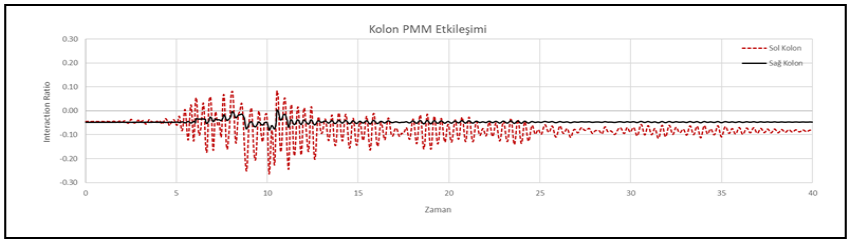
Şekil B1.79: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



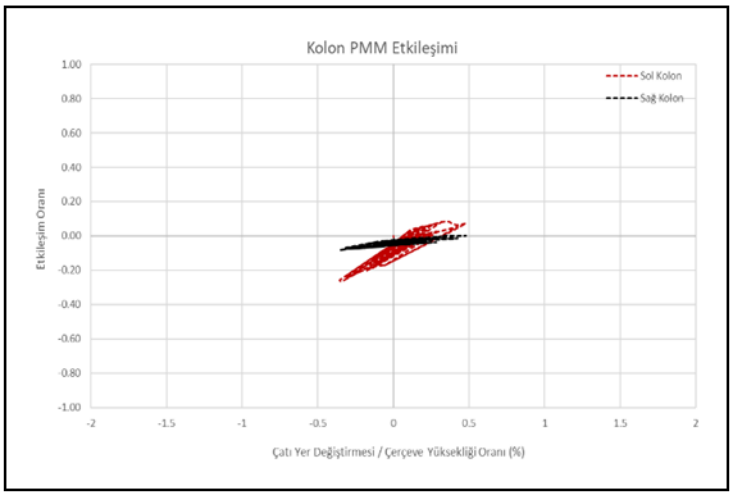
Şekil B1.80: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



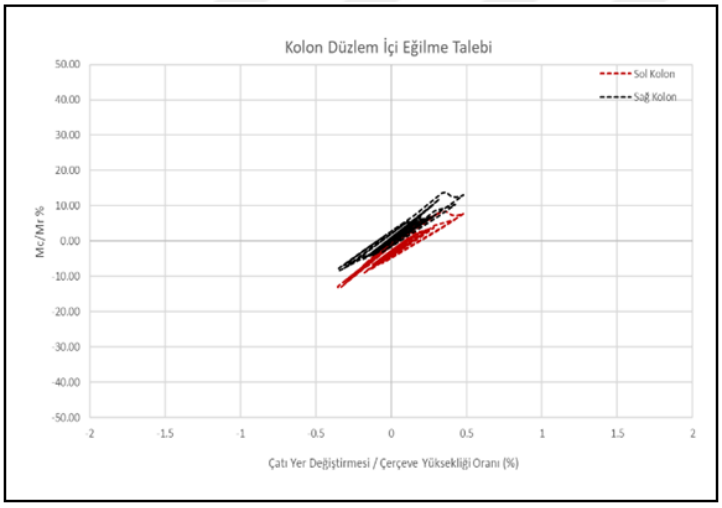
Şekil B1.81: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.82: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

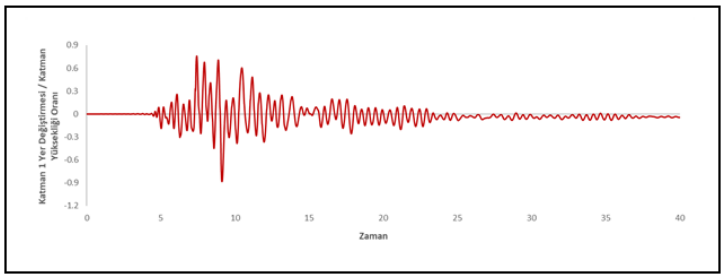


Şekil B1.83: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

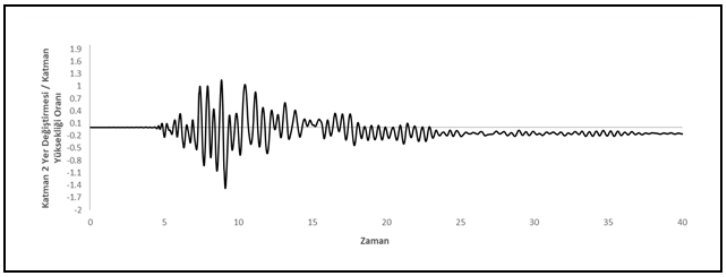


Şekil B1.84: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

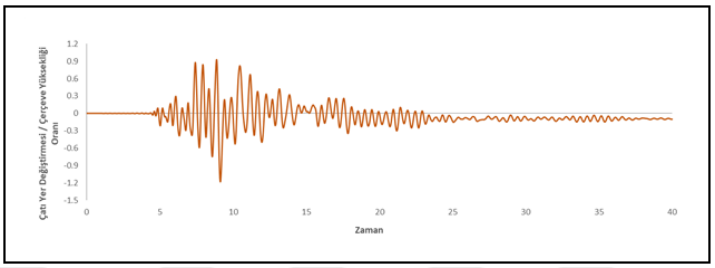
- **<u>RSN 1111-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



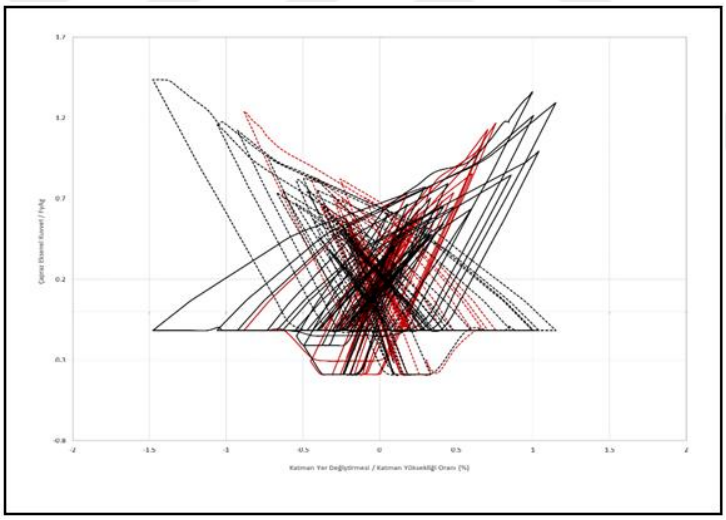
Şekil B1.85: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



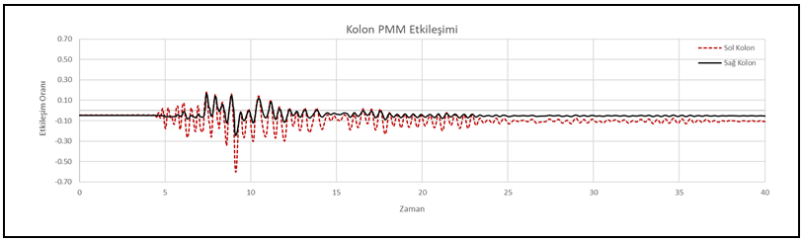
Şekil B1.86: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



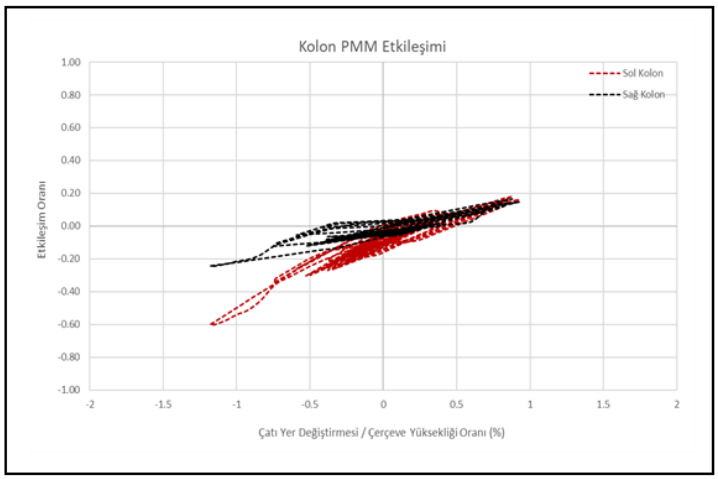
Şekil B1.87: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



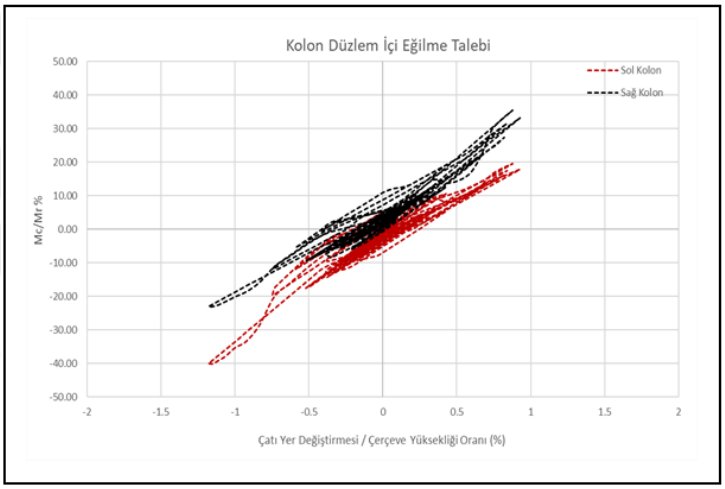
Şekil B1.88: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.89: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

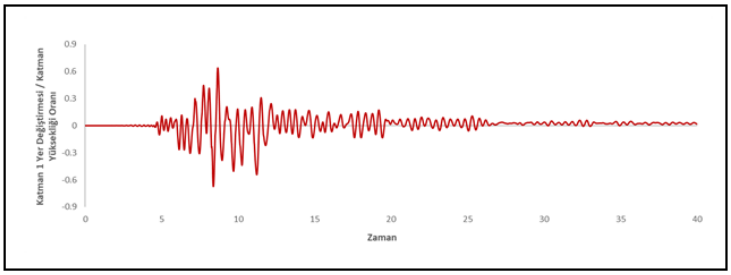


Şekil B1.90: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

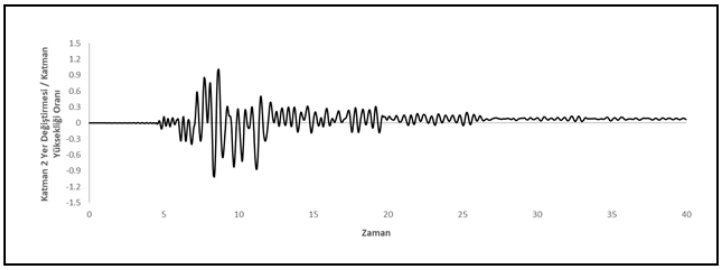


Şekil B1.91: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

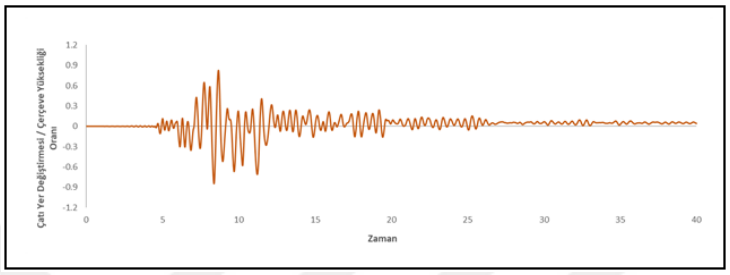
- **<u>RSN 1111-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



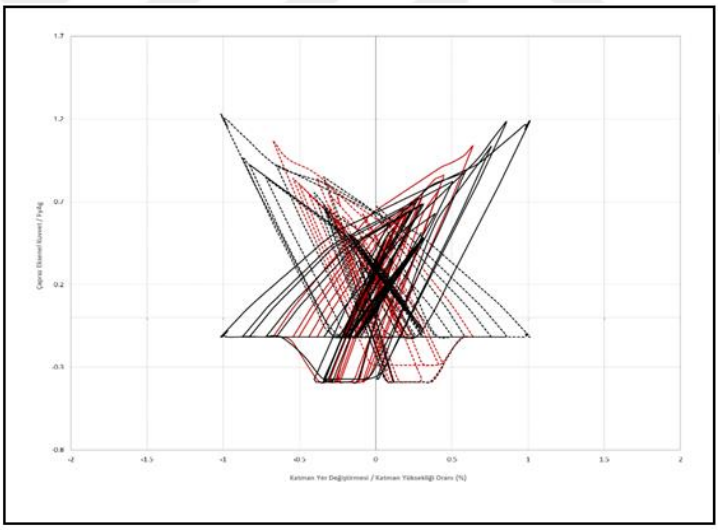
Şekil B1.92: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



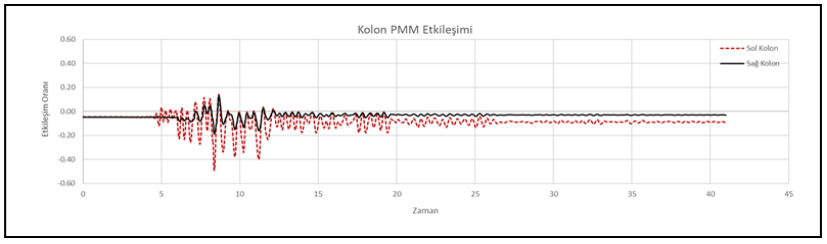
Şekil B1.93: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



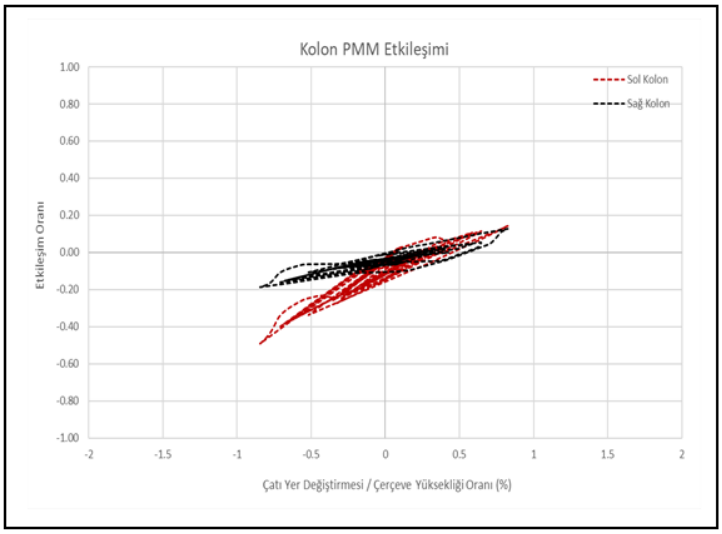
Şekil B1.94: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



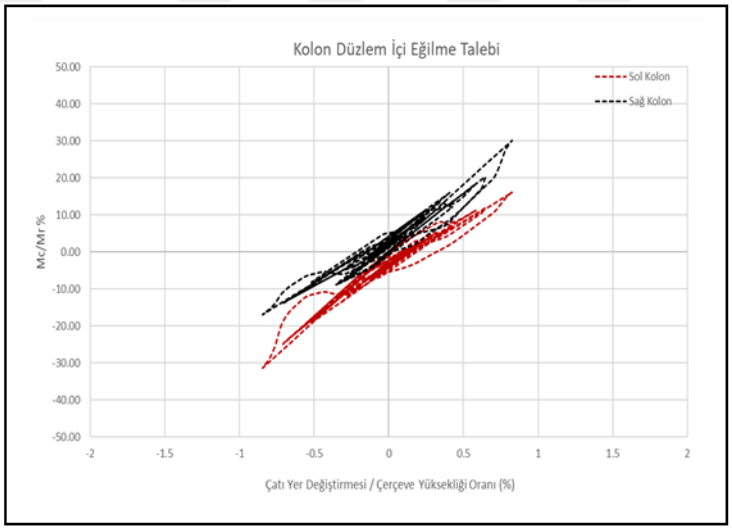
Şekil B1.95: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.96: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

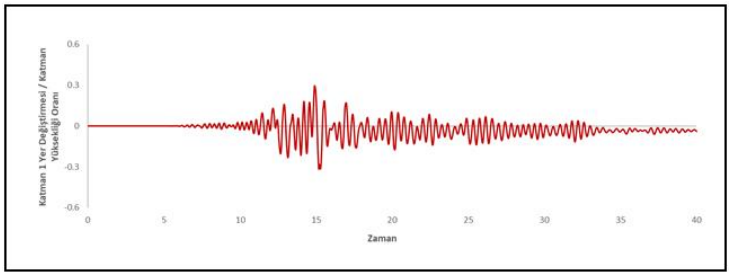


Şekil B1.97: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

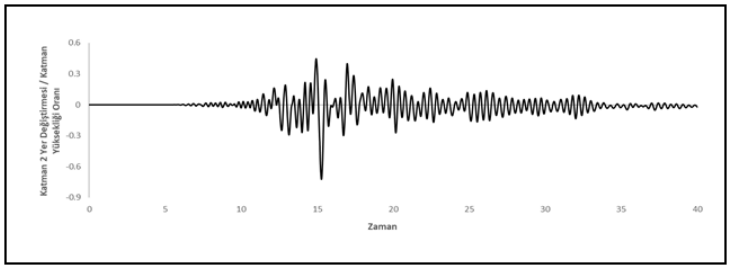


Şekil B1.98: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

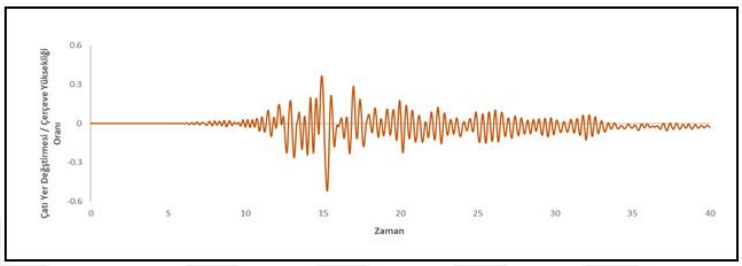
- **<u>RSN 1116-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



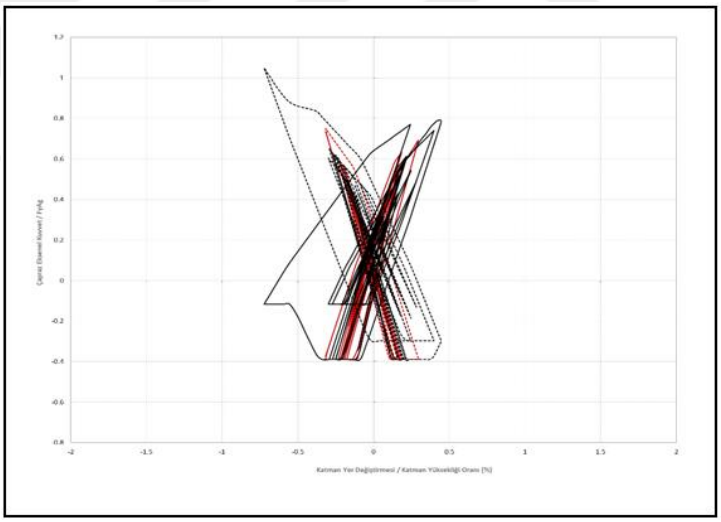
Şekil B1.99: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



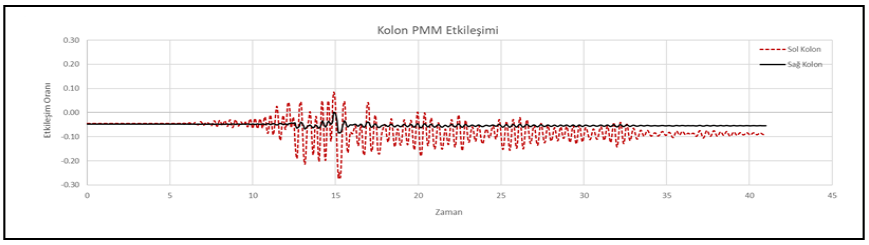
Şekil B1.100: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



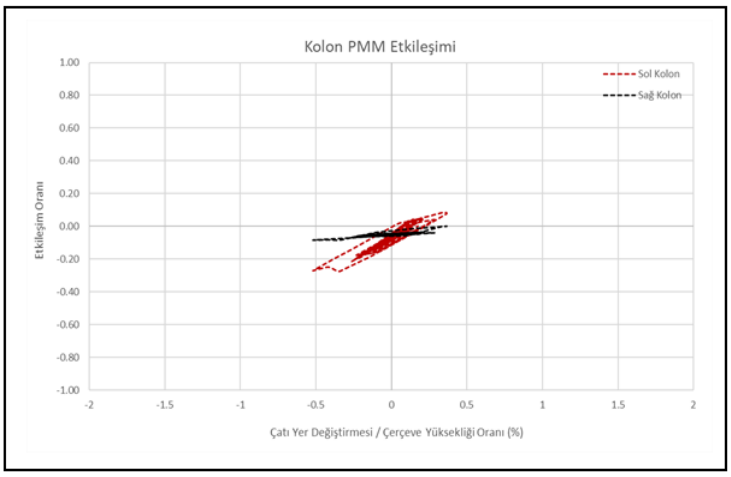
Şekil B1.101: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



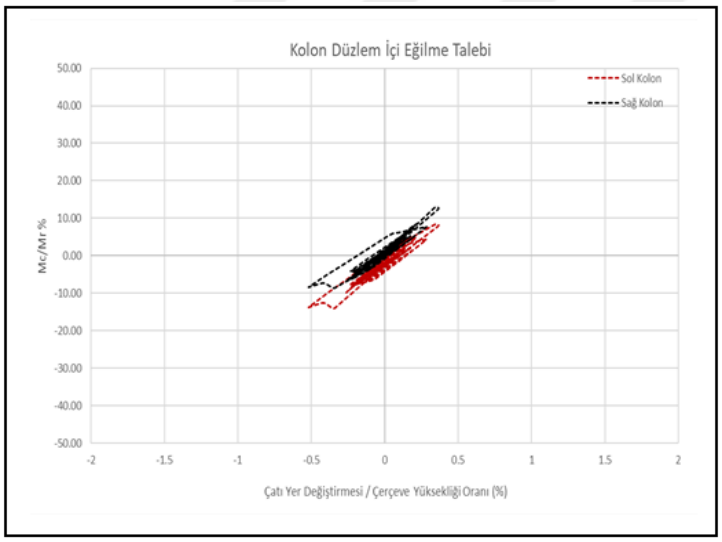
Şekil B1.102: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.103: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

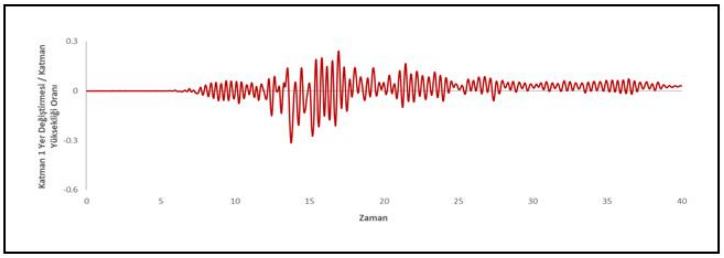


Şekil B1.104: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

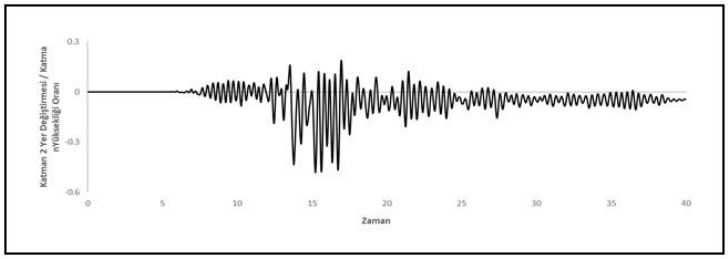


Şekil B1.105: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

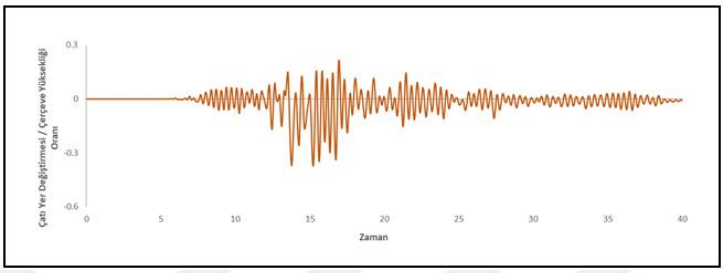
- **<u>RSN 1116-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



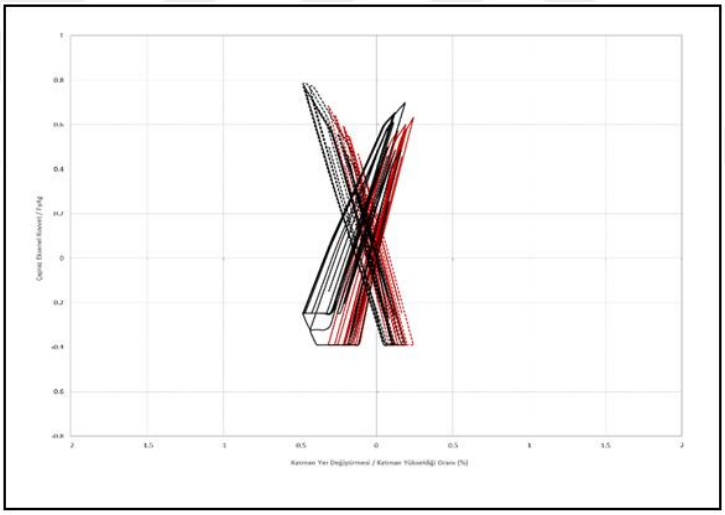
Şekil B1.106: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



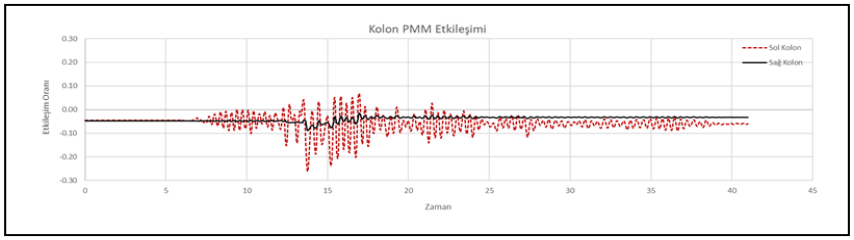
Şekil B1.107: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



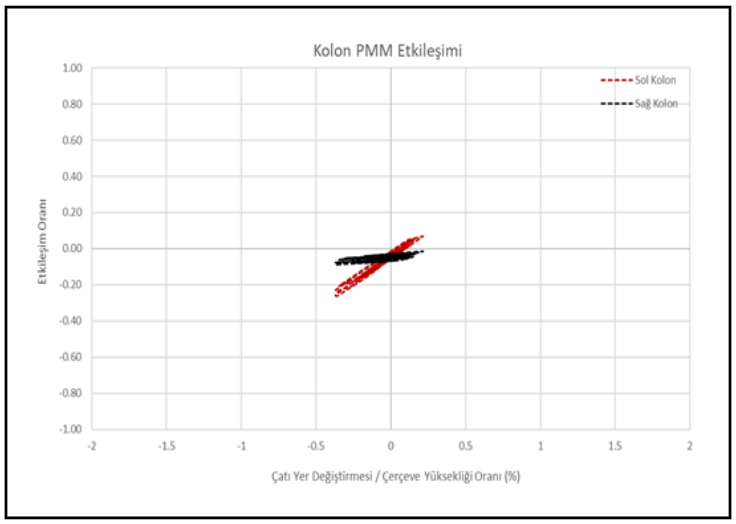
Şekil B1.108: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



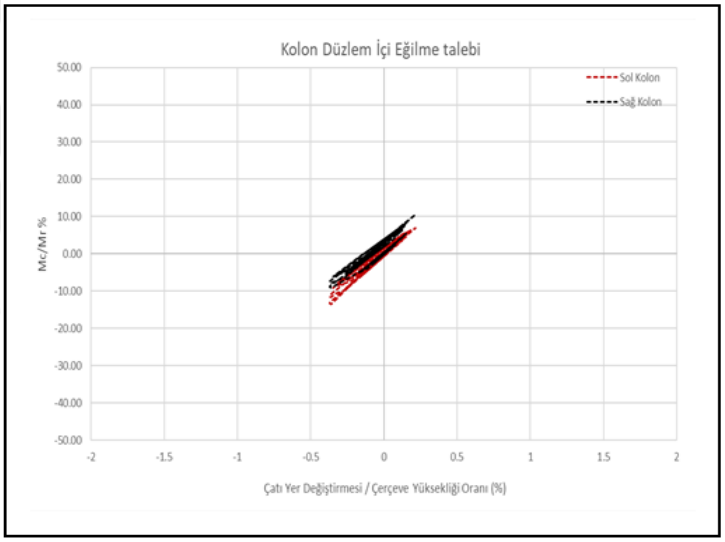
Şekil B1.109: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.110: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

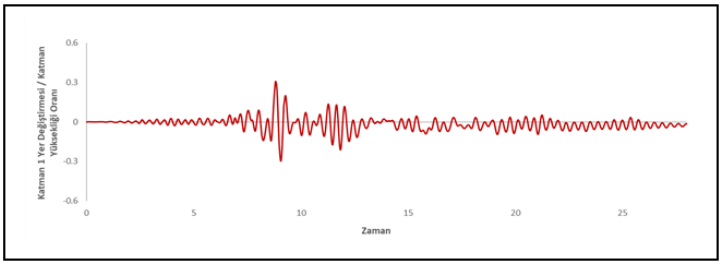


Şekil B1.111: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

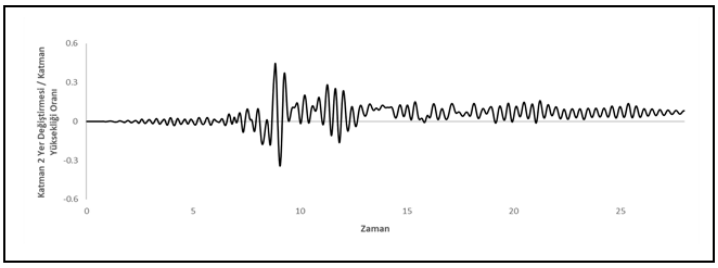


Şekil B1.112: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

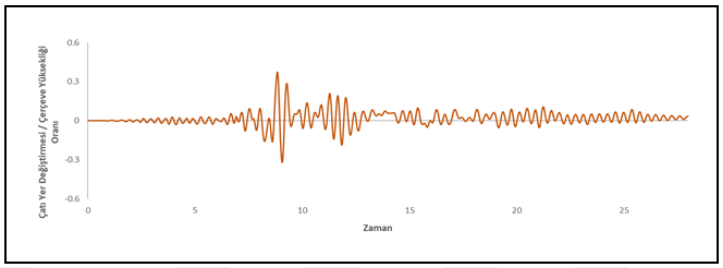
- **<u>RSN 1158-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



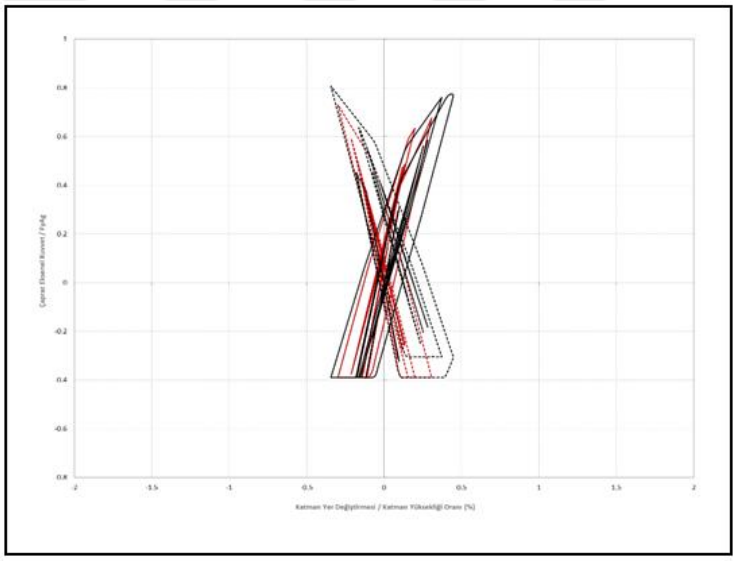
Şekil B1.113: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



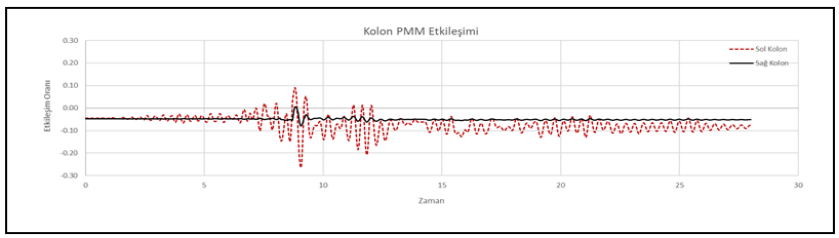
Şekil B1.114: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



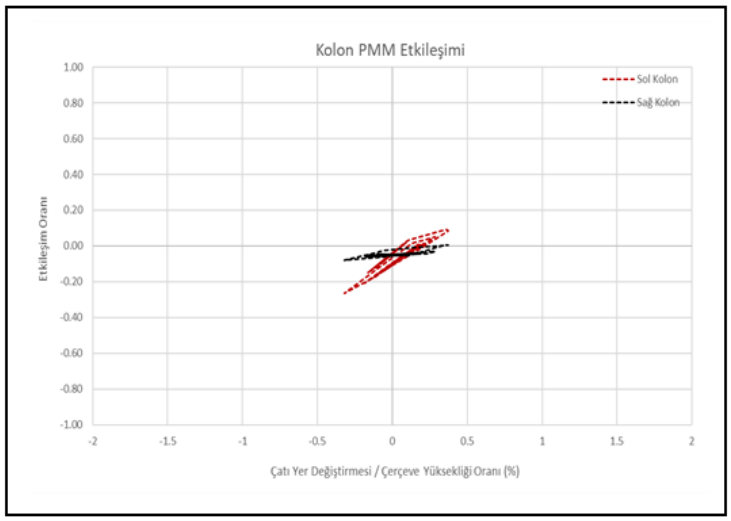
Şekil B1.115: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



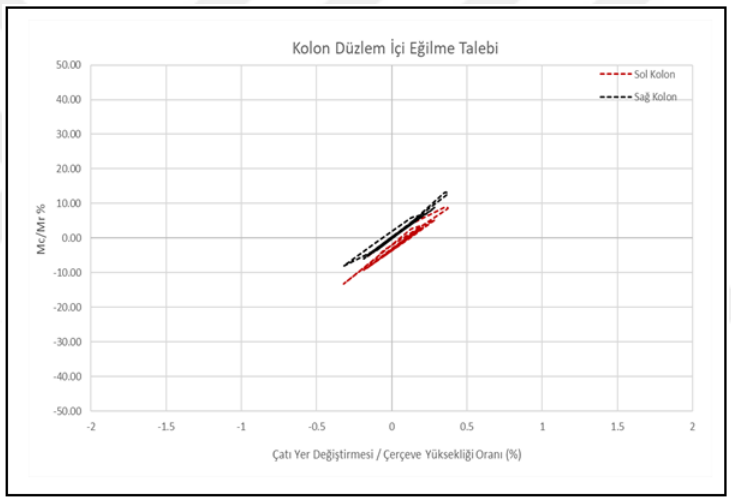
Şekil B1.116: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.117: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

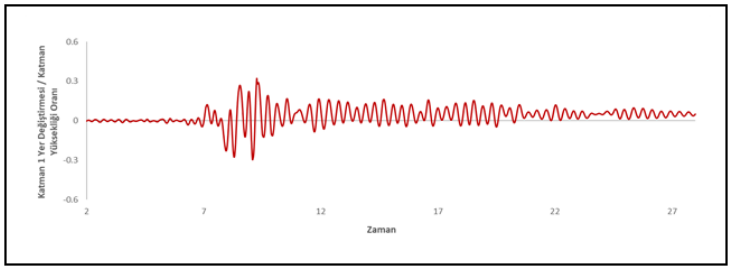


Şekil B1.118: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

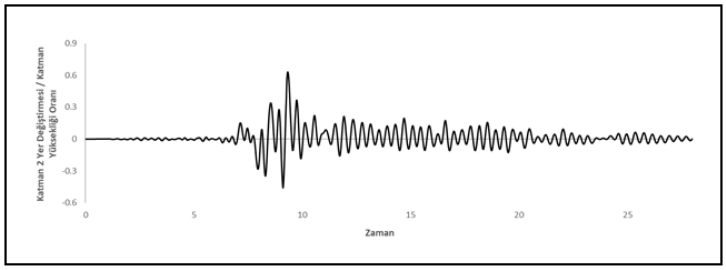


Şekil B1.119: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

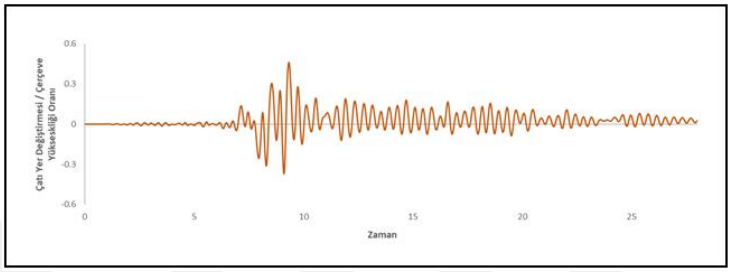
- **<u>RSN 1158-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



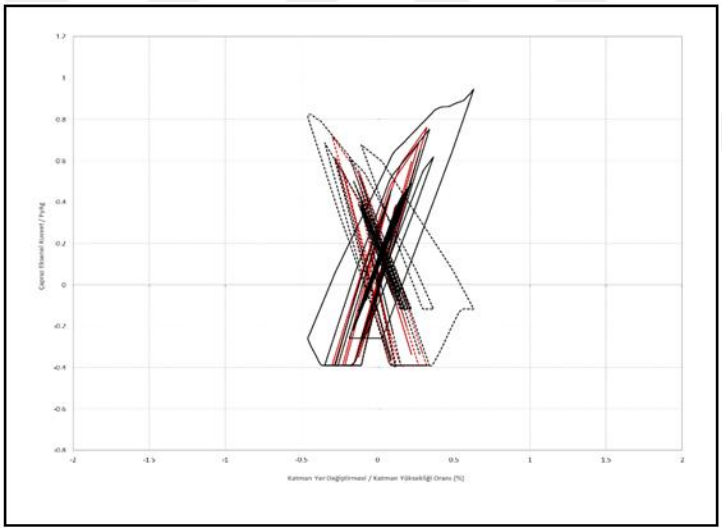
Şekil B1.120: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



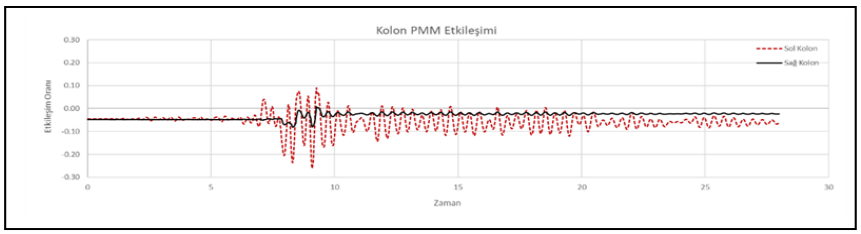
Şekil B1.121: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



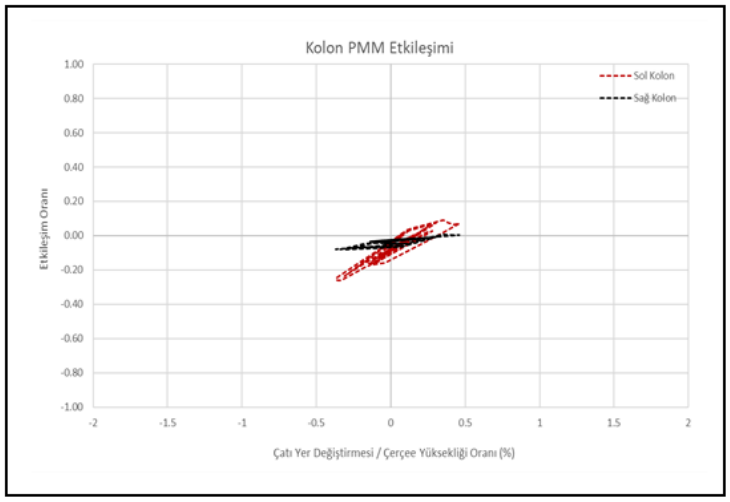
Şekil B1.122: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



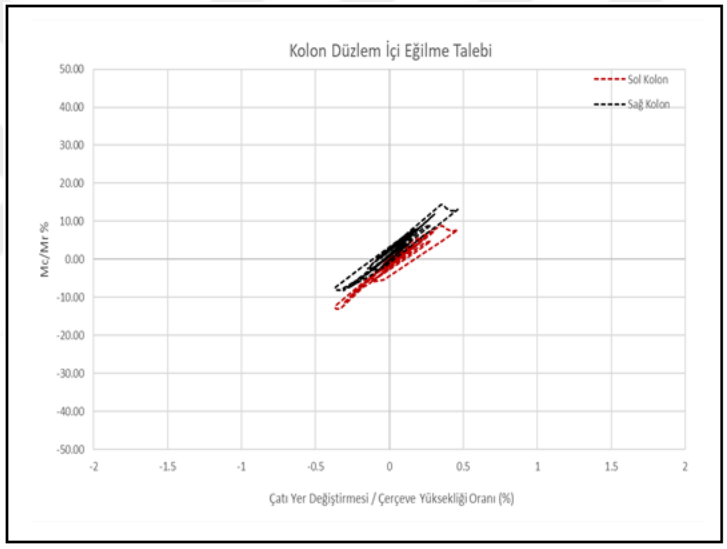
Şekil B1.123: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.124: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

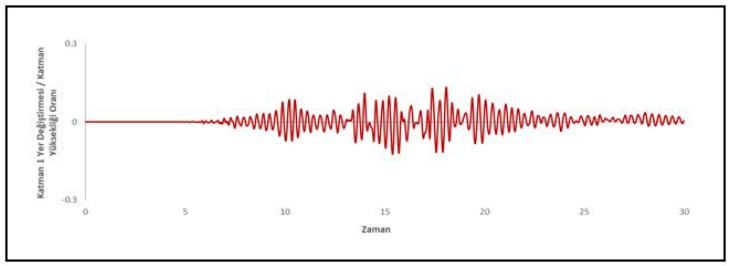


Şekil B1.125: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

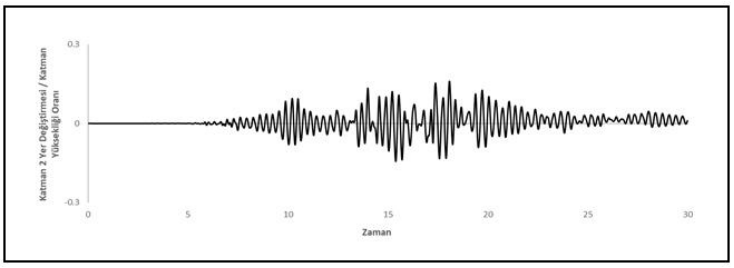


Şekil B1.126: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

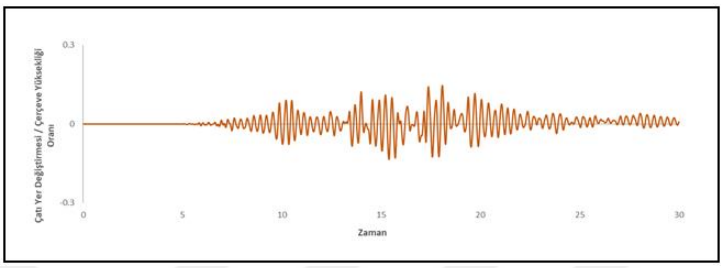
- **<u>RSN 1148-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



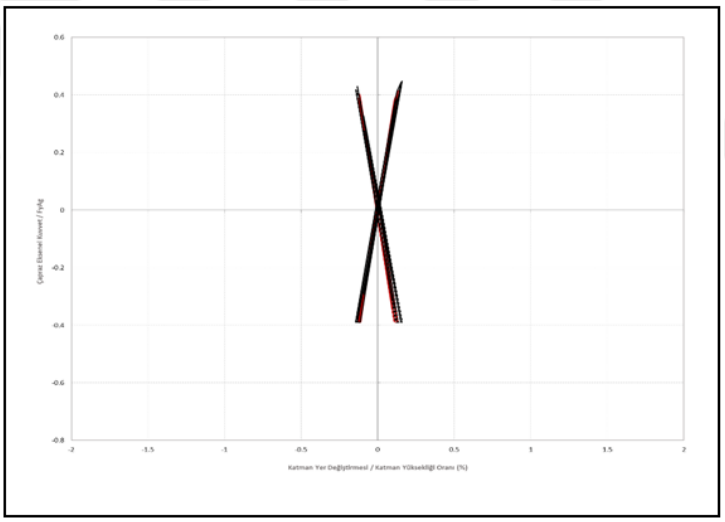
Şekil B1.127: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



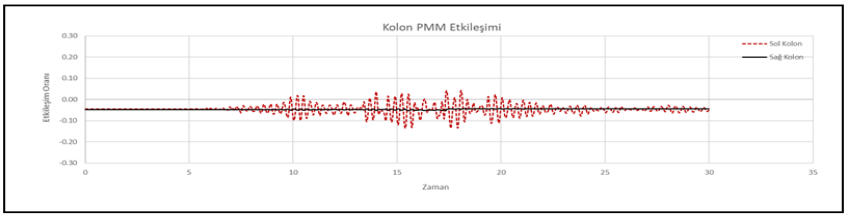
Şekil B1.128: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



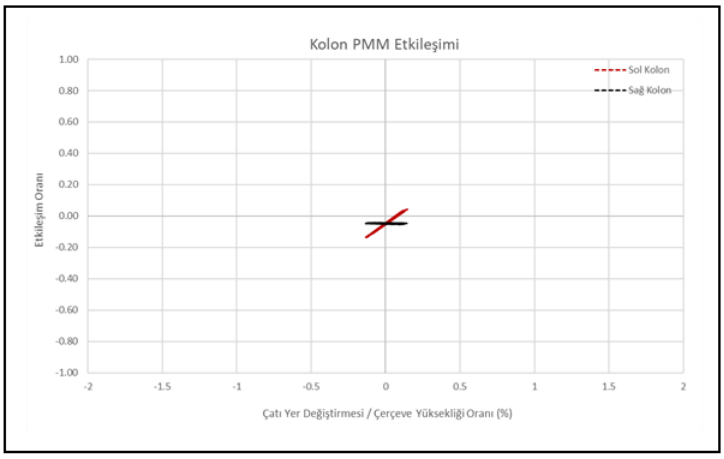
Şekil B1.129: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



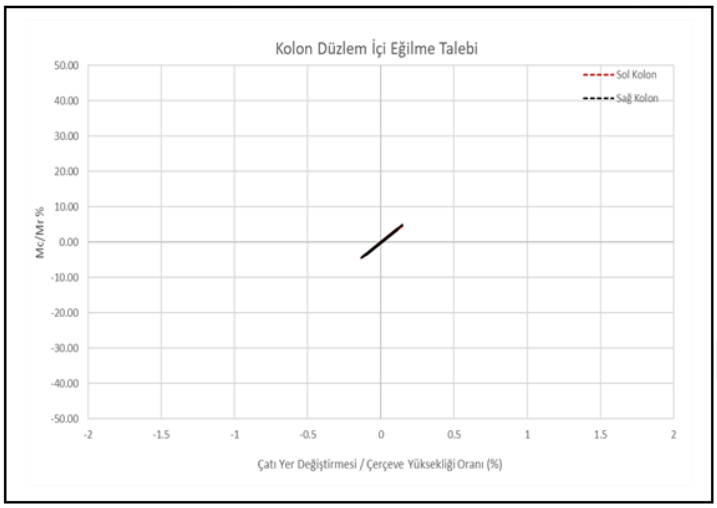
Şekil B1.130: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.131: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

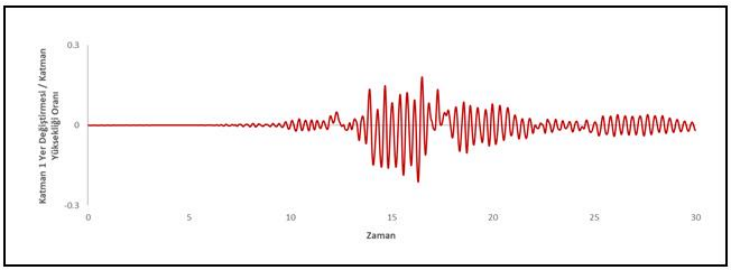


Şekil B1.132: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

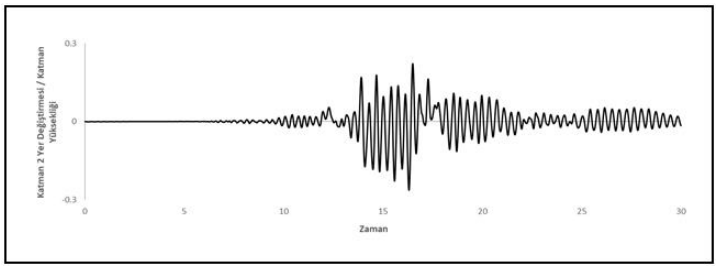


Şekil B1.133: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

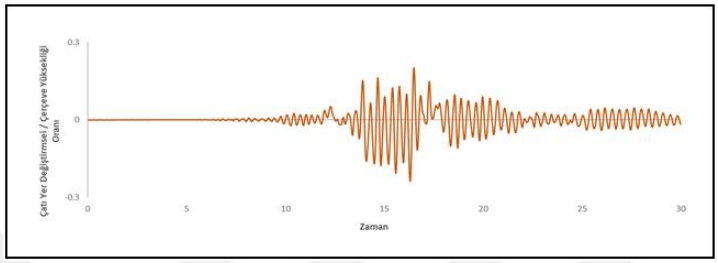
- **<u>RSN 1148-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



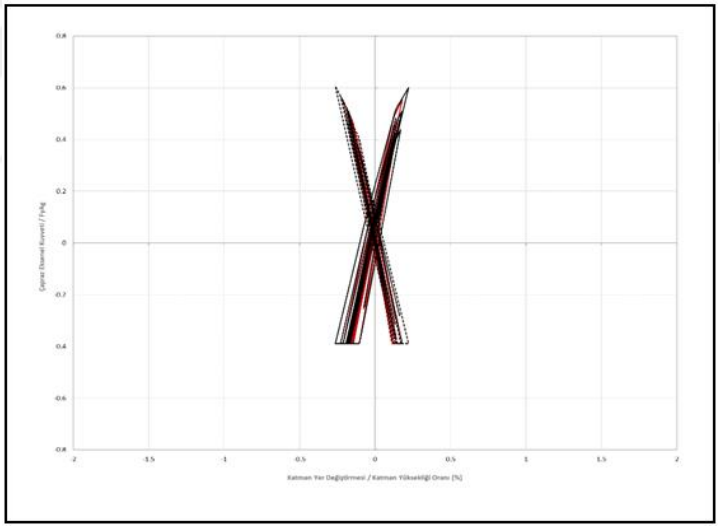
Şekil B1.134: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



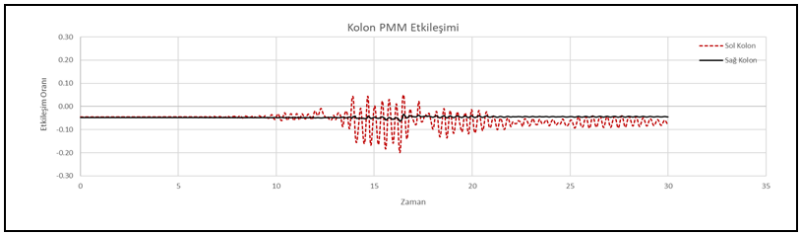
Şekil B1.135: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



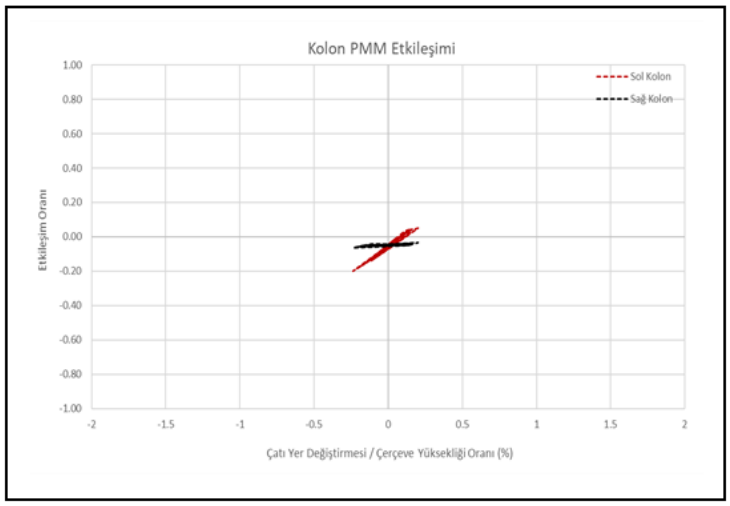
Şekil B1.136: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



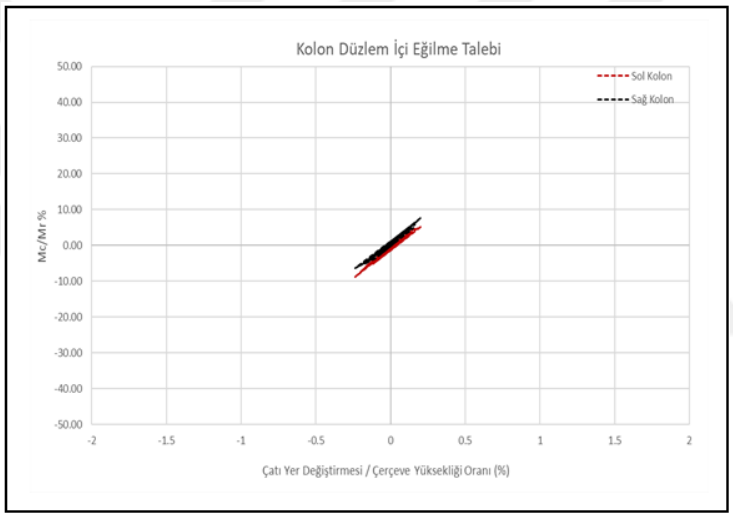
Şekil B1.137: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.138: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

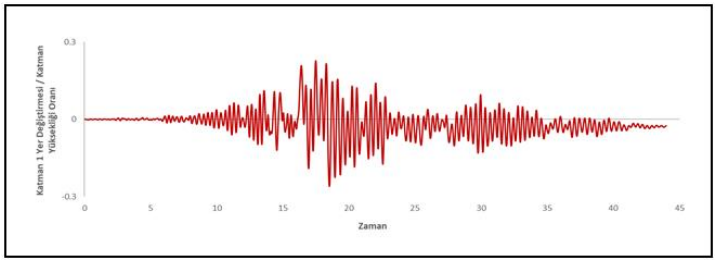


Şekil B1.139: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

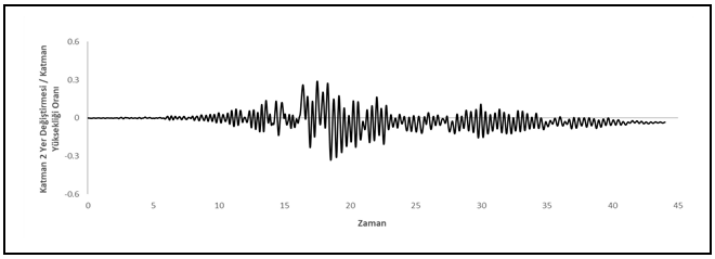


Şekil B1.140: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

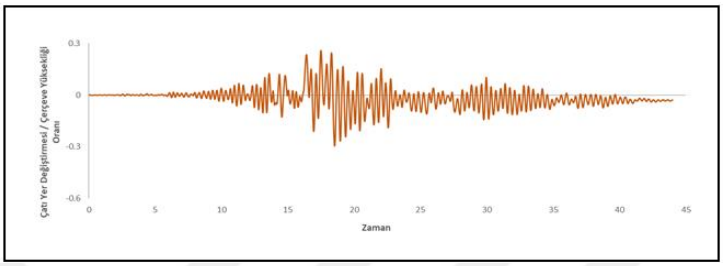
- **<u>RSN 900-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



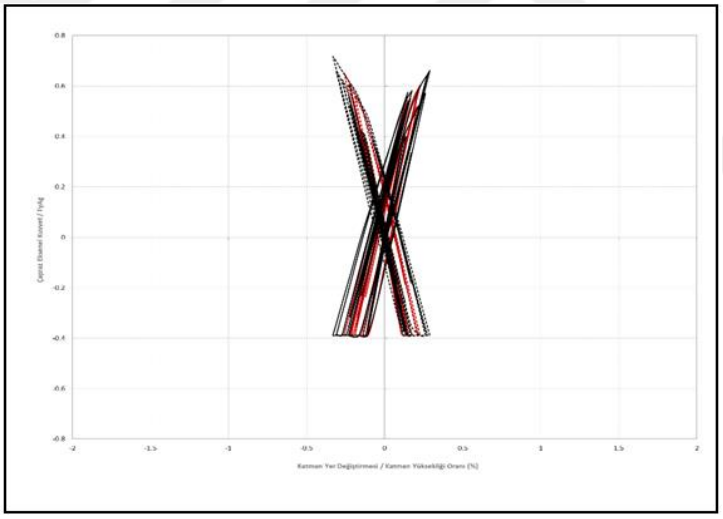
Şekil B1.141: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



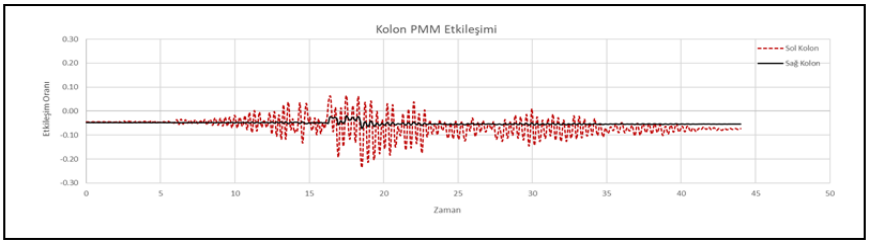
Şekil B1.142: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



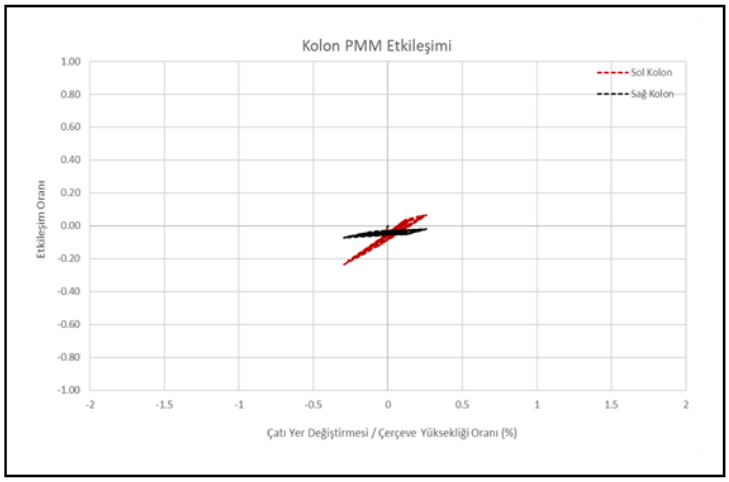
Şekil B1.143: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



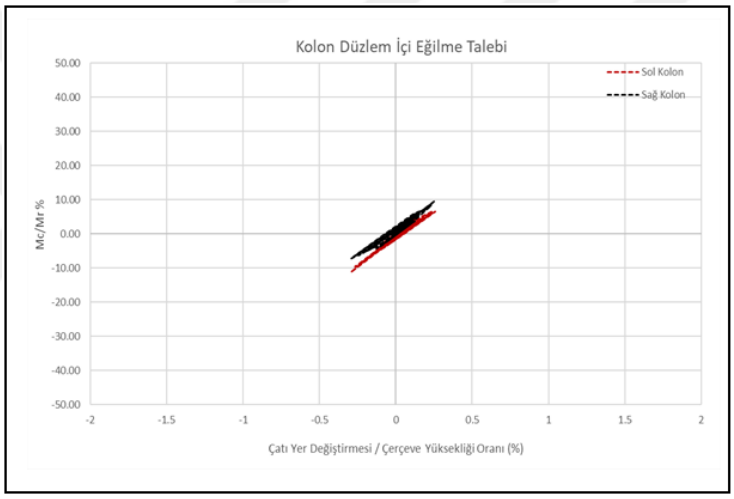
Şekil B1.144: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.145: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

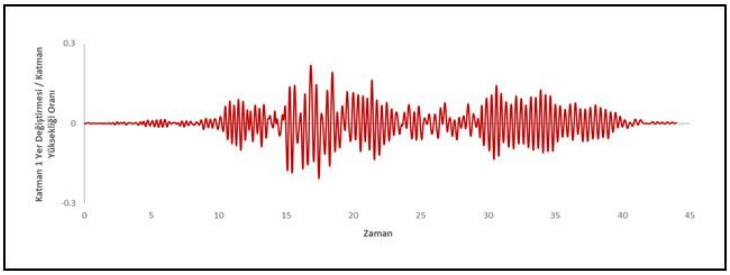


Şekil B1.146: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

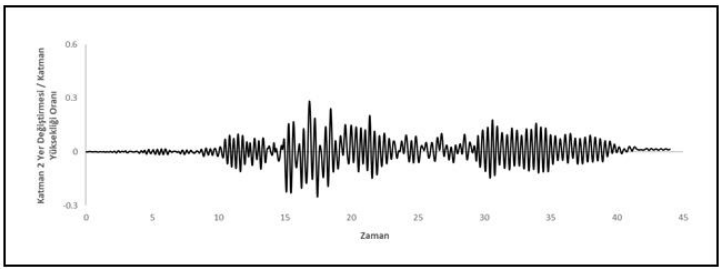


Şekil B1.147: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

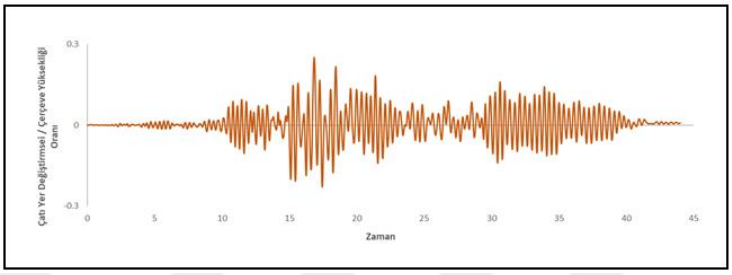
- **<u>RSN 900-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



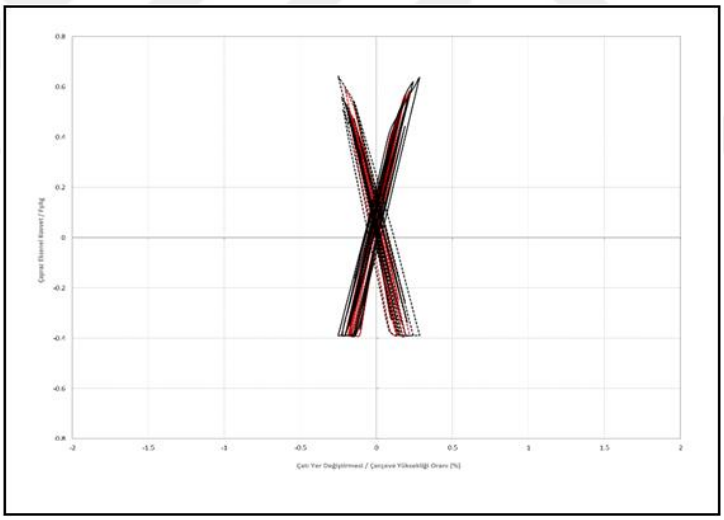
Şekil B1.148: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



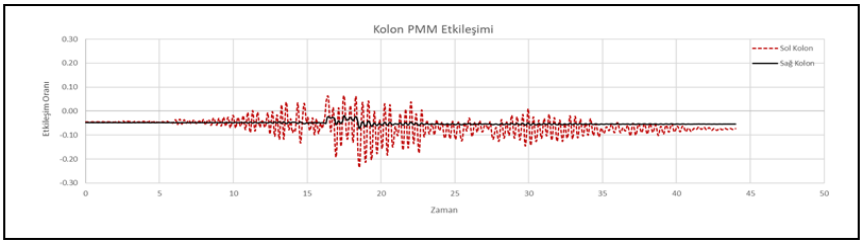
Şekil B1.149: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



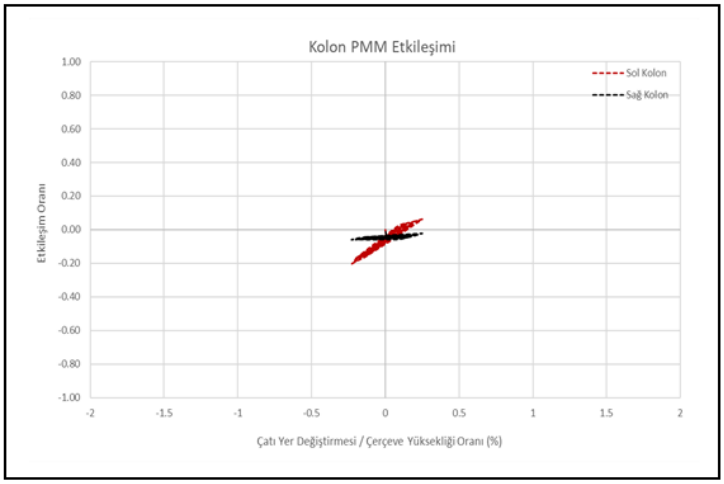
Şekil B1.150: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



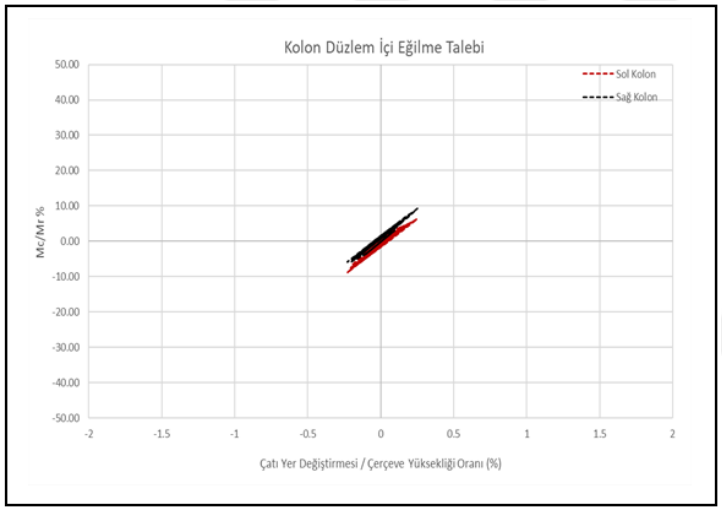
Şekil B1.151: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.152: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

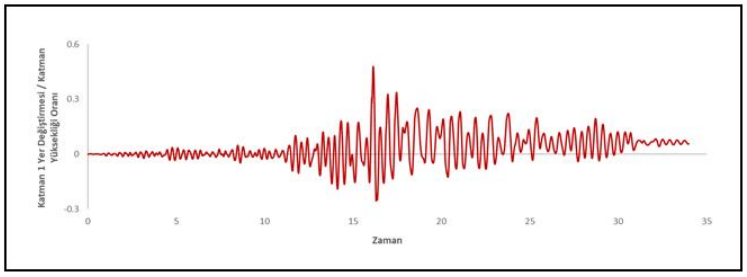


Şekil B1.153: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

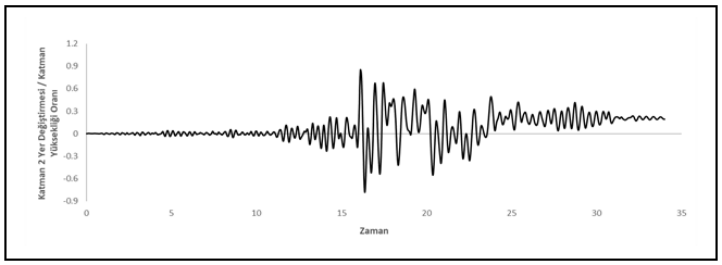


Şekil B1.154: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

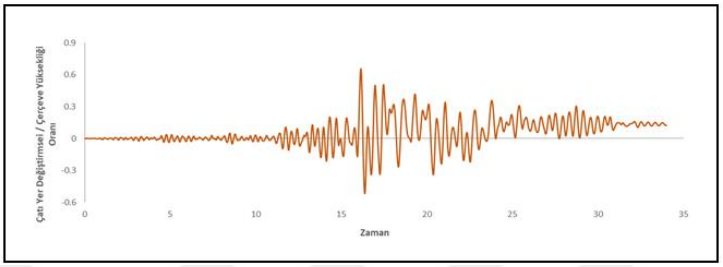
- **<u>RSN 848-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



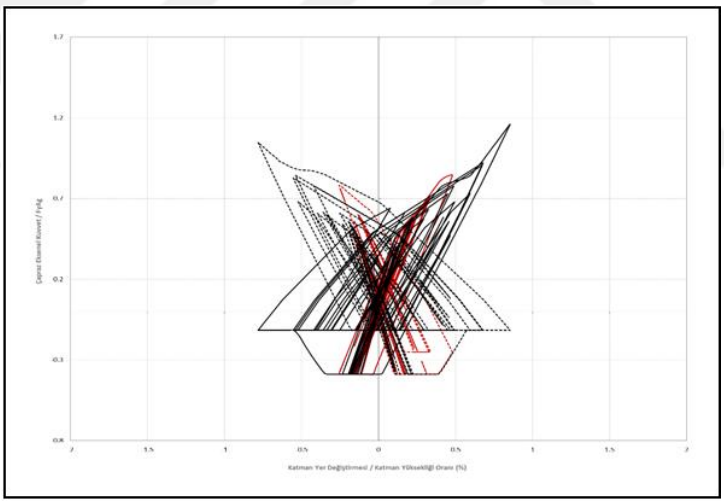
Şekil B1.155: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



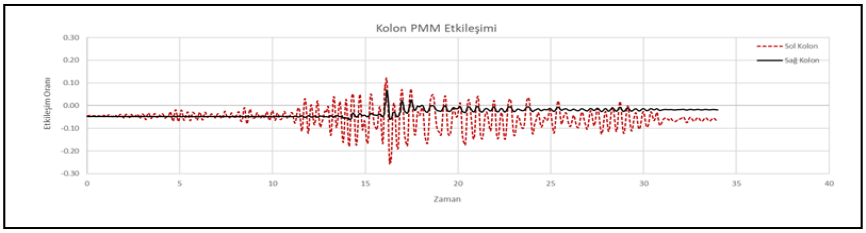
Şekil B1.156: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



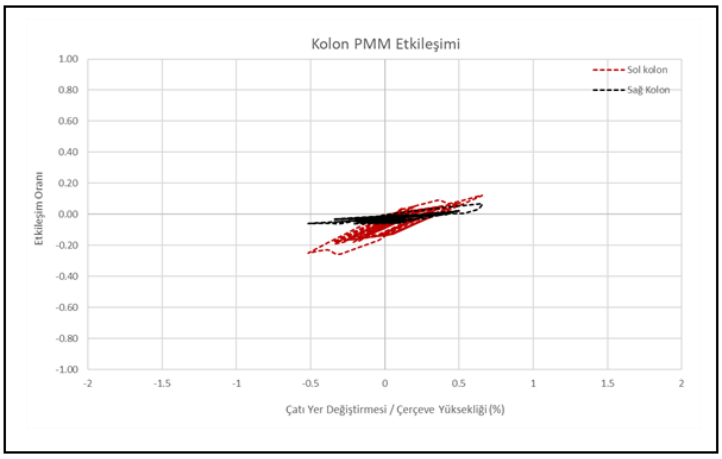
Şekil B1.157: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



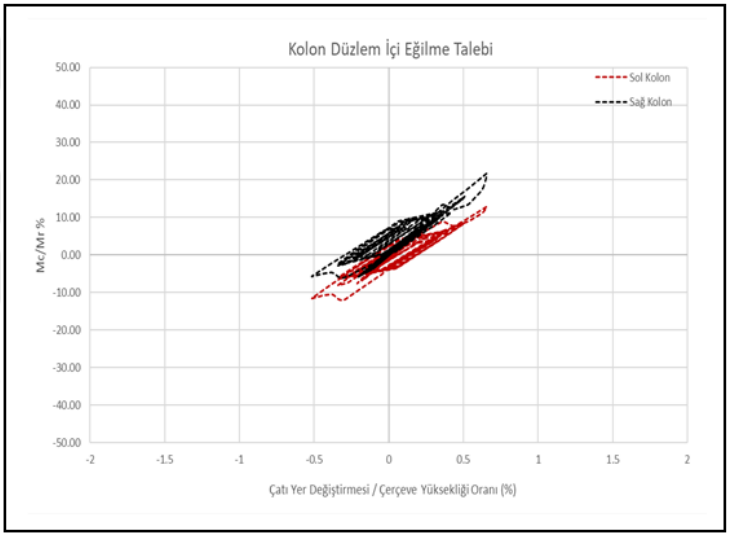
Şekil B1.158: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.159: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

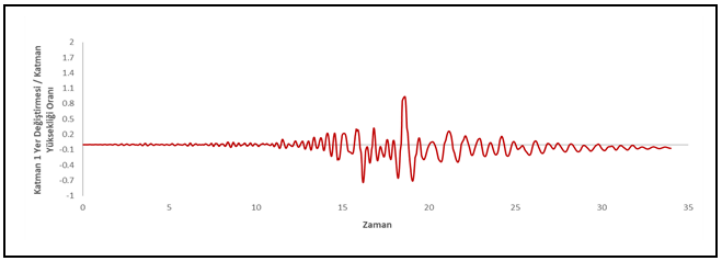


Şekil B1.160: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

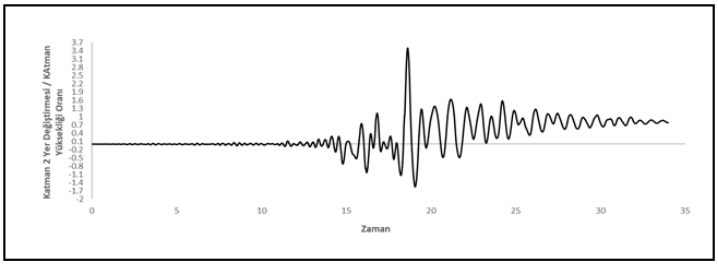


Şekil B1.161: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

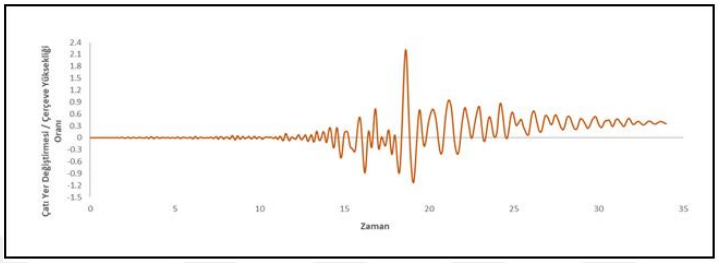
- **<u>RSN 848-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



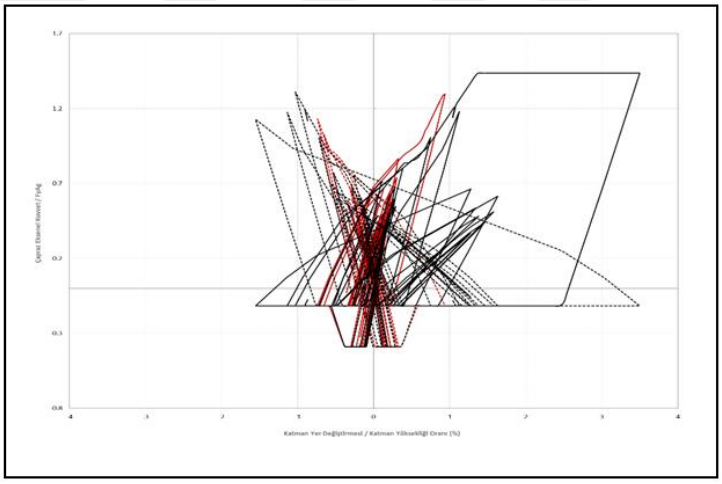
Şekil B1.162: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



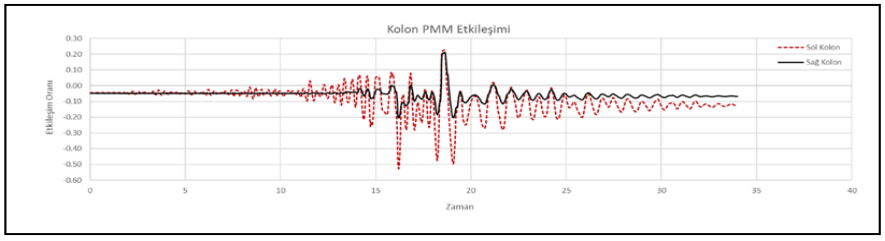
Şekil B1.163: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



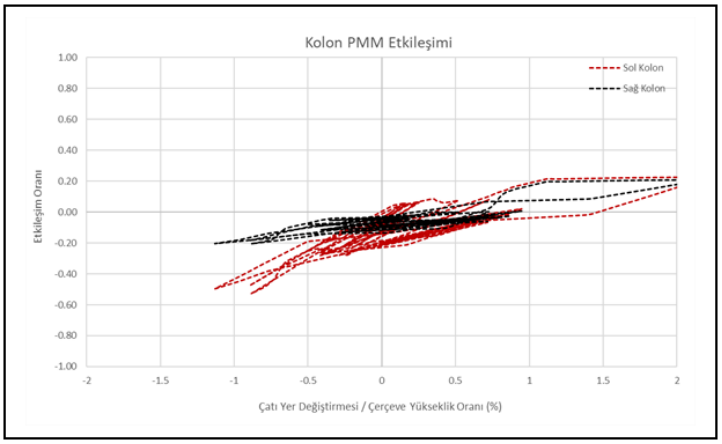
Şekil B1.164: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



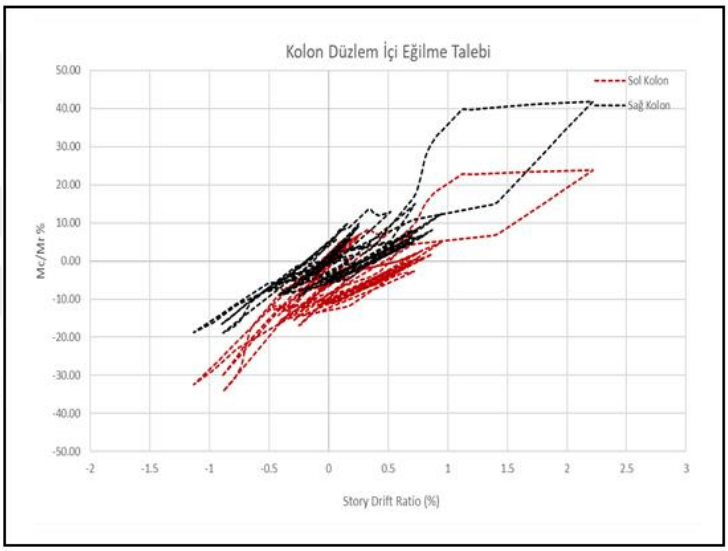
Şekil B1.165: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.166: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

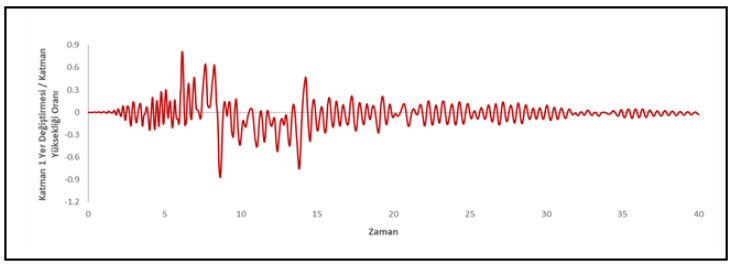


Şekil B1.167: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

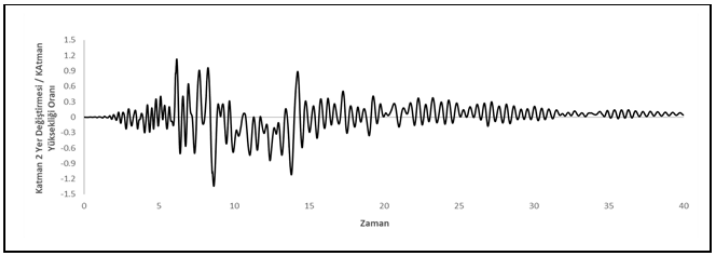


Şekil B1.168: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

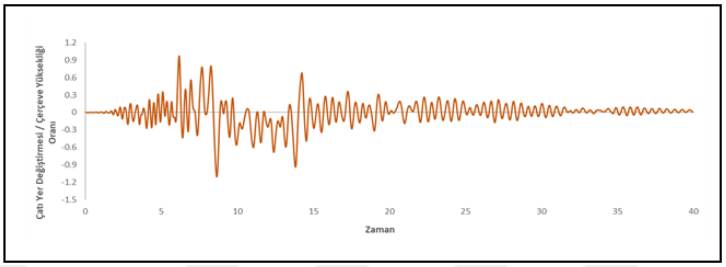
- **<u>RSN 752-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



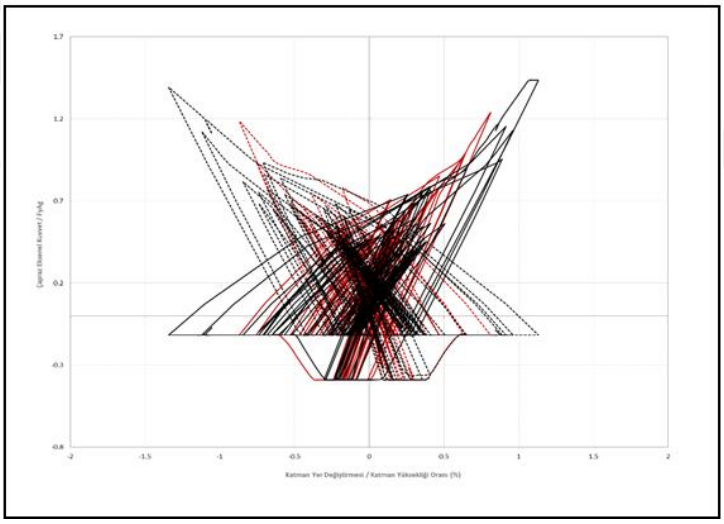
Şekil B1.169: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



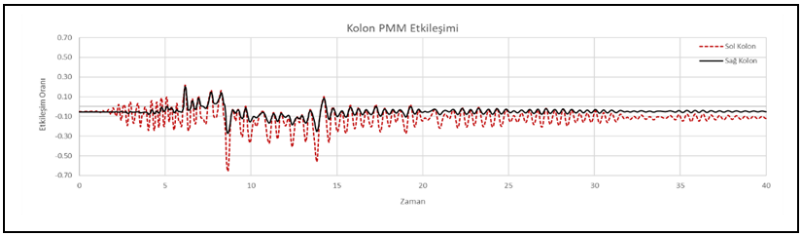
Şekil B1.170: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



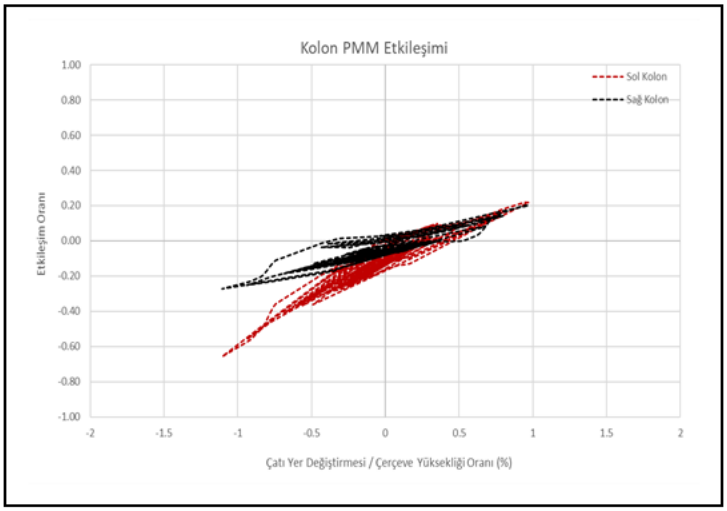
Şekil B1.171: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



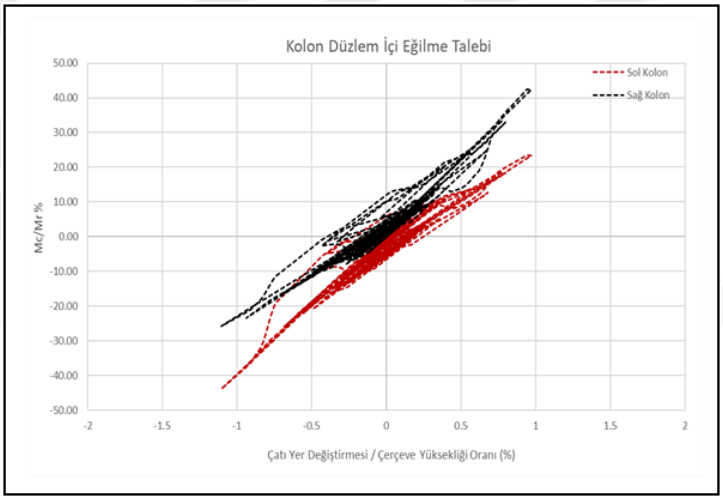
Şekil B1.172: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.173: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

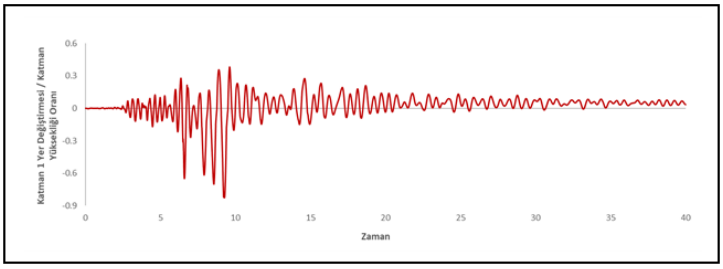


Şekil B1.174: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

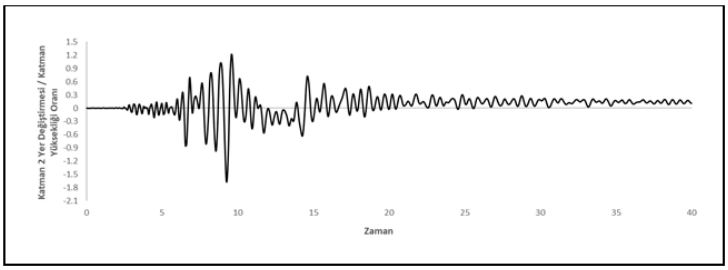


Şekil B1.175: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

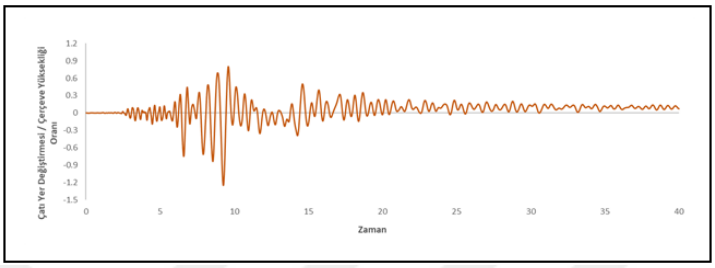
- **<u>RSN 752-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



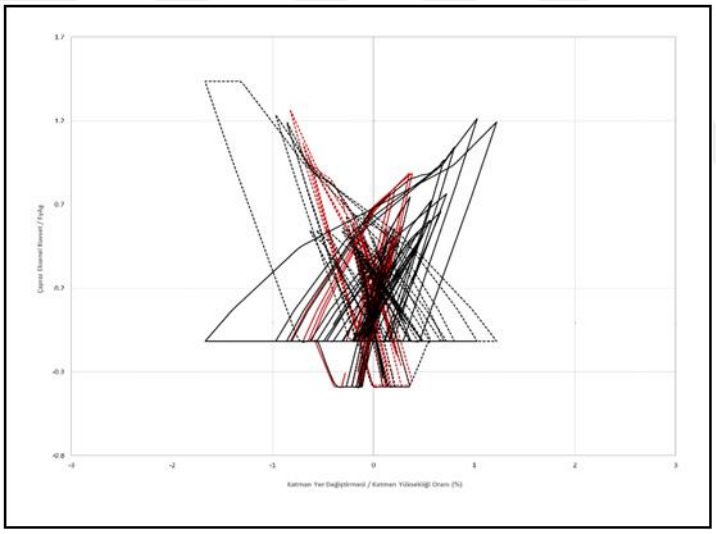
Şekil B1.176: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



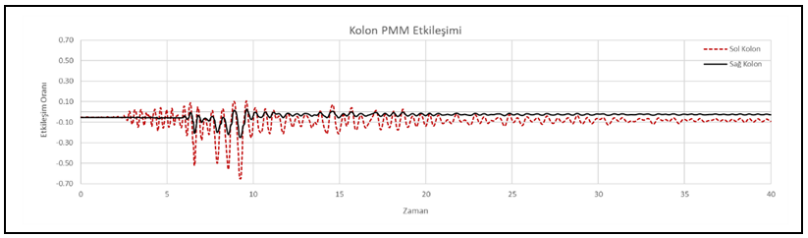
Şekil B1.177: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



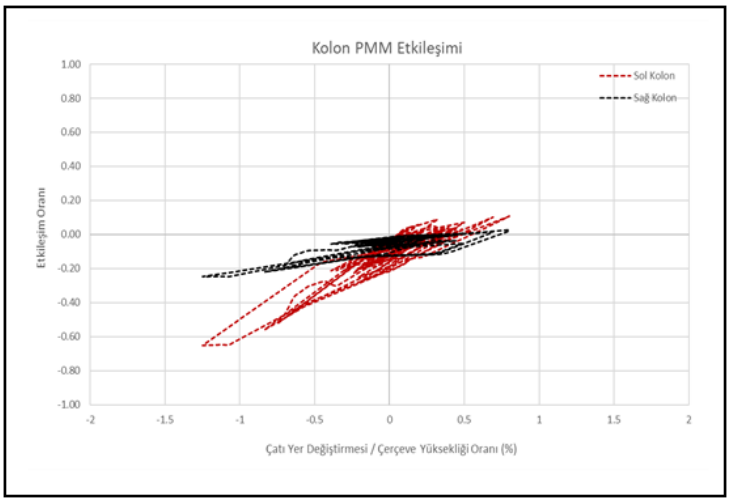
Şekil B1.178: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



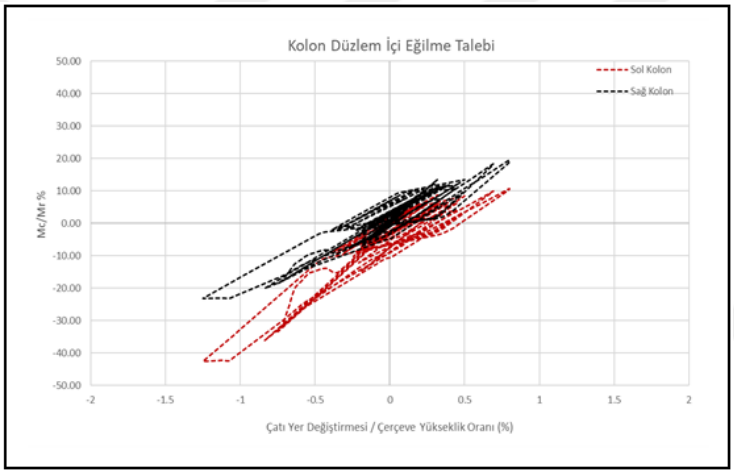
Şekil B1.179: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.180: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

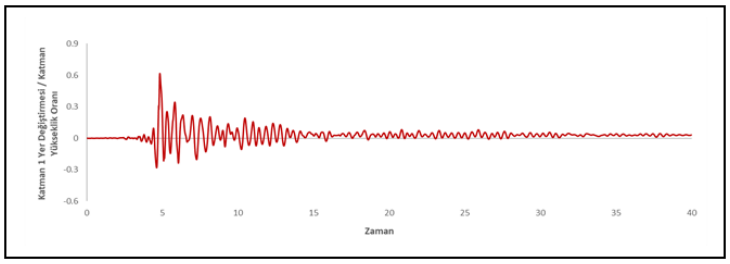


Şekil B1.181: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

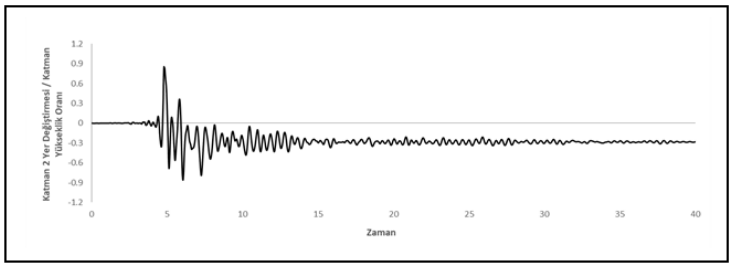


Şekil B1.182: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

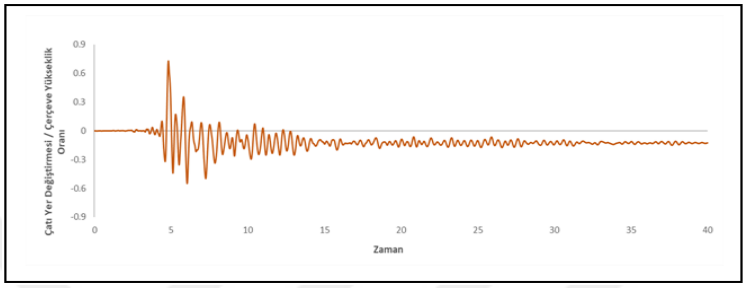
- **<u>RSN 767-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



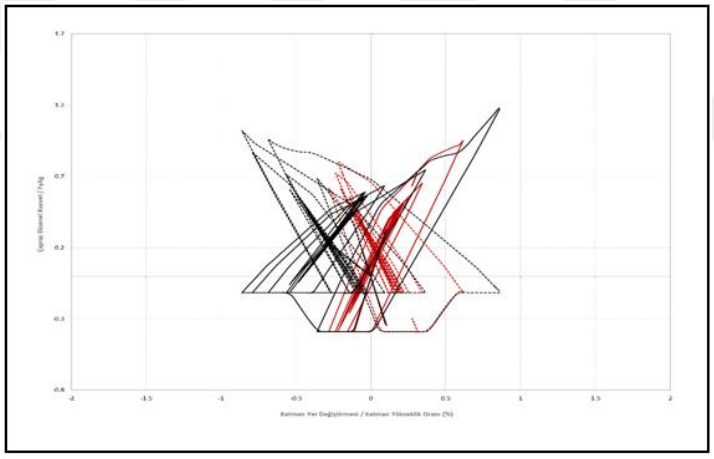
Şekil B1.183: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



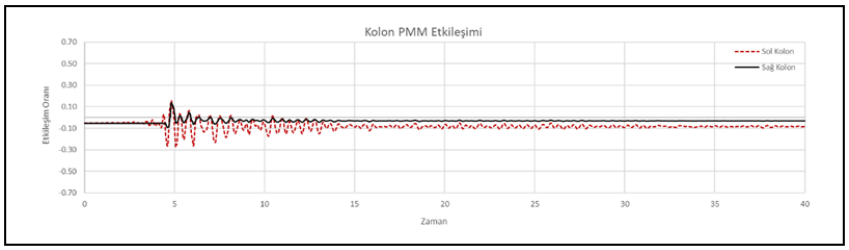
Şekil B1.184: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



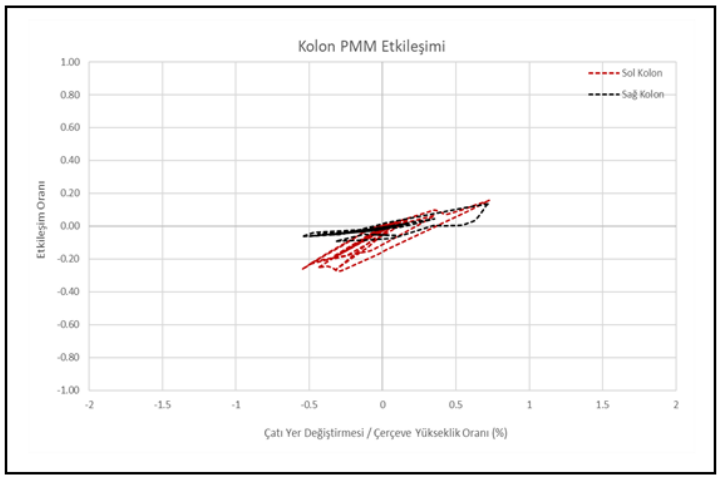
Şekil B1.185: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



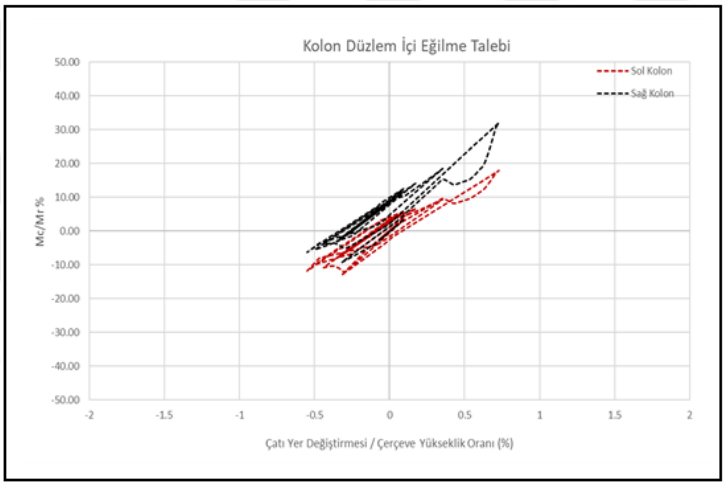
Şekil B1.186: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.187: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

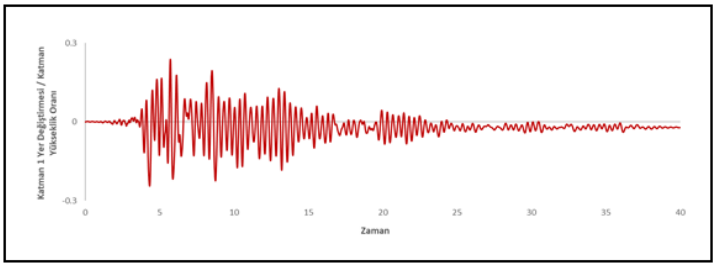


Şekil B1.188: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

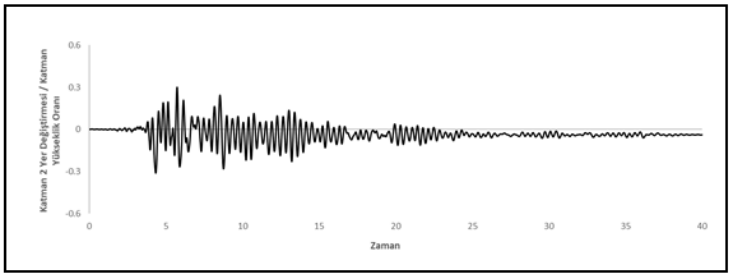


Şekil B1.189: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

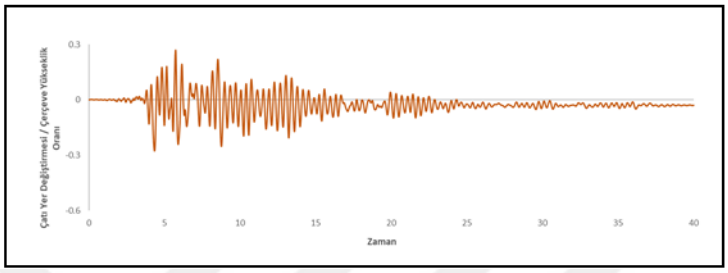
- **<u>RSN 767-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



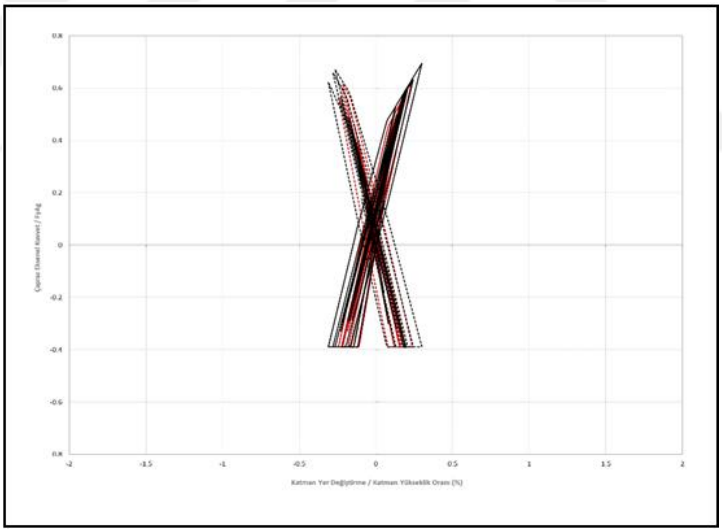
Şekil B1.190: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



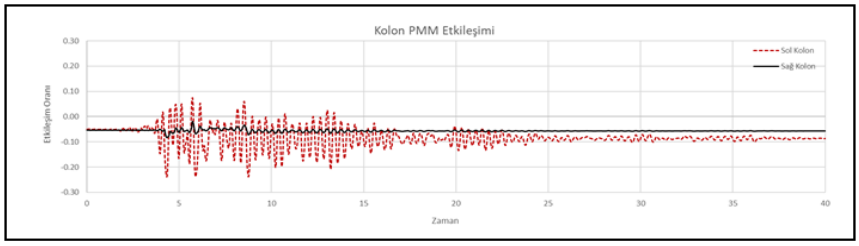
Şekil B1.191: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



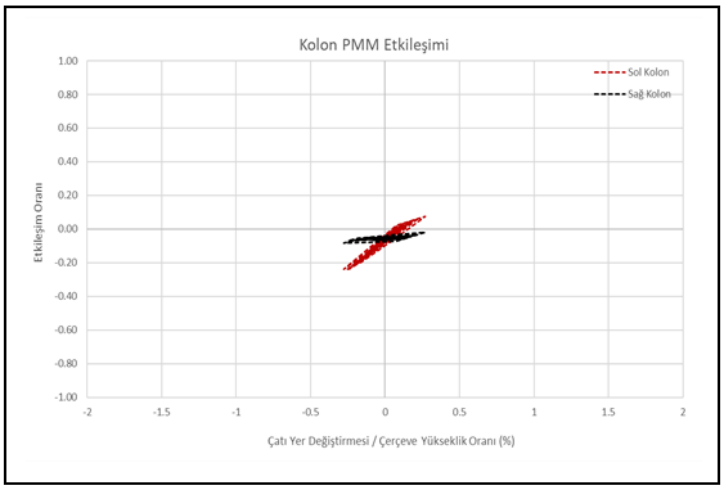
Şekil B1.192: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



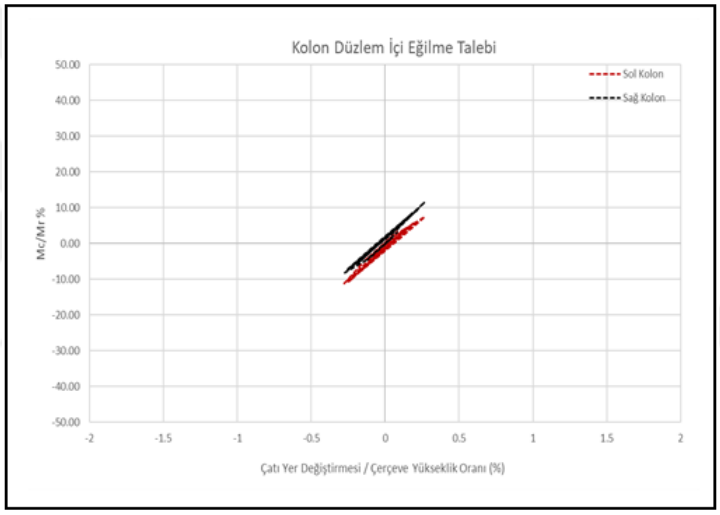
Şekil B1.193: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.194: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

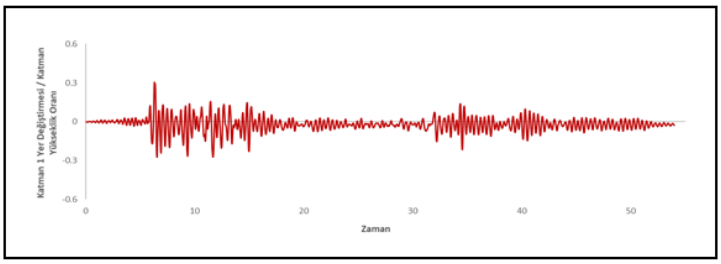


Şekil B1.195: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

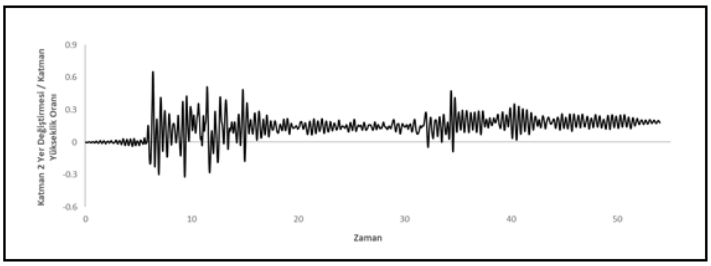


Şekil B1.196: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

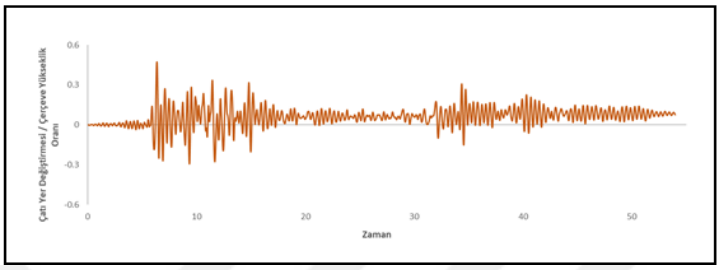
- **<u>RSN 1633-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



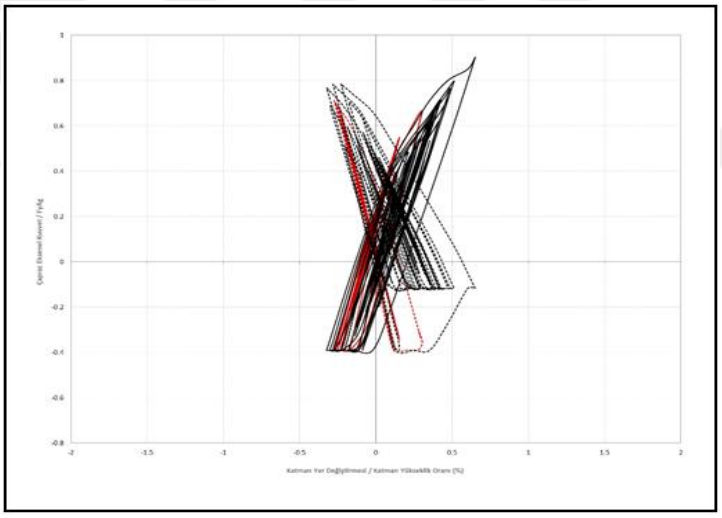
Şekil B1.197: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



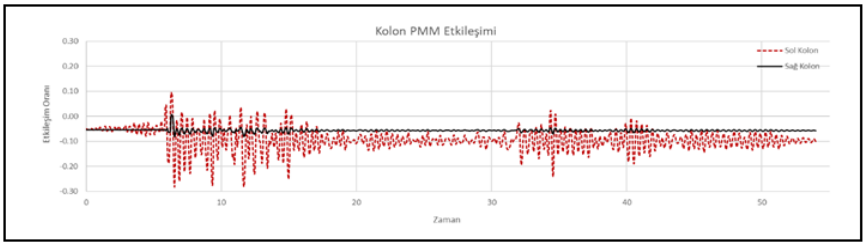
Şekil B1.198: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



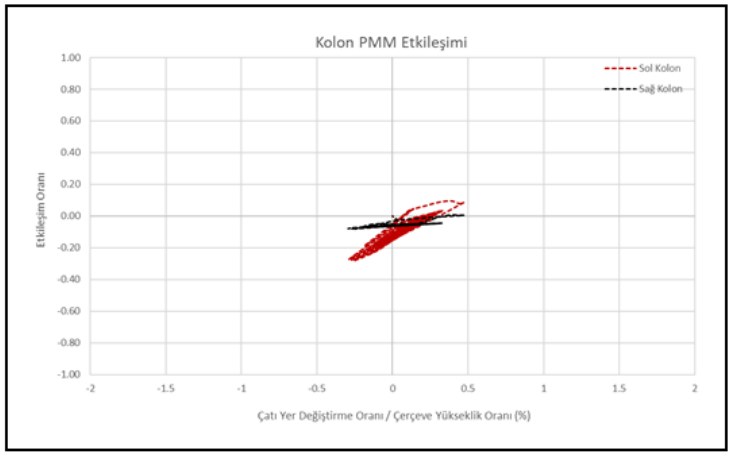
Şekil B1.199: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



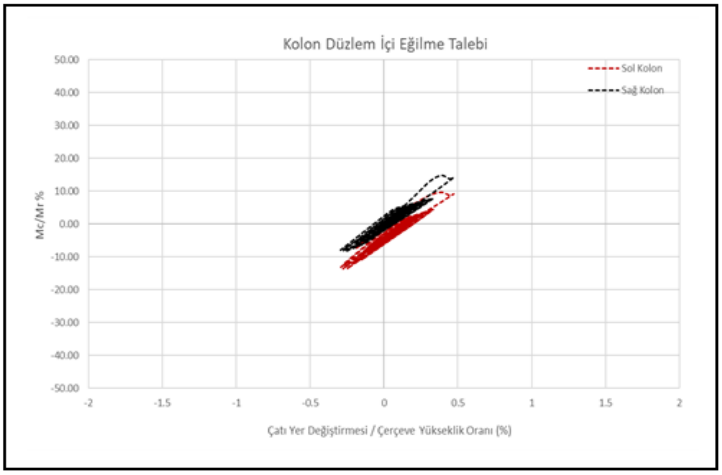
Şekil B1.200: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.201: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

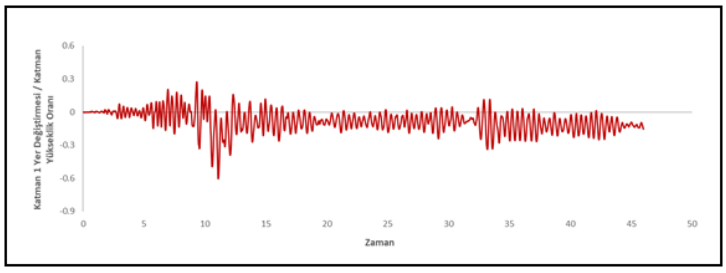


Şekil B1.202: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

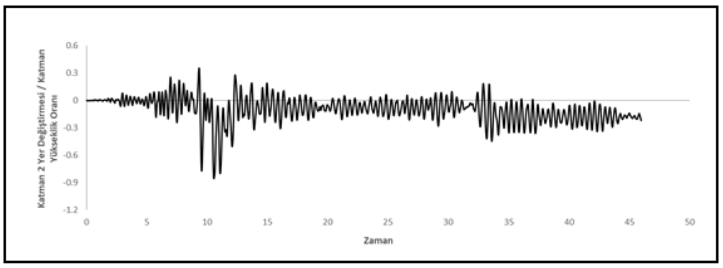


Şekil B1.203: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

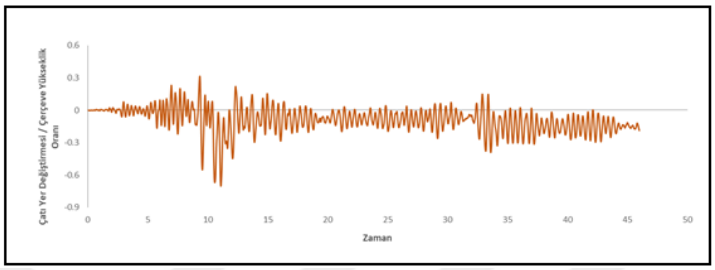
- **<u>RSN 1633-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



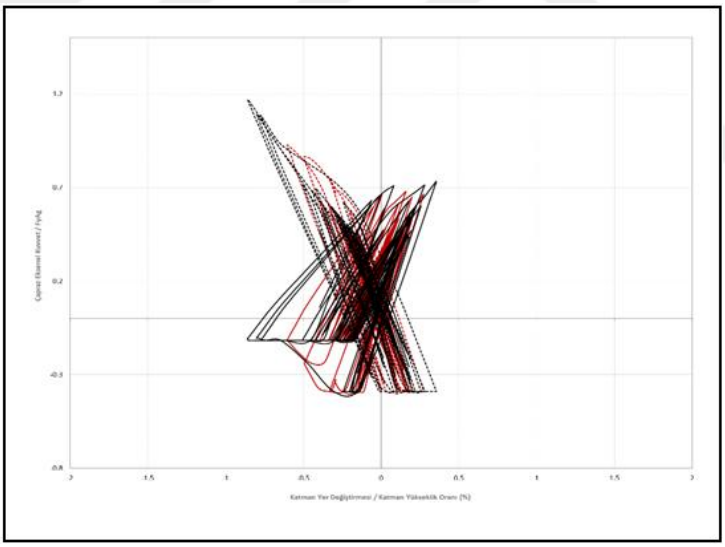
Şekil B1.204: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



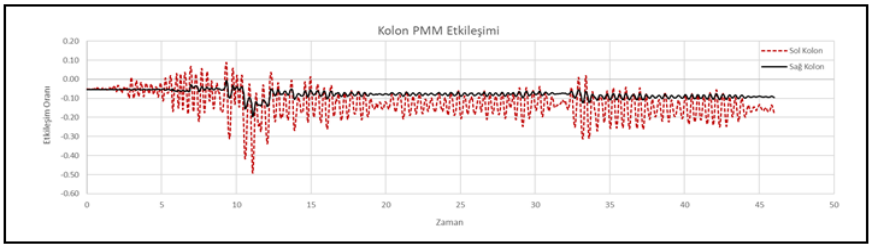
Şekil B1.205: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



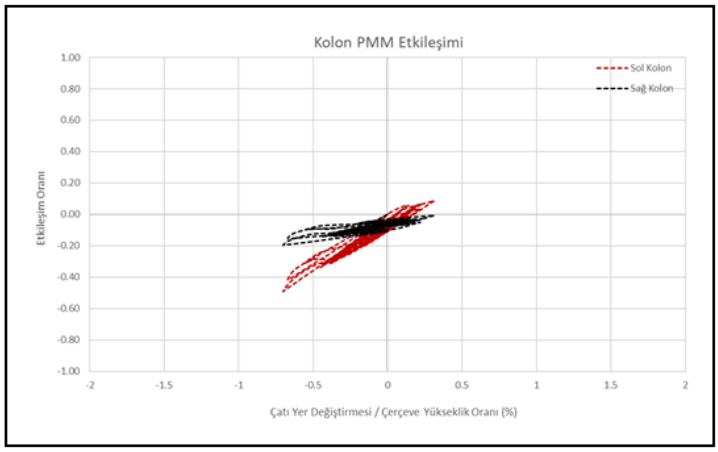
Şekil B1.206: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



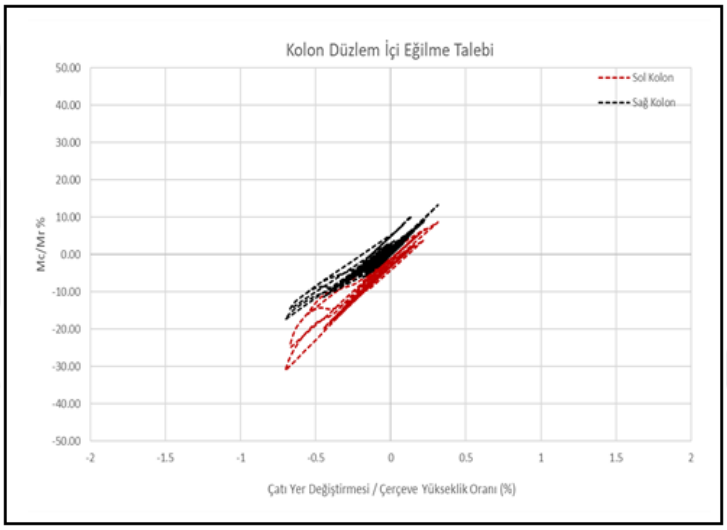
Şekil B1.207: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.208: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

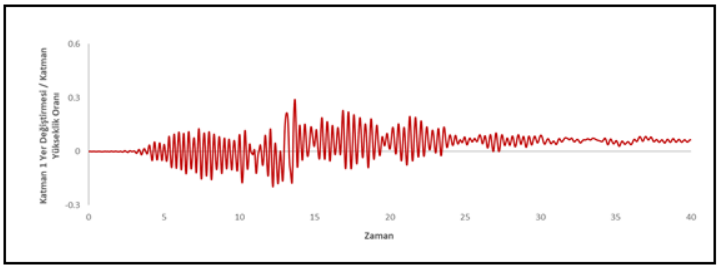


Şekil B1.209: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

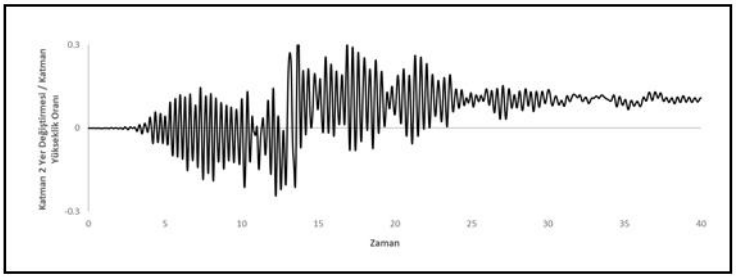


Şekil B1.210: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

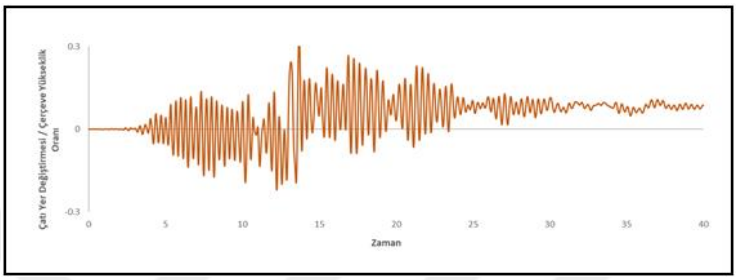
- **<u>RSN 721-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



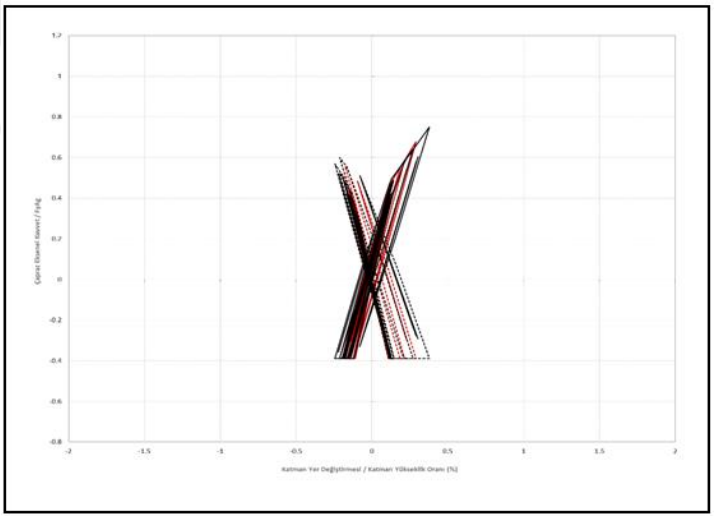
Şekil B1.211: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



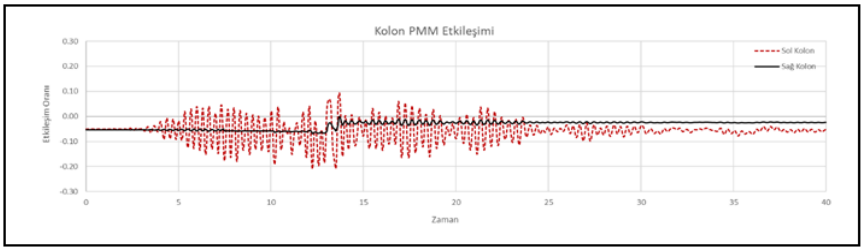
Şekil B1.212: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



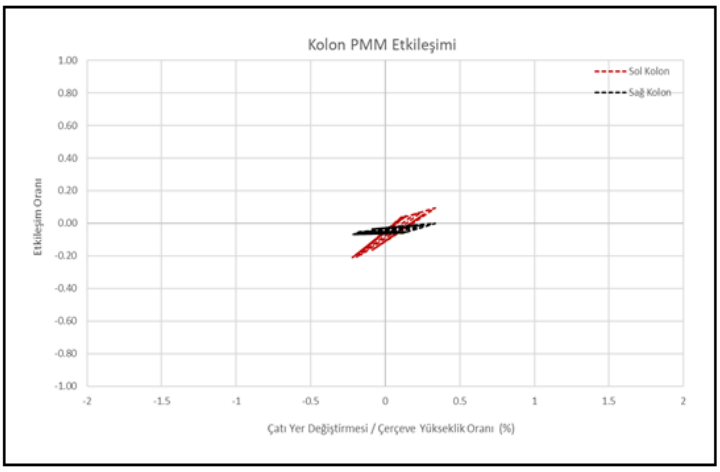
Şekil B1.213: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



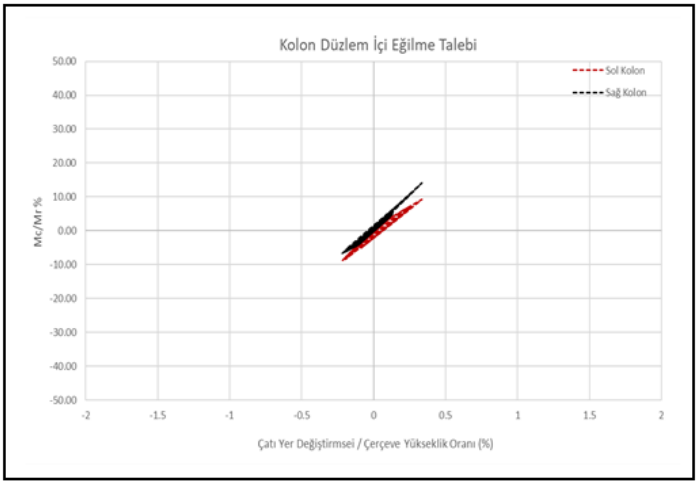
Şekil B1.214: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.215: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

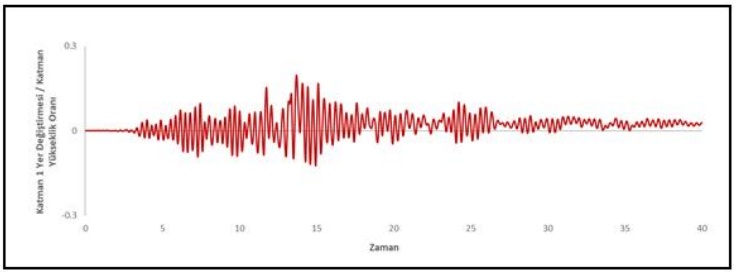


Şekil B1.216: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

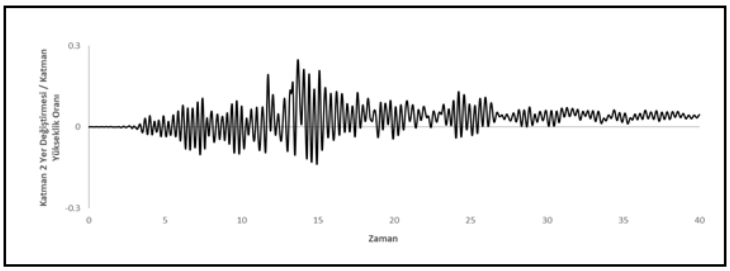


Şekil B1.217: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

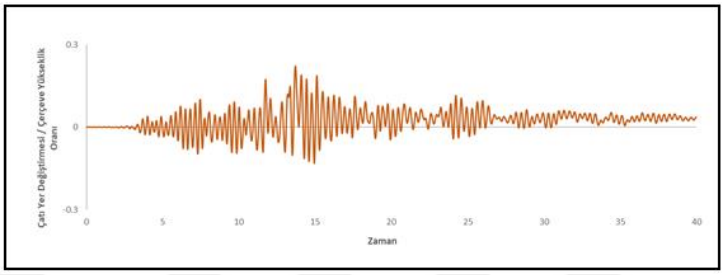
- **<u>RSN 721-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



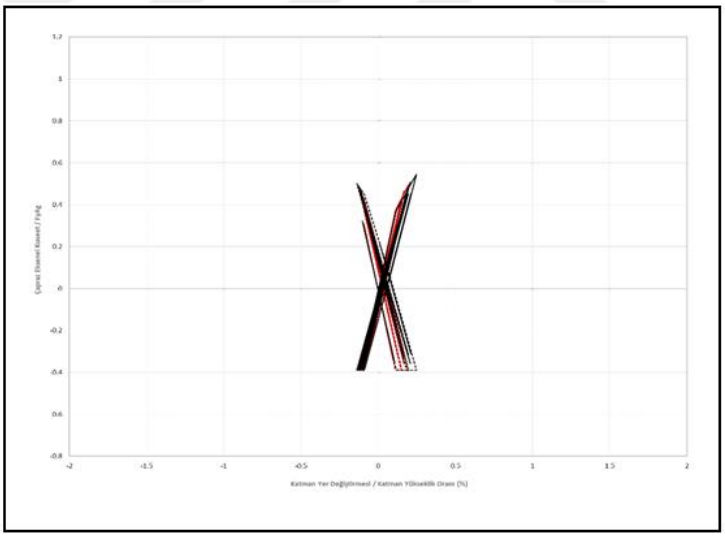
Şekil B1.218: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



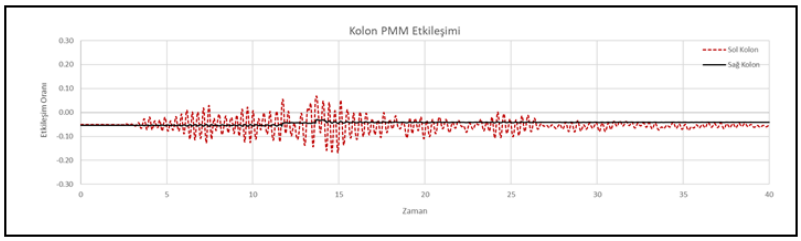
Şekil B1.219: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



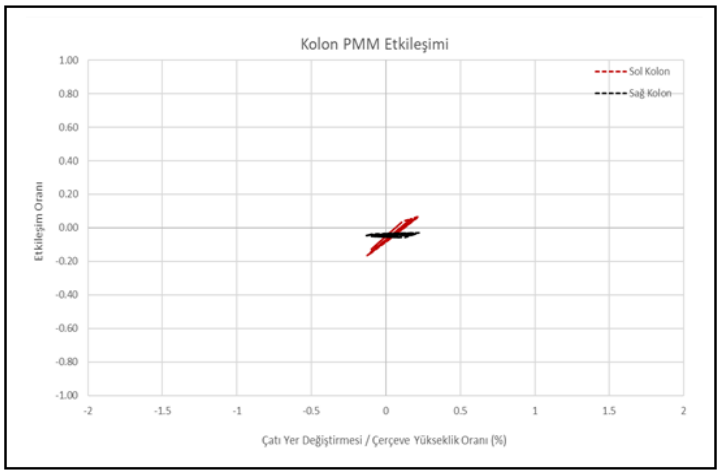
Şekil B1.220: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



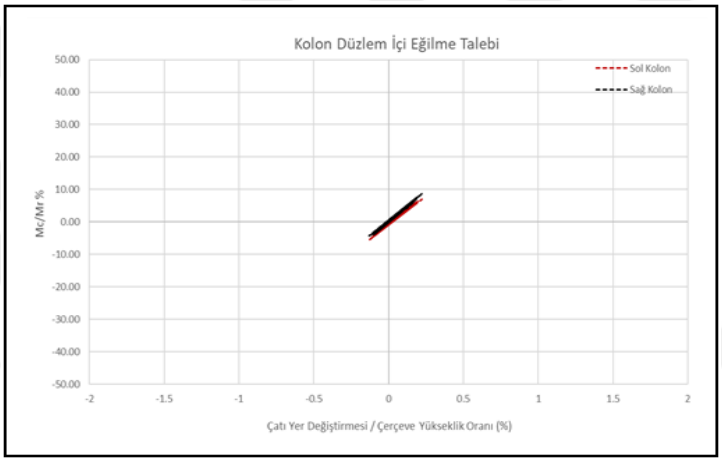
Şekil B1.221: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.222: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

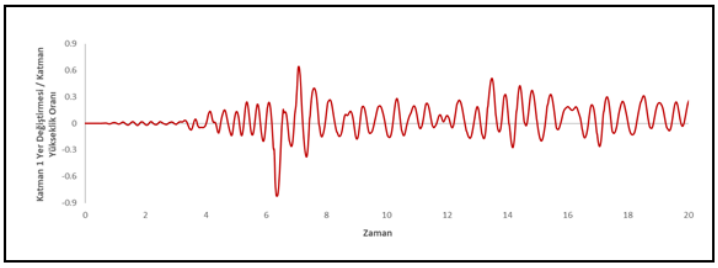


Şekil B1.223: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

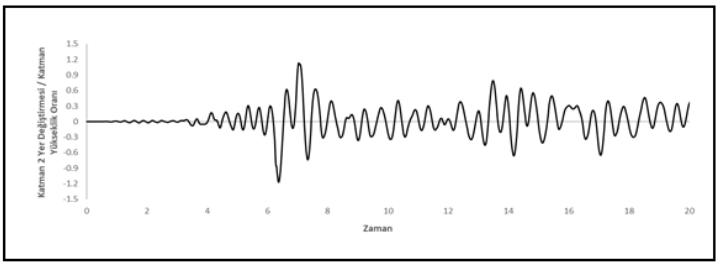


Şekil B1.224: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

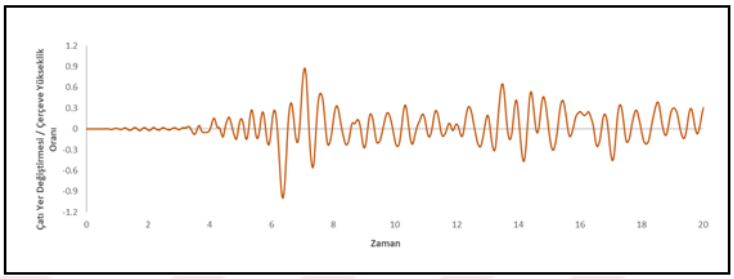
- **<u>RSN 725-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



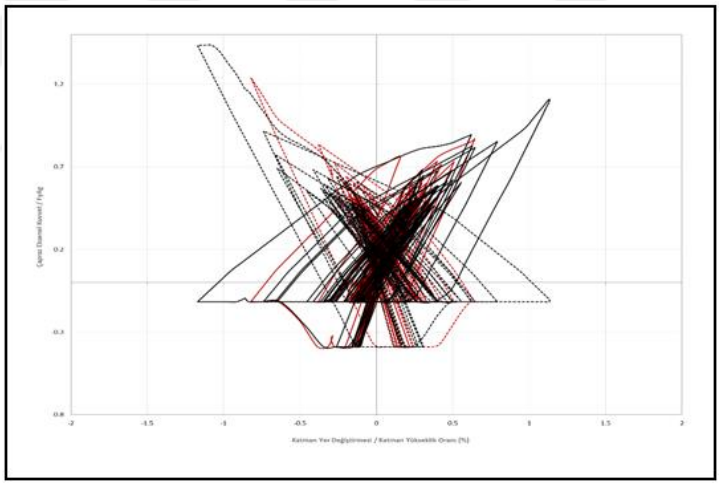
Şekil B1.225: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



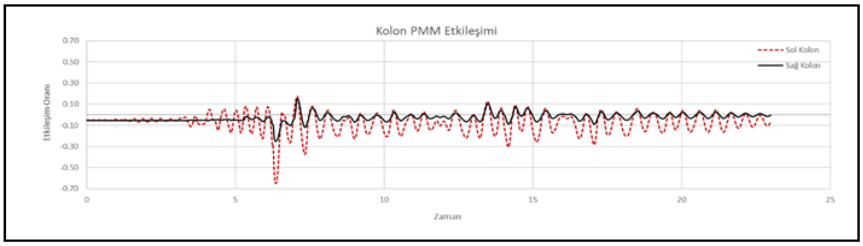
Şekil B1.226: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



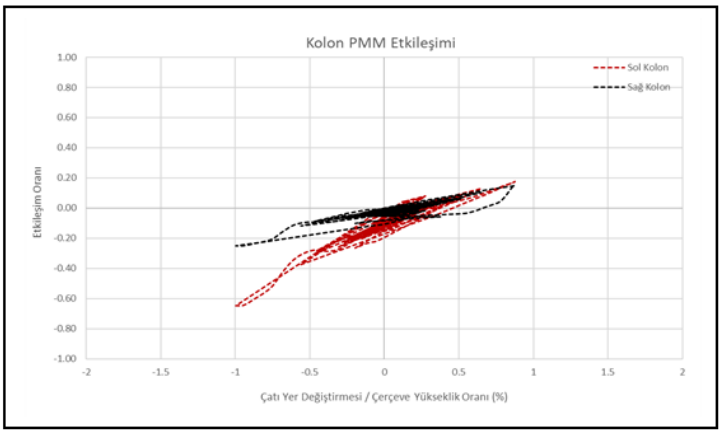
Şekil B1.227: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



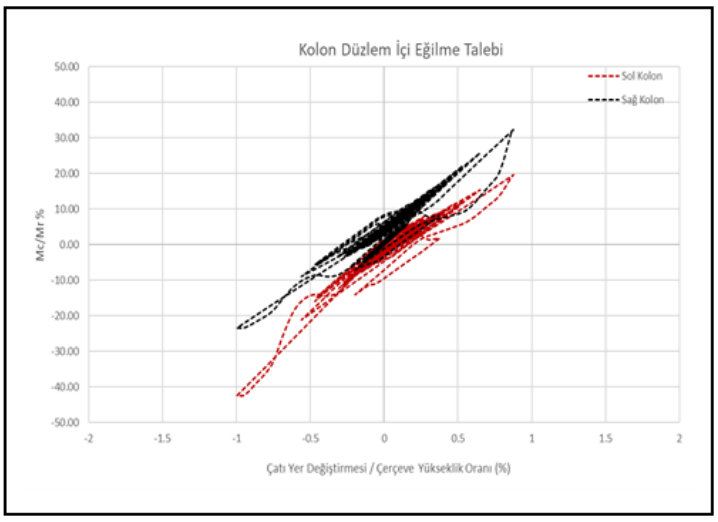
Şekil B1.228: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.229: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

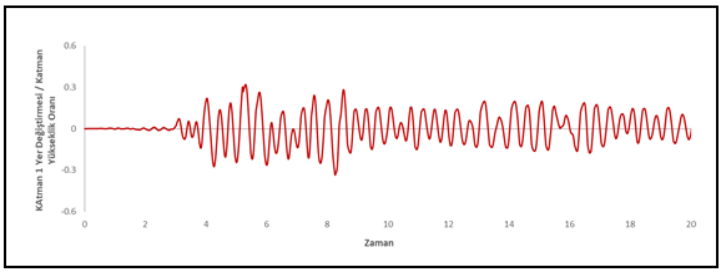


Şekil B1.230: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

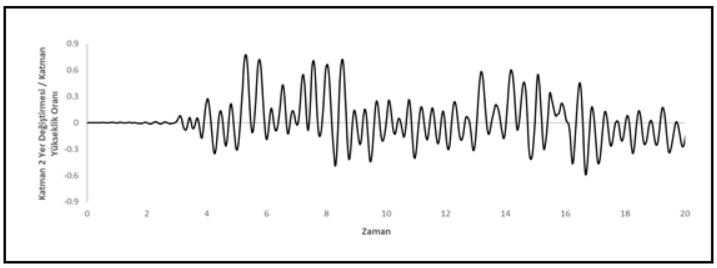


Şekil B1.231: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

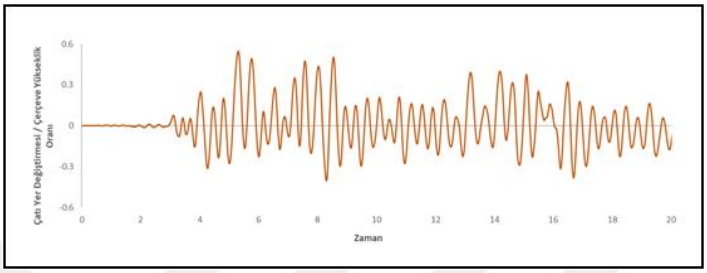
- **<u>RSN 725-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



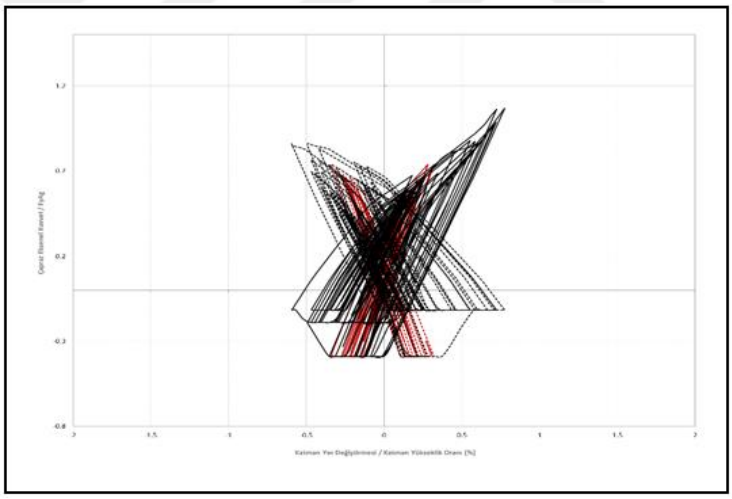
Şekil B1.232: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



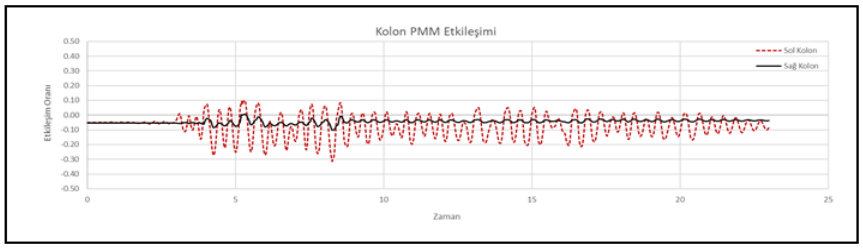
Şekil B1.233: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



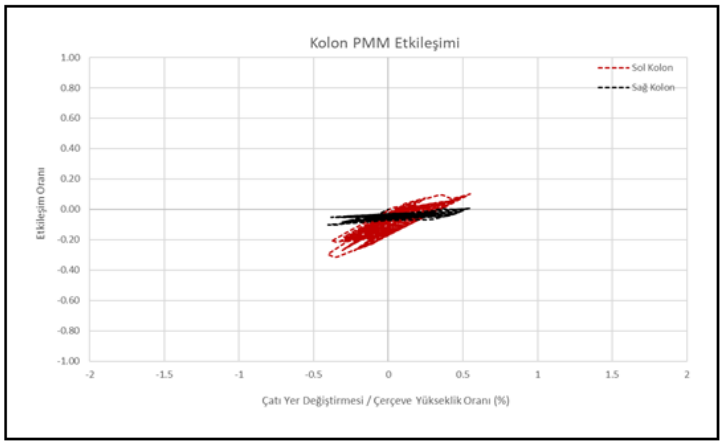
Şekil B1.234: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



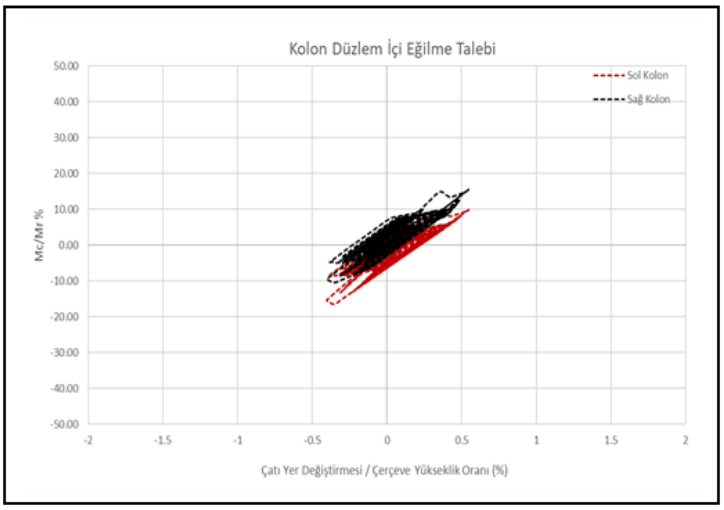
Şekil B1.235: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.236: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

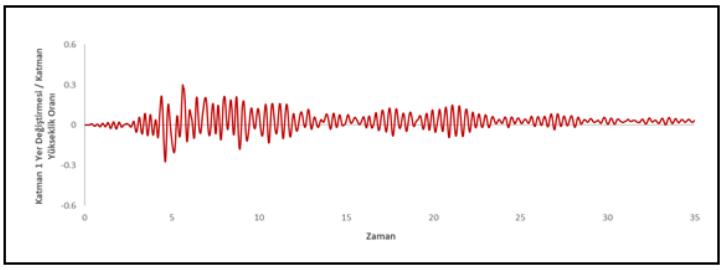


Şekil B1.237: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

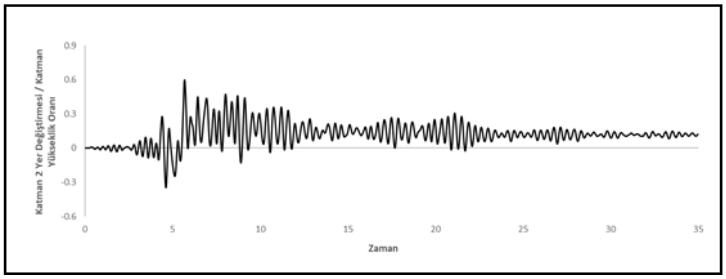


Şekil B1.238: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

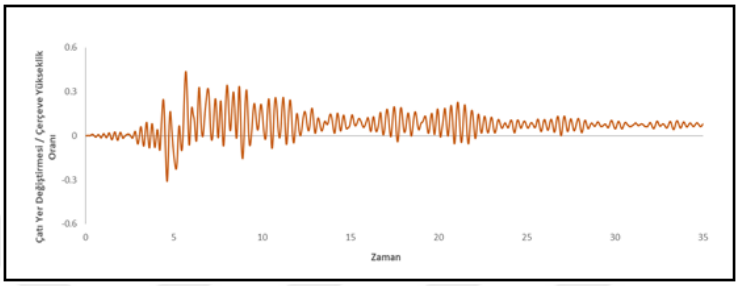
- **<u>RSN 829-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



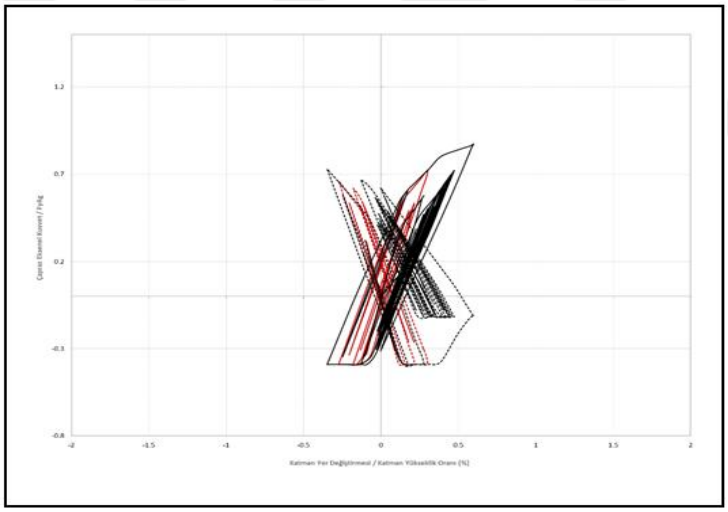
Şekil B1.239: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



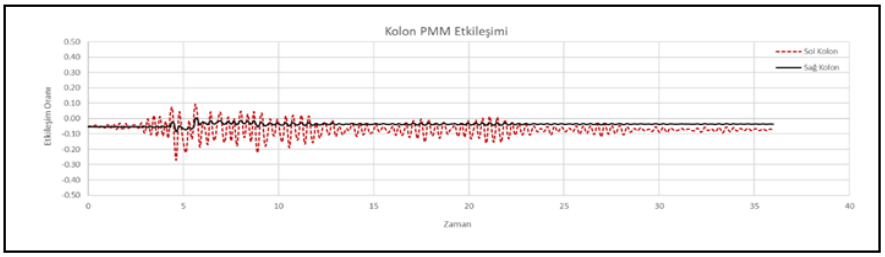
Şekil B1.240: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



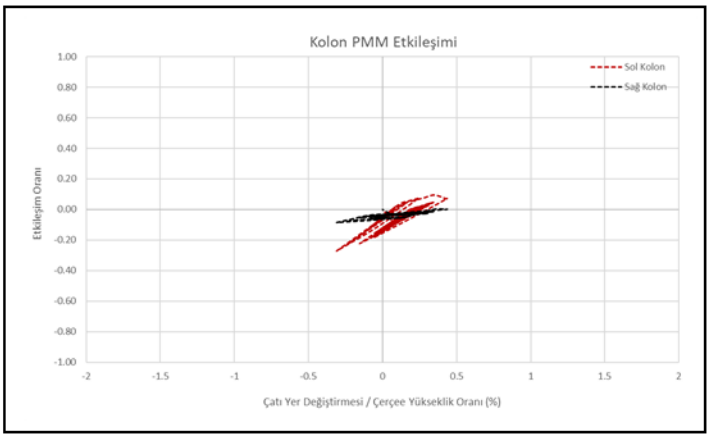
Şekil B1.241: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



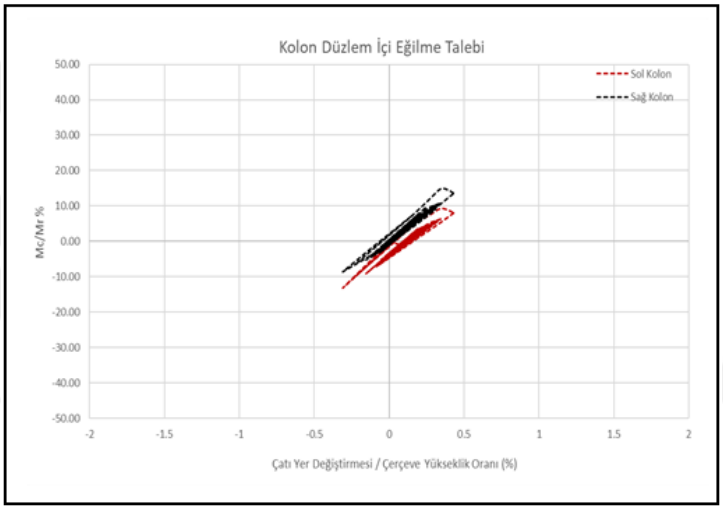
Şekil B1.242: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.243: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

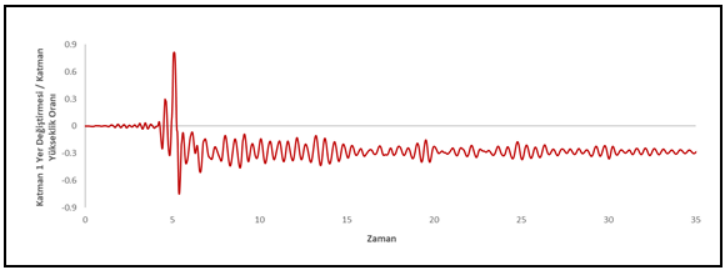


Şekil B1.244: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

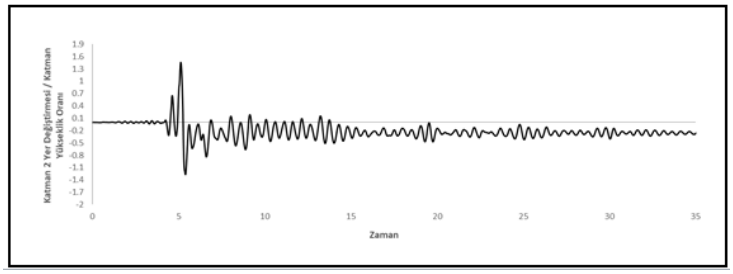


Şekil B1.245: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

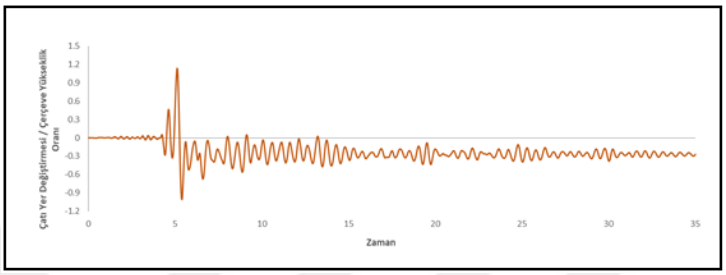
- **<u>RSN 829-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



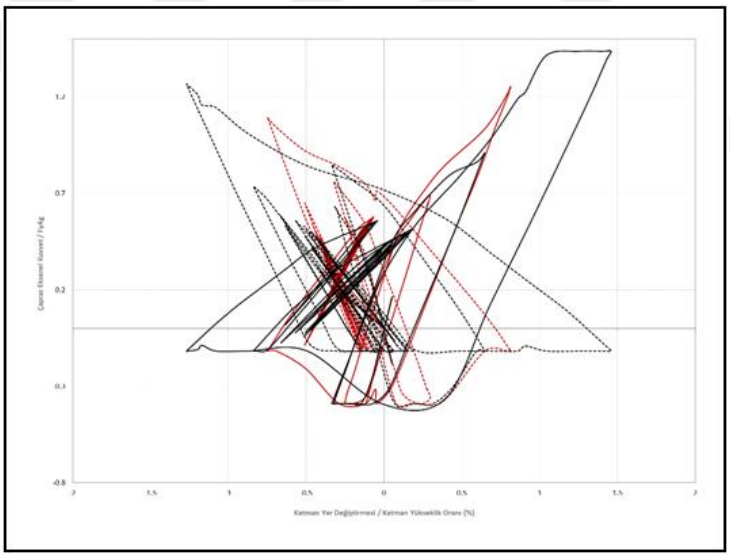
Şekil B1.246: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



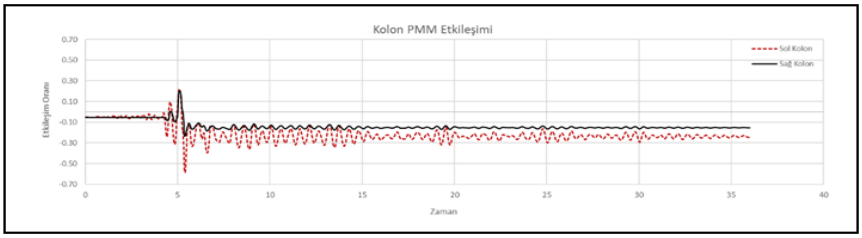
Şekil B1.247: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



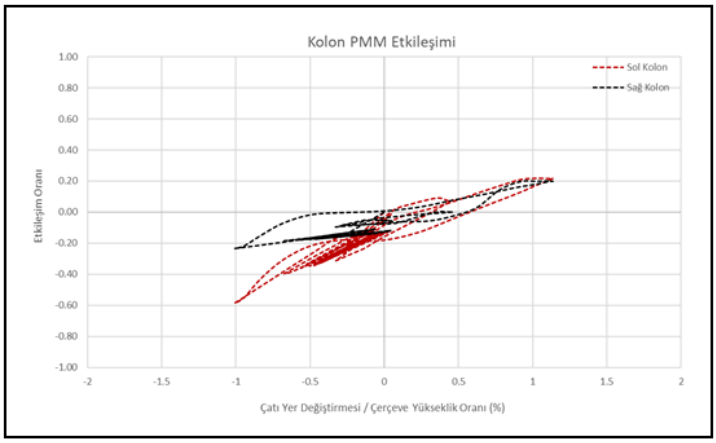
Şekil B1.248: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



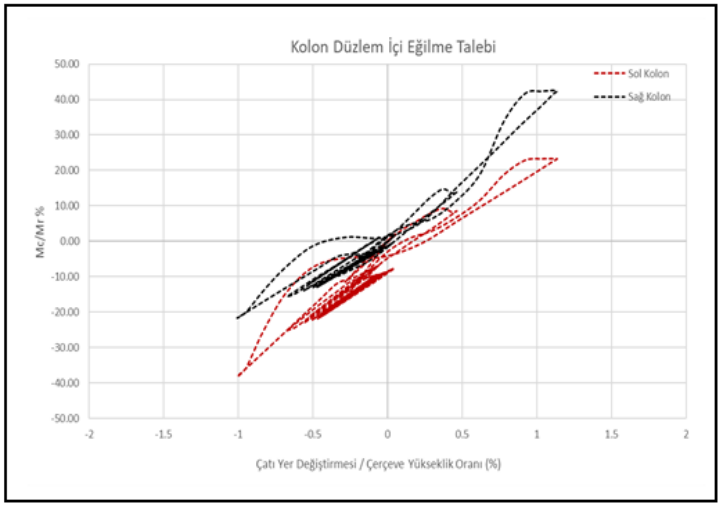
Şekil B1.249: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.250: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

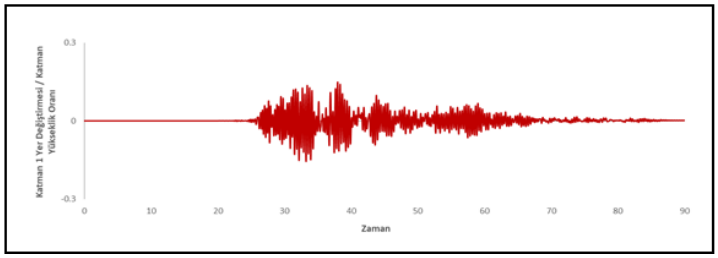


Şekil B1.251: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

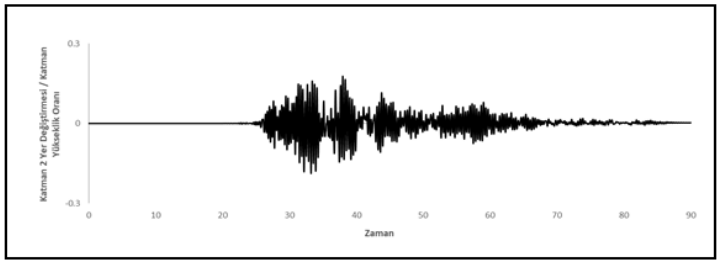


Şekil B1.252: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

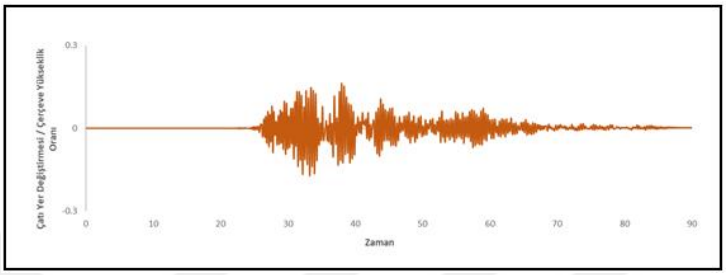
- **<u>RSN 1244-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



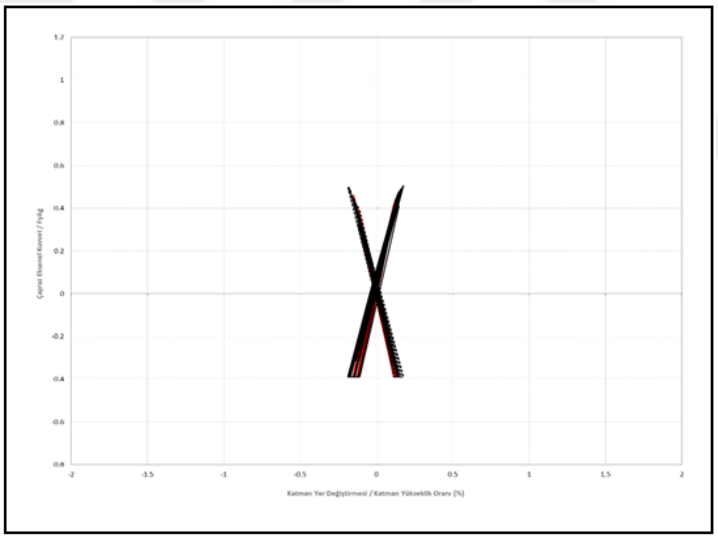
Şekil B1.253: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



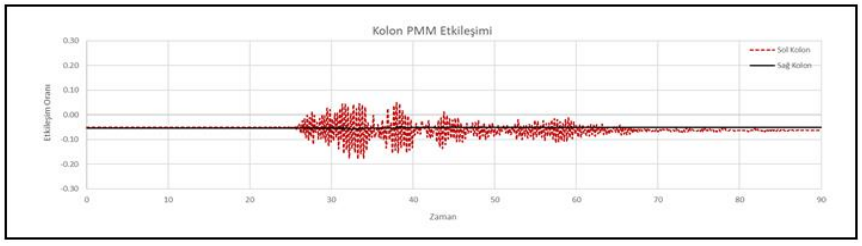
Şekil B1.254: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



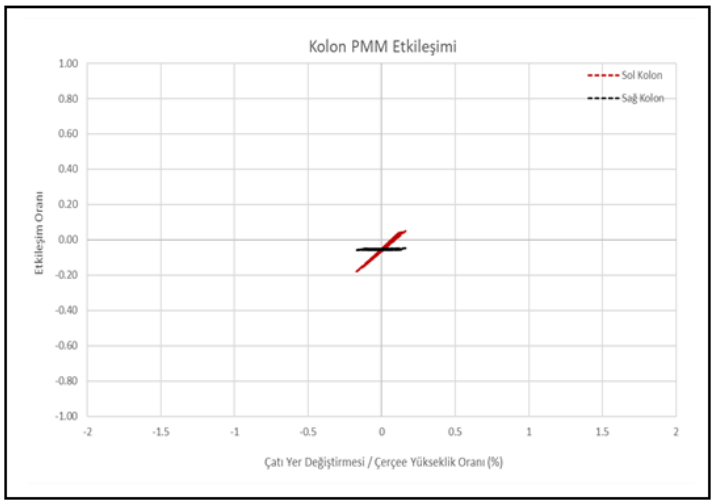
Şekil B1.255: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



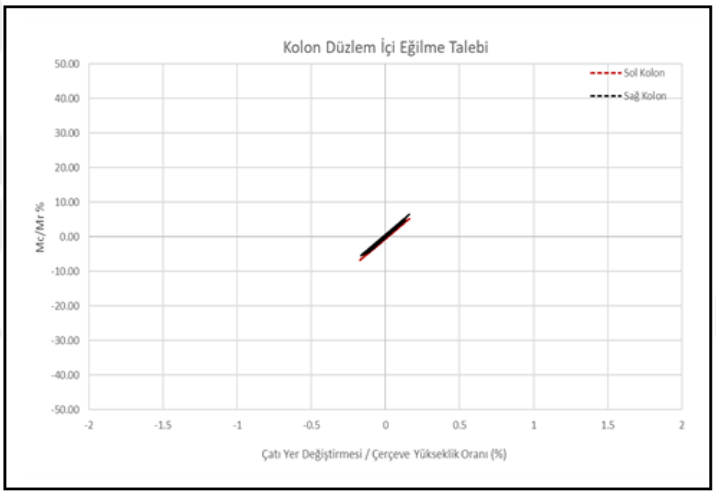
Şekil B1.256: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.257: Zaman – kolon Elemanı PMM Etkileşimi.

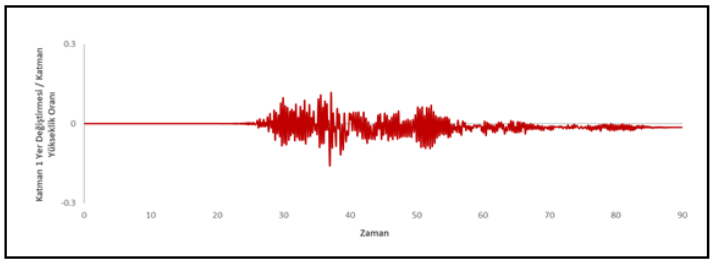


Şekil B1.258: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

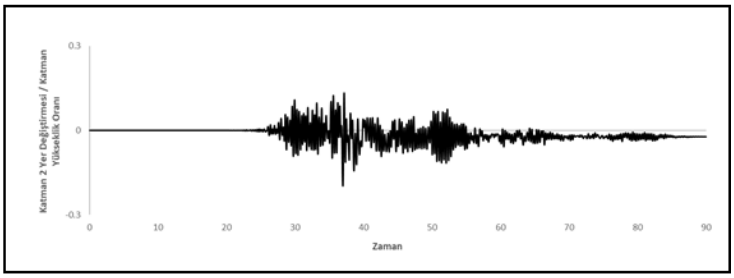


Şekil B1.259: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

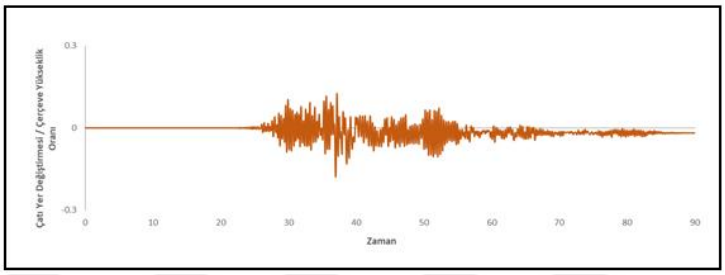
- **<u>RSN 1244-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



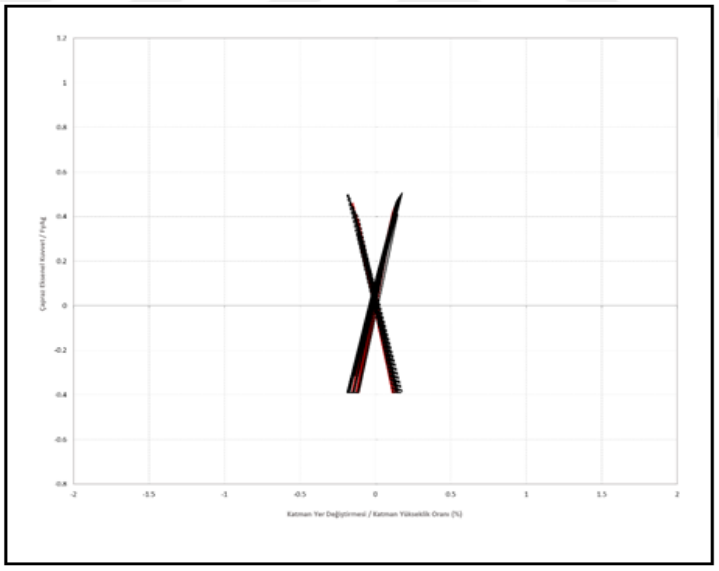
Şekil B1.260: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



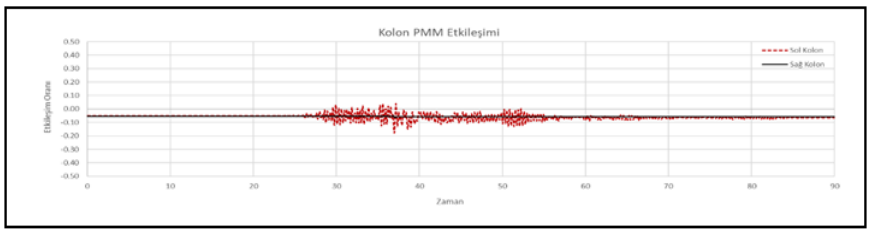
Şekil B1.261: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



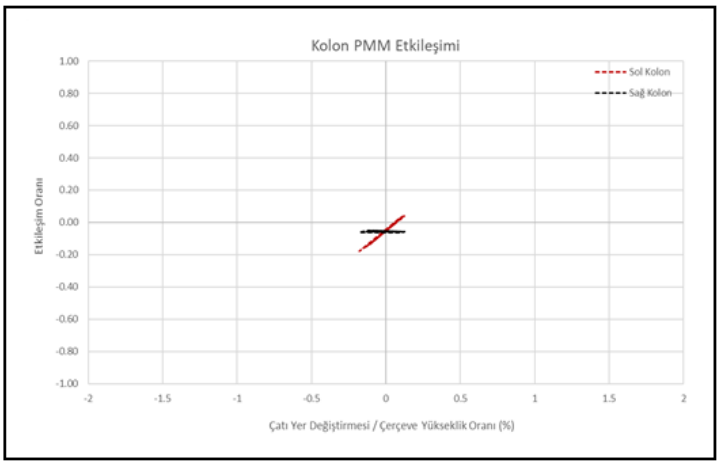
Şekil B1.262: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



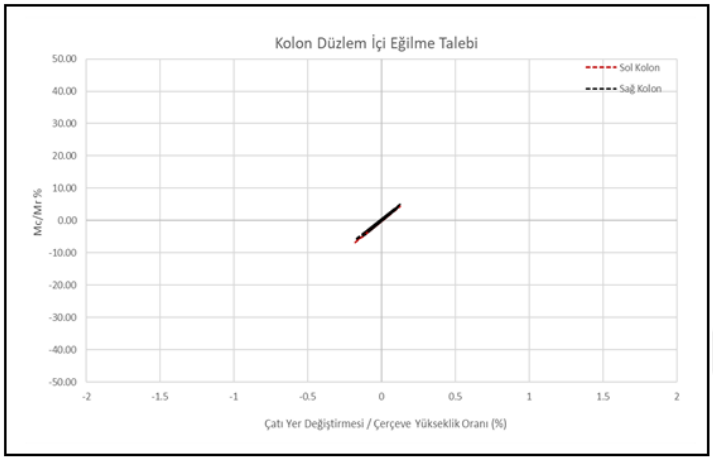
Şekil B1.263: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.264: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

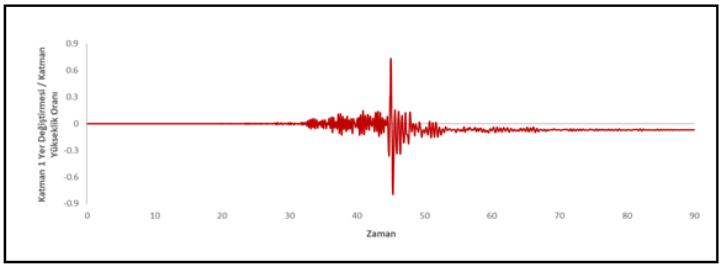


Şekil B1.265: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

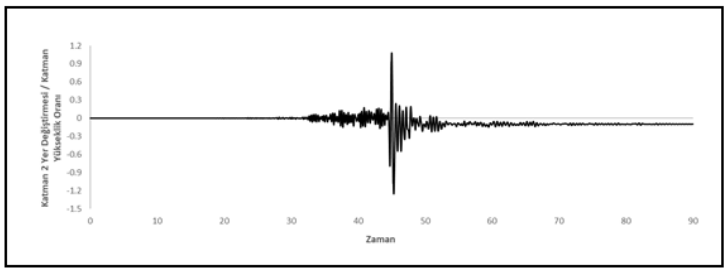


Şekil B1.266: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

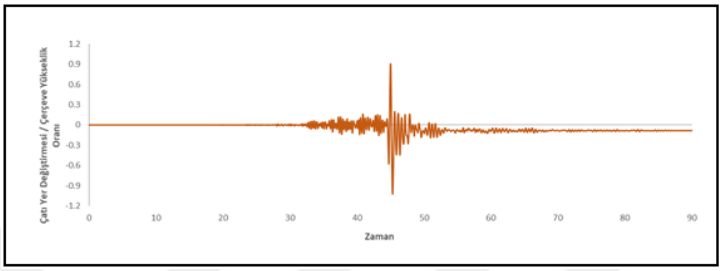
- **<u>RSN 1485-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



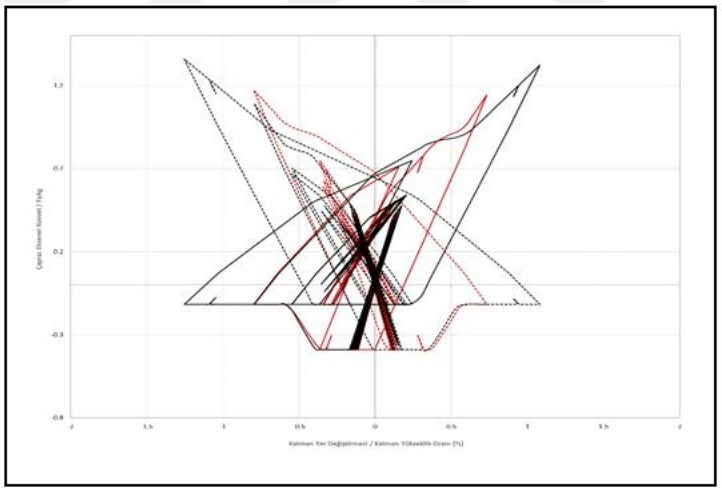
Şekil B1.267: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



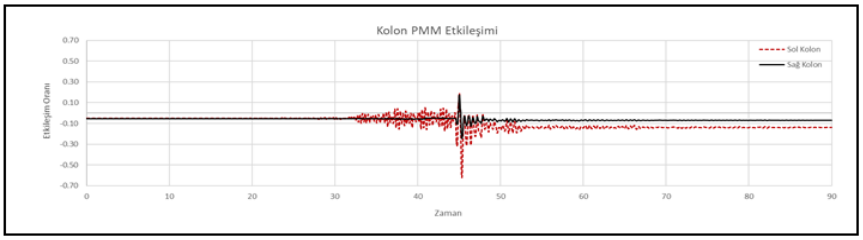
Şekil B1.268: Zaman – Katman 2 Yer Değiştirme Oranı (%).



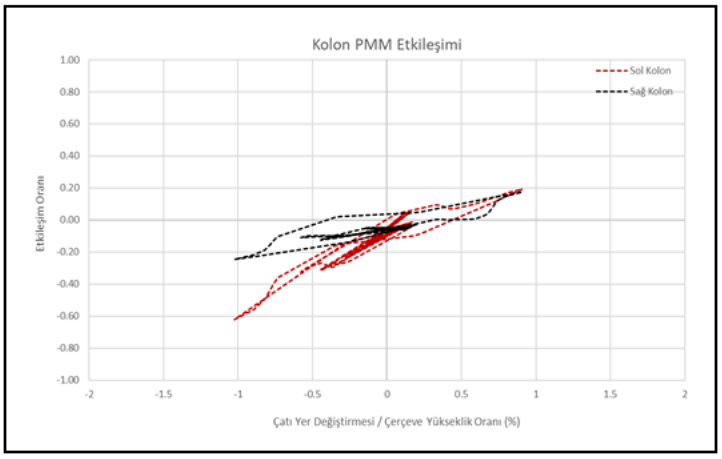
Şekil B1.269: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



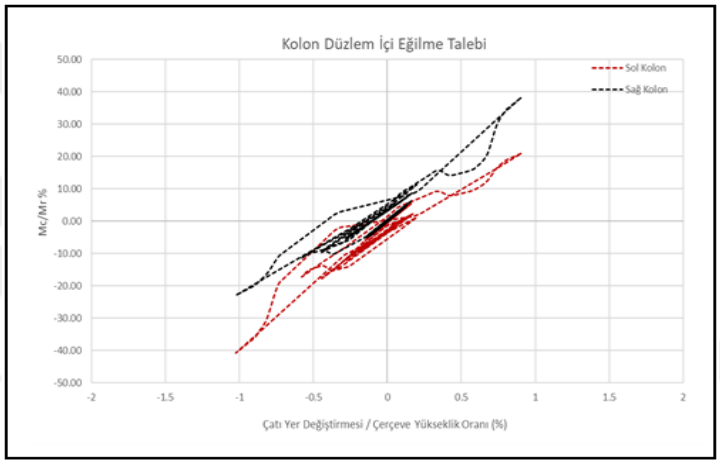
Şekil B1.270: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.271: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

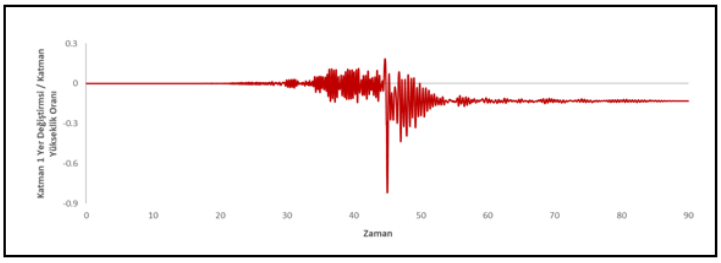


Şekil B1.272: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

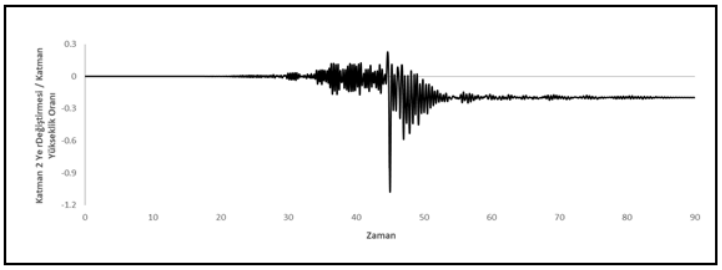


Şekil B1.273: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

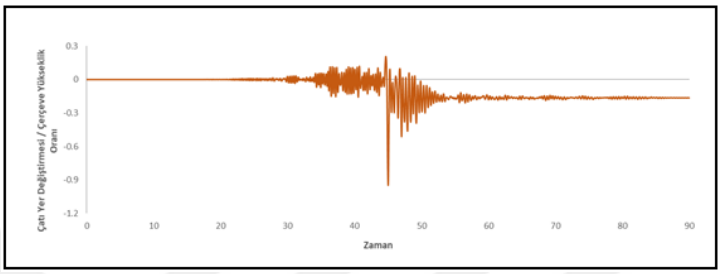
- **<u>RSN 1485-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



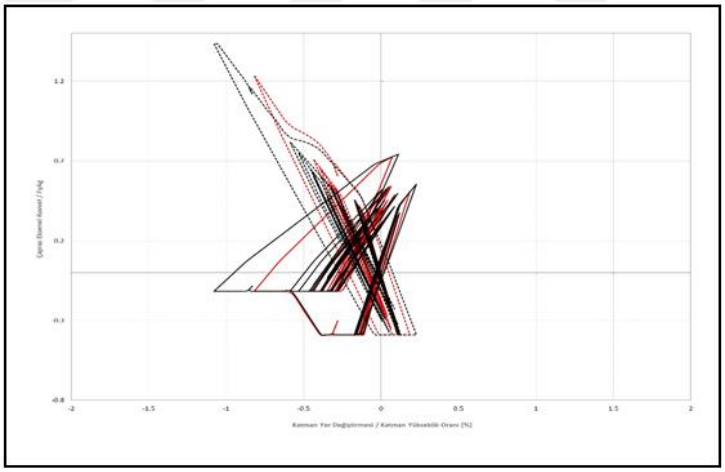
Şekil B1.274: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



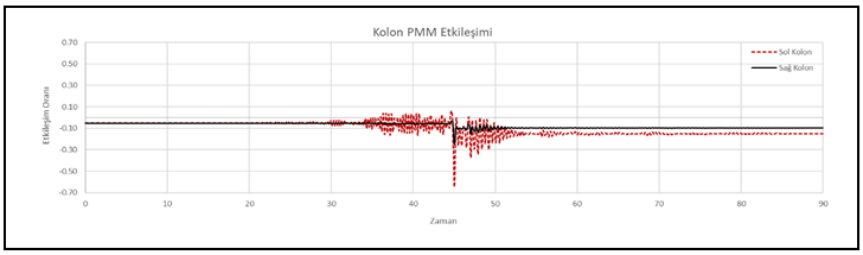
Şekil B1.275: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



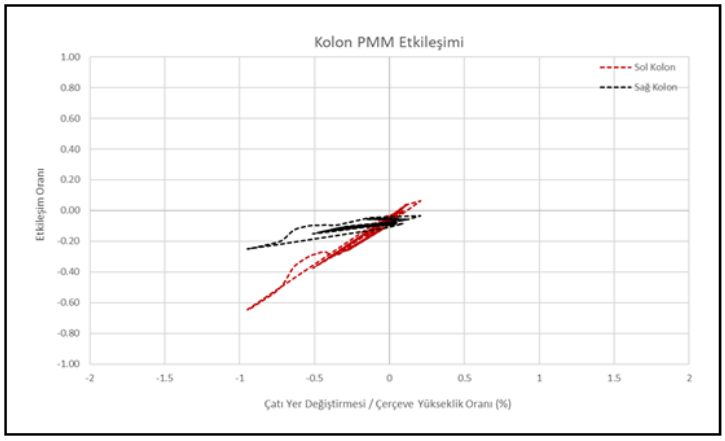
Şekil B1.276: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



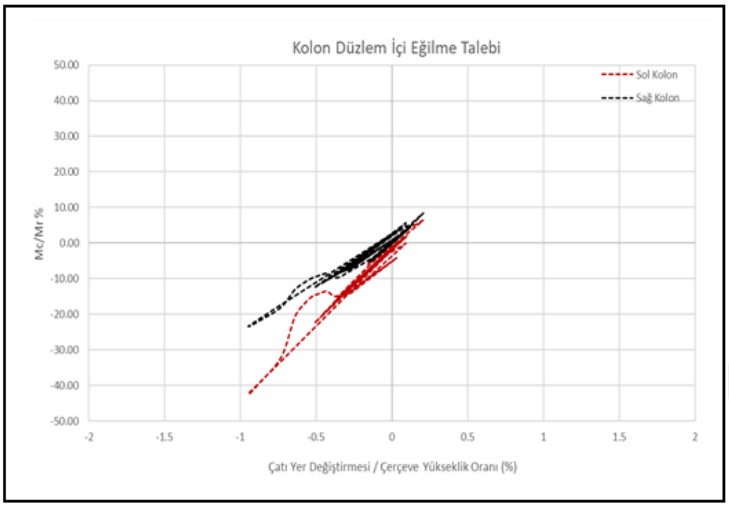
Şekil B1.277: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.278: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

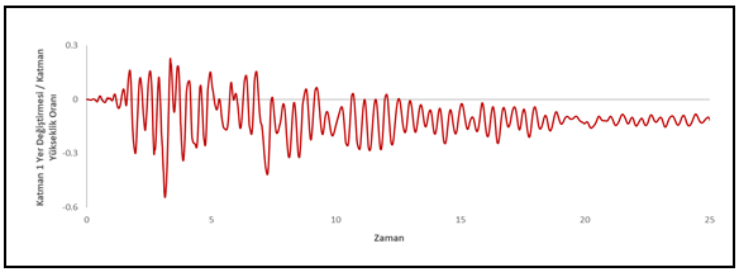


Şekil B1.279: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

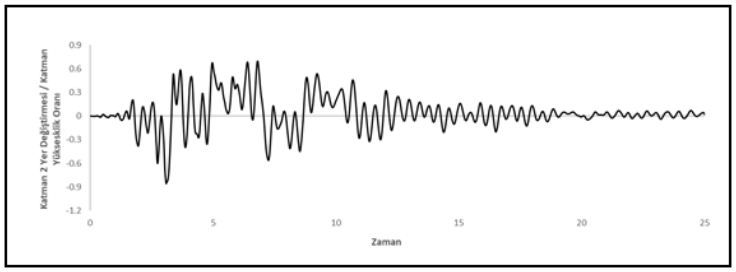


Şekil B1.280: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

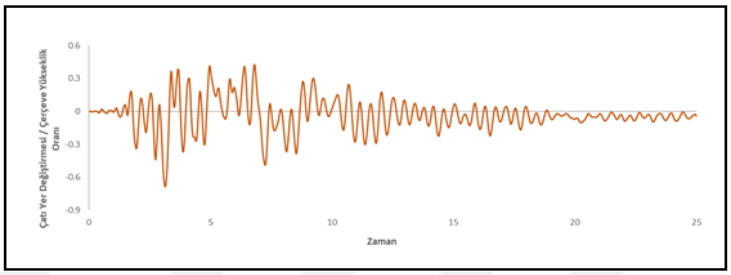
- **<u>RSN 68-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



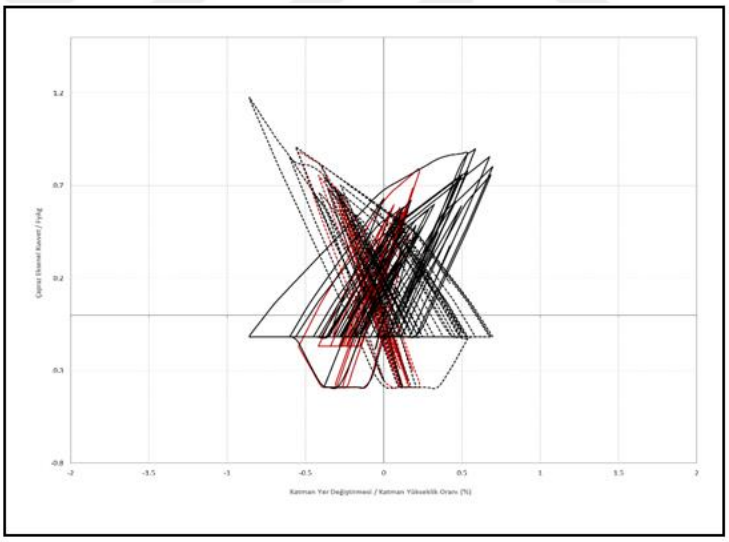
Şekil B1.281: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



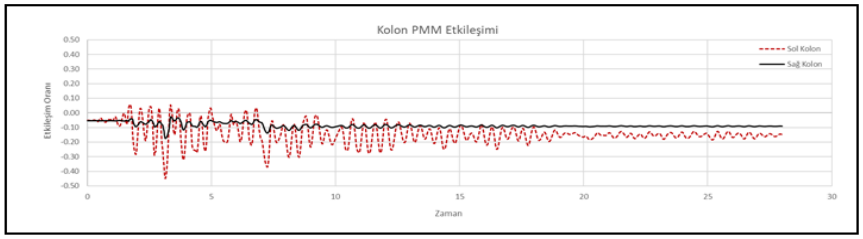
Şekil B1.282: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



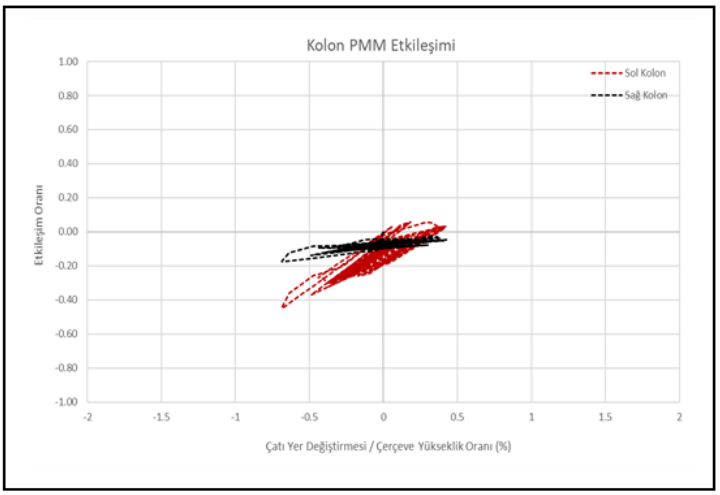
Şekil B1.283: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



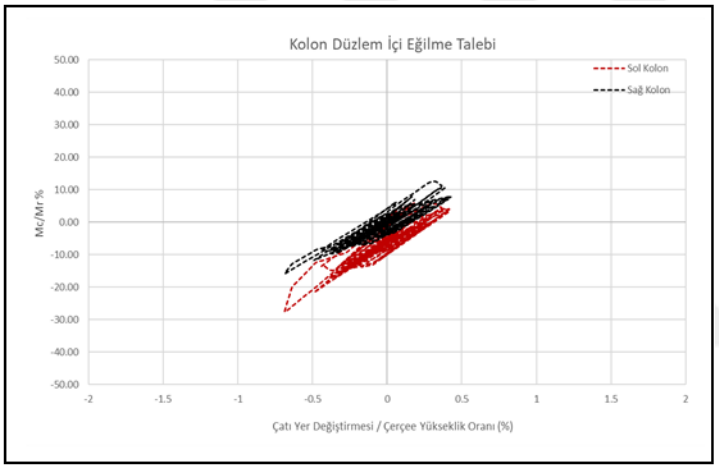
Şekil B1.284: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.285: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

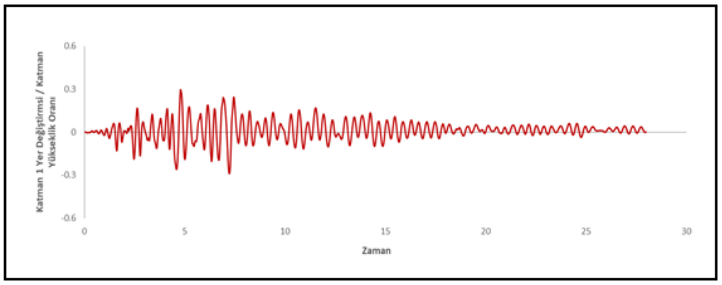


Şekil B1.286: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

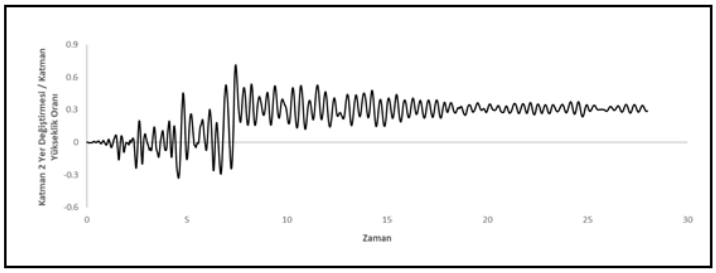


Şekil B1.287: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

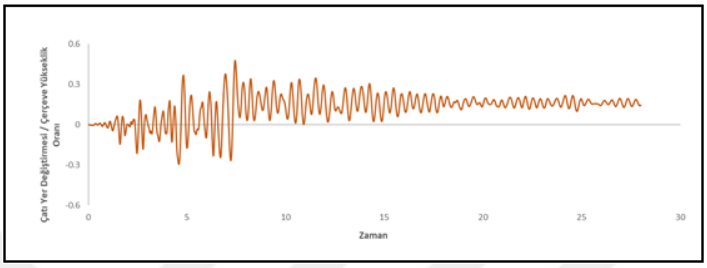
- **<u>RSN 68-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



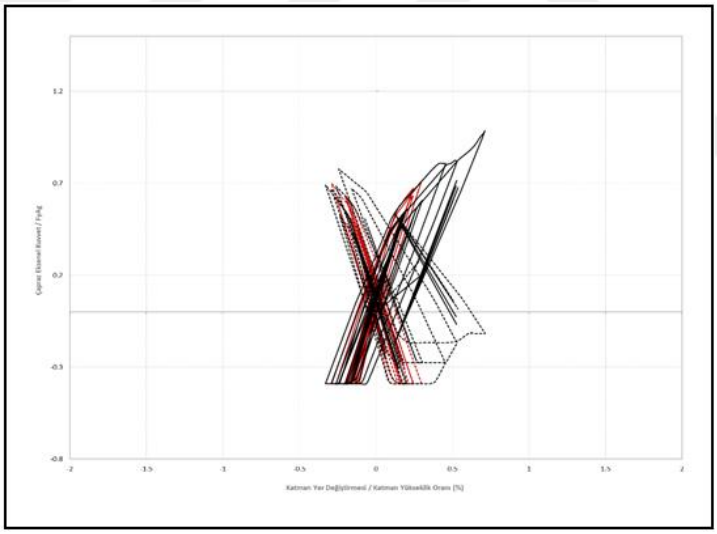
Şekil B1.288: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



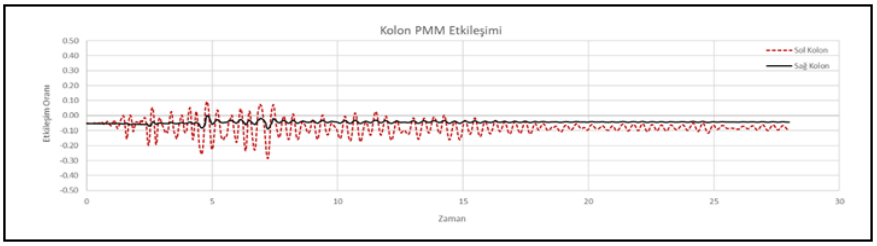
Şekil B1.289: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



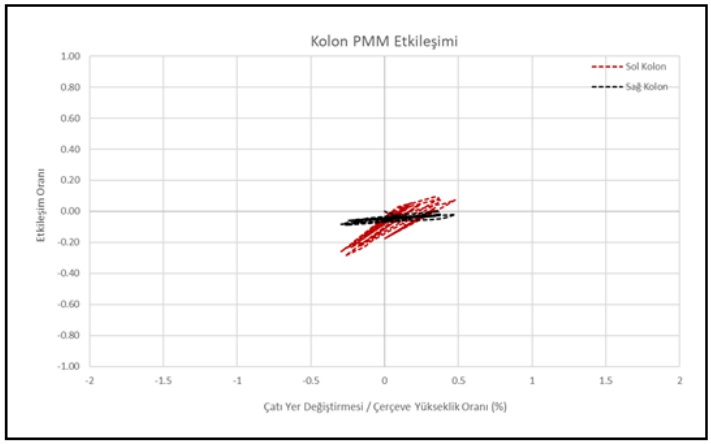
Şekil B1.290: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



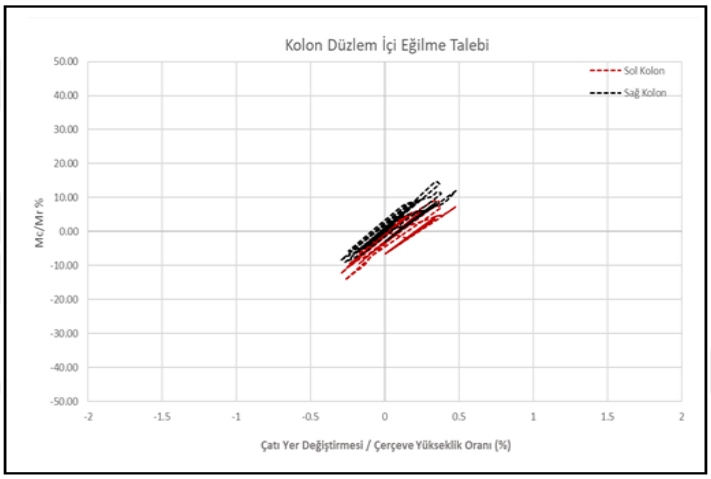
Şekil B1.300: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.301: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

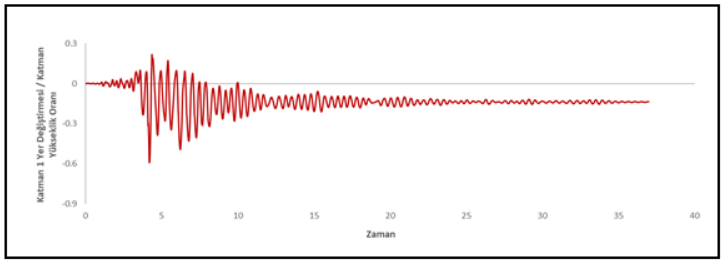


Şekil B1.302: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

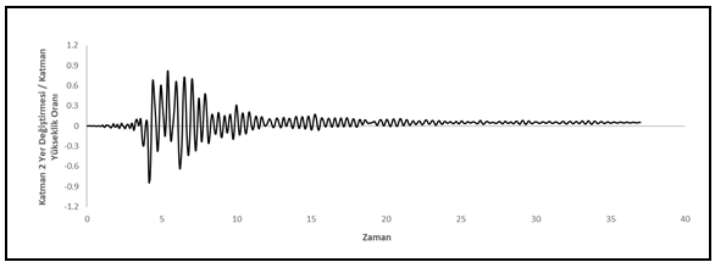


Şekil B1.303: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

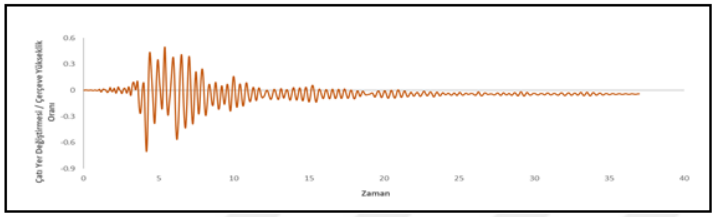
- **<u>RSN 125-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



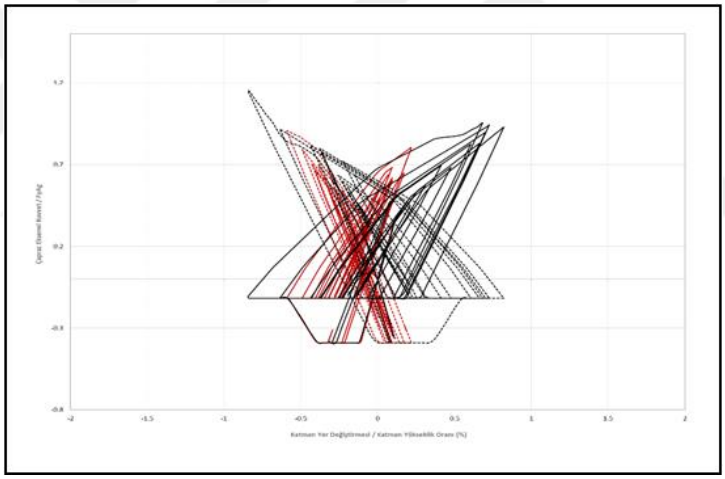
Şekil B1.304: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



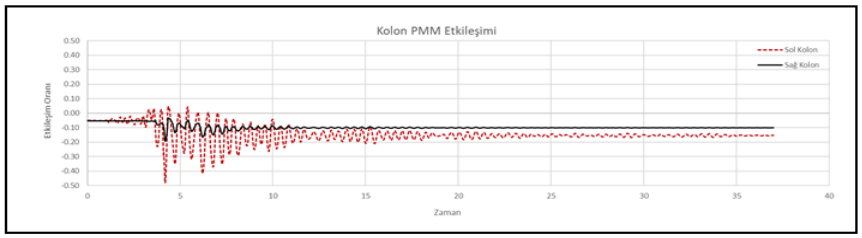
Şekil B1.305: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



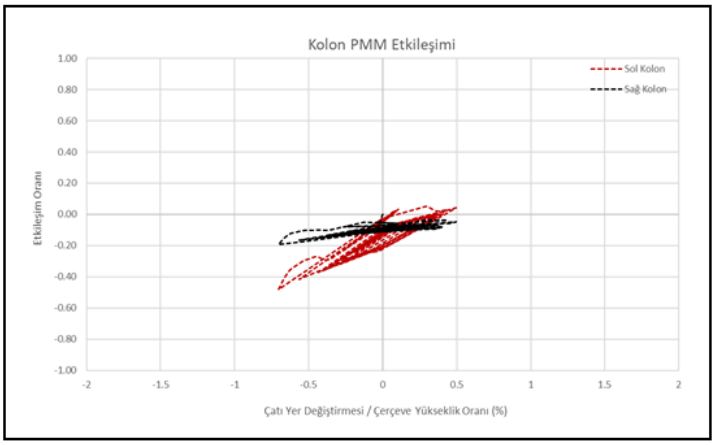
Şekil B1.306: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



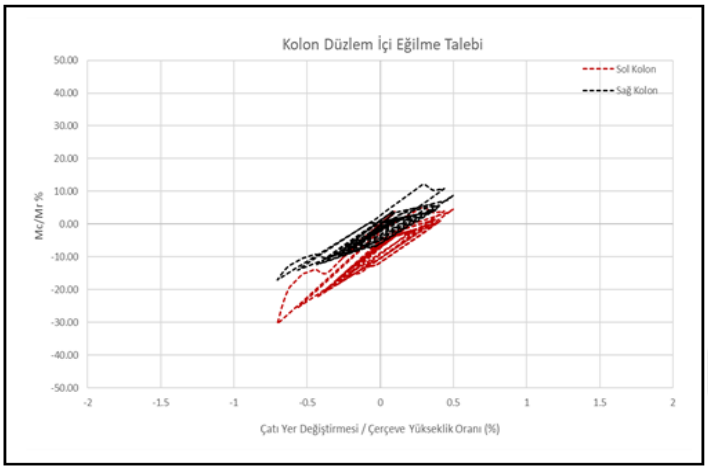
Şekil B1.307: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.308: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

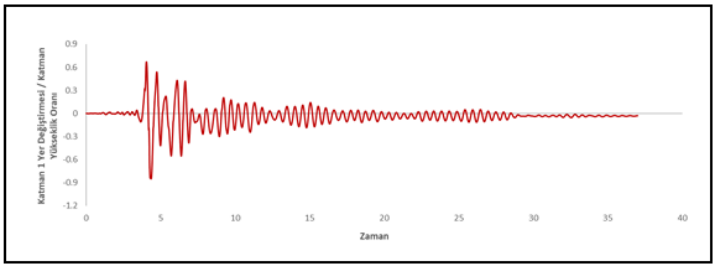


Şekil B1.309: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

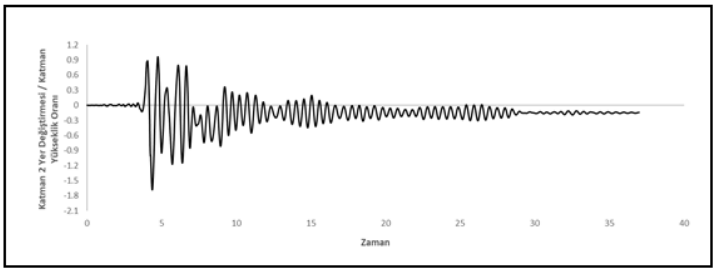


Şekil B1.310: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

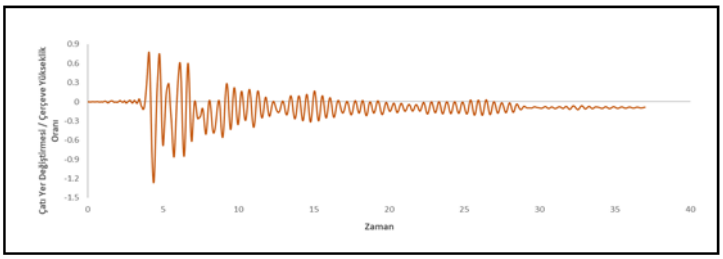
- **<u>RSN 125-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



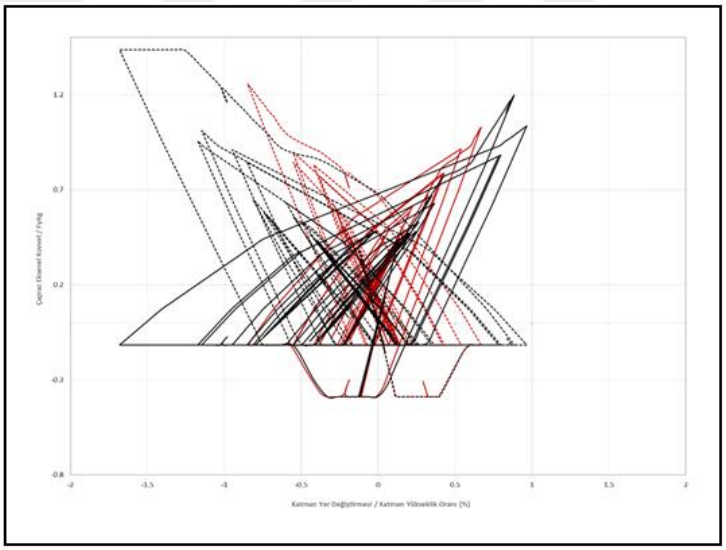
Şekil B1.311: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



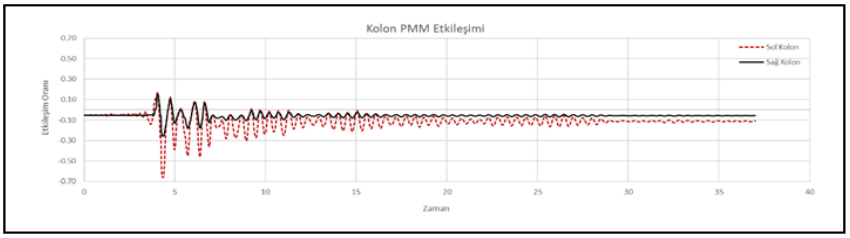
Şekil B1.312: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



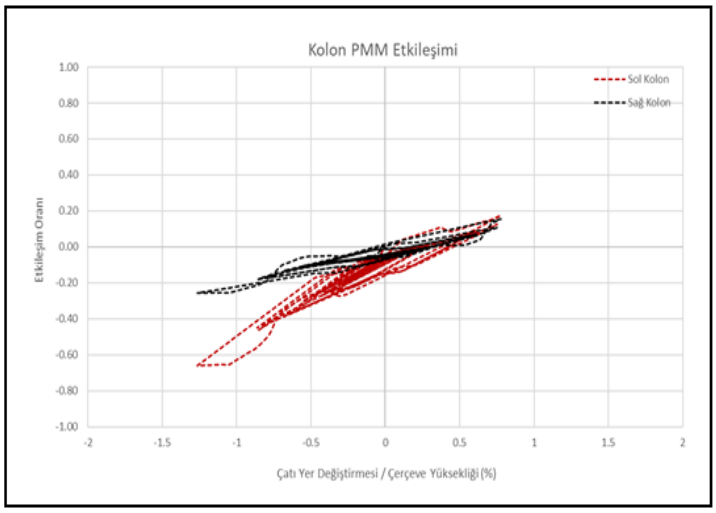
Şekil B1.313: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



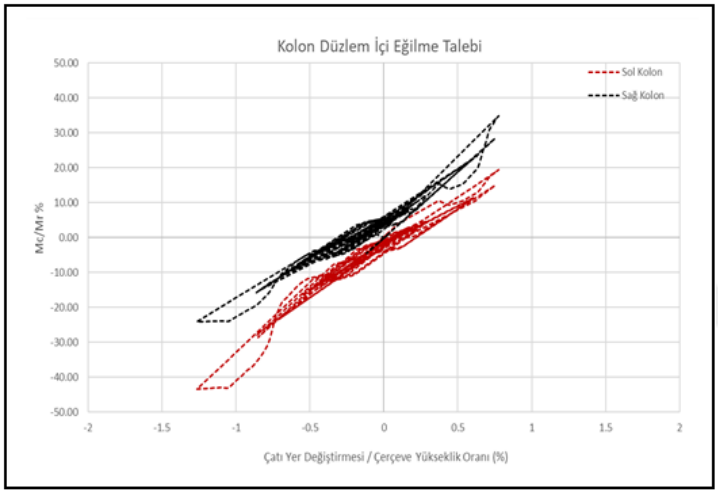
Şekil B1.314: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil B1.315: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.



Şekil B1.316: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

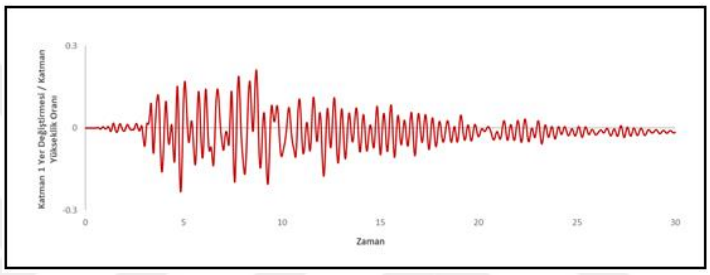


Şekil B1.317: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

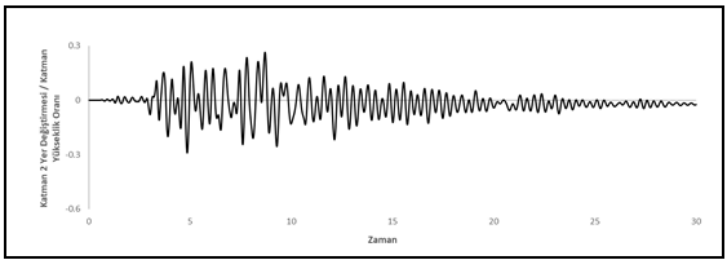
Ek B: İki Katta X Çapraz Konfigürasyonuna Sahip Çok Katmanlı Çaprazlı Çerçeve Sistemi Detaylı Analiz Sonuçları

Bu bölümde iki katta X çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli için 22 çift deprem kaydı altında elde edilen sonuçlar her bir deprem kaydı için katman yer değiştirmeleri ve çerçeve yer değiştirmesi, çapraz elemanının katman yer değiştirmesi ile ilgili mekanizma durumu, kolon elemanı PMM etkileşimi ve düzlem içi eğilme momenti talepleri detaylı olarak gösterilmiştir.

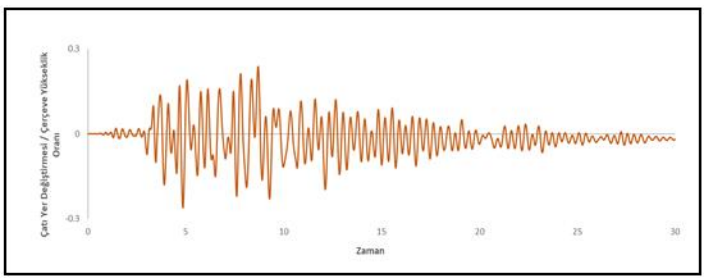
- **<u>RSN 953-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



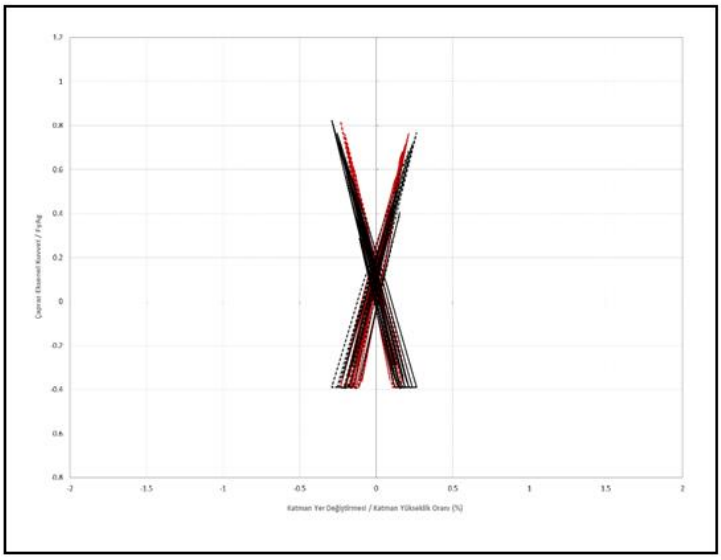
Şekil C1.1: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



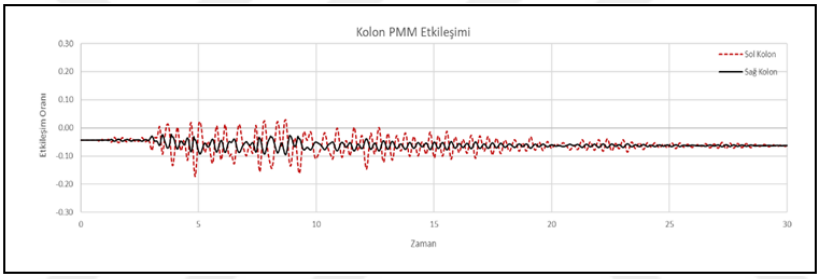
Şekil C1.2: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



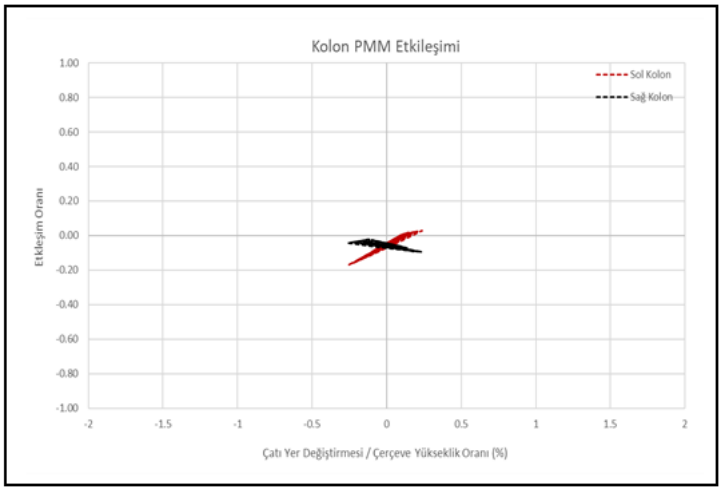
Şekil C1.3: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



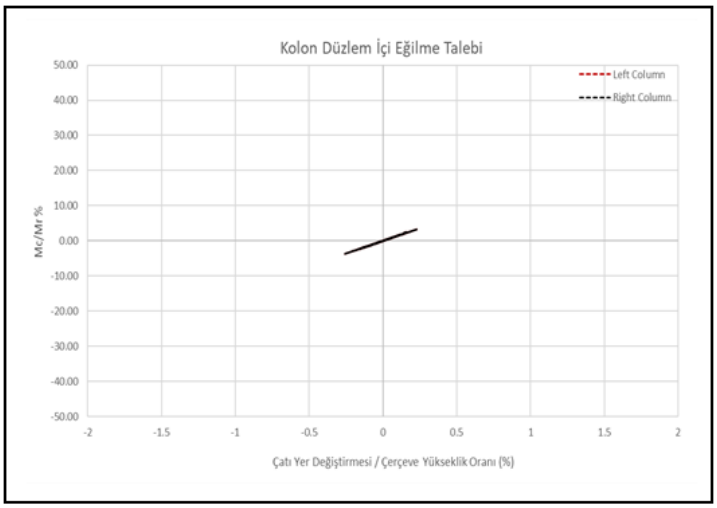
Şekil C1.4: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.5: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

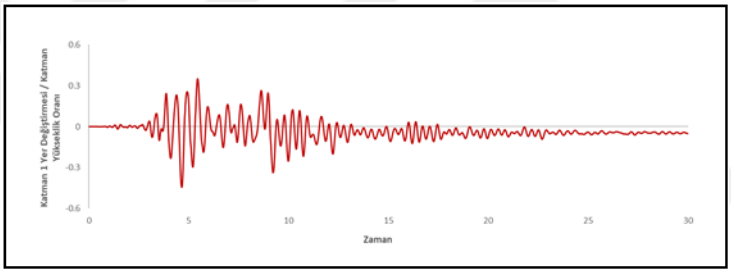


Şekil C1.6: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

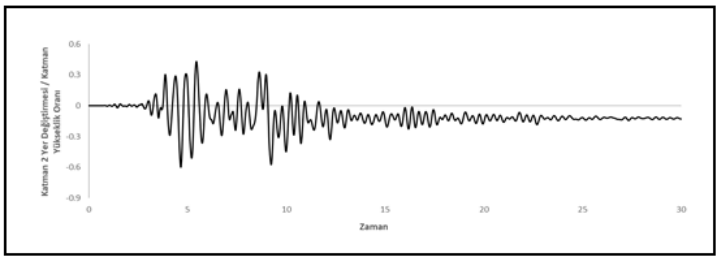


Şekil C1.7: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

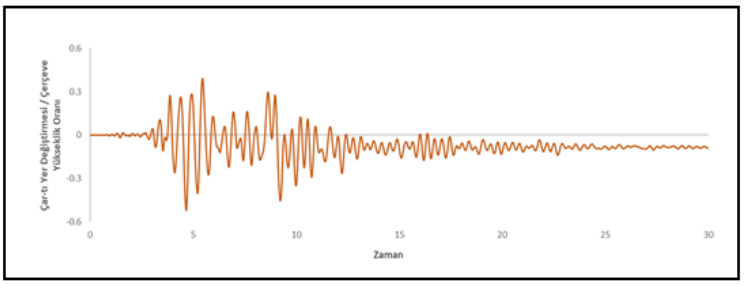
- **<u>RSN 953-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



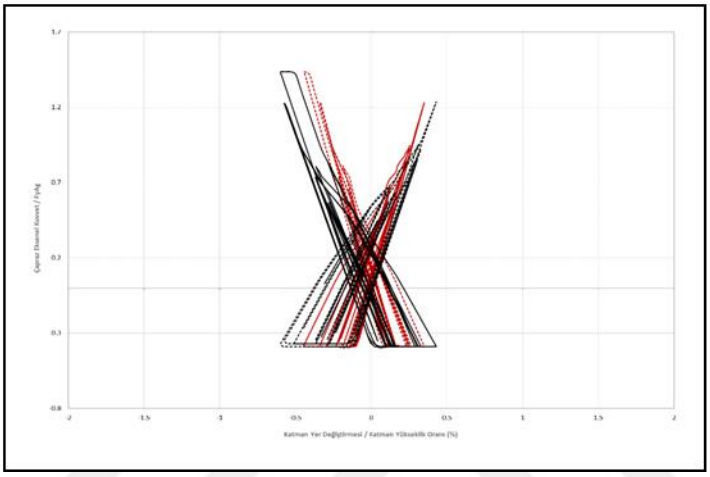
Şekil C1.8: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



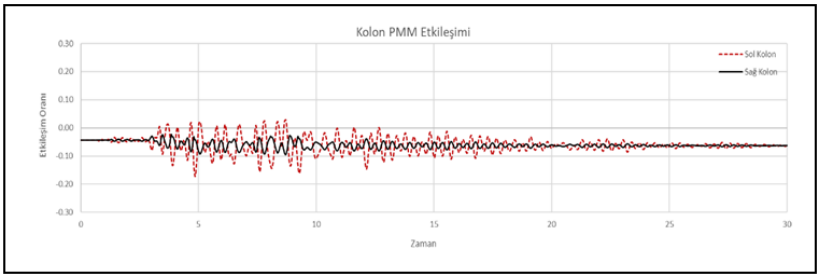
Şekil C1.9: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



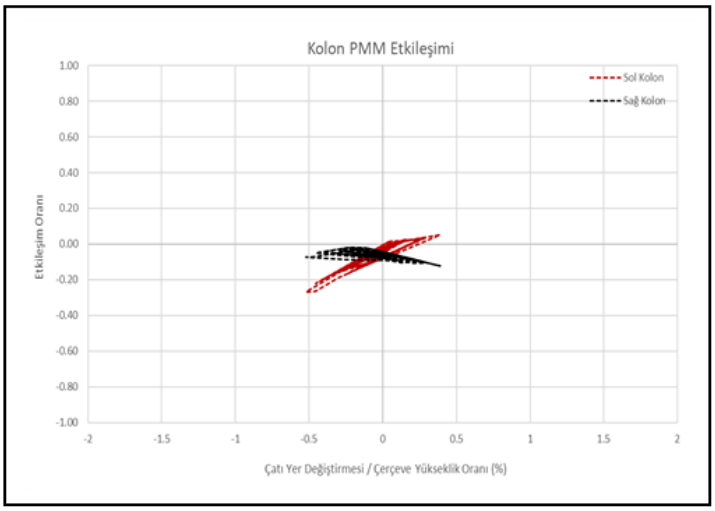
Şekil C1.10: Zaman – Çerçeve Yer Değiştirme Oranı (%).



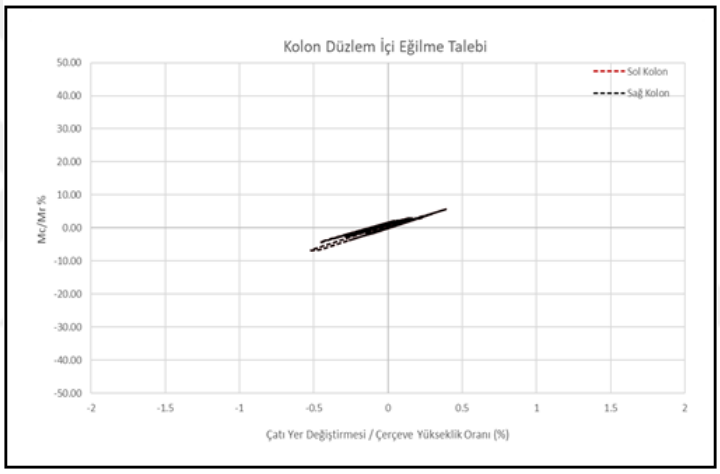
Şekil C1.11: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.12: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

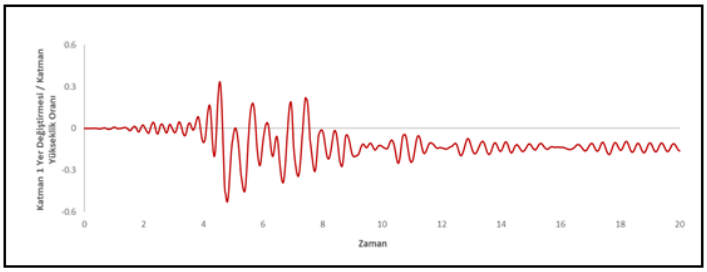


Şekil C1.13: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

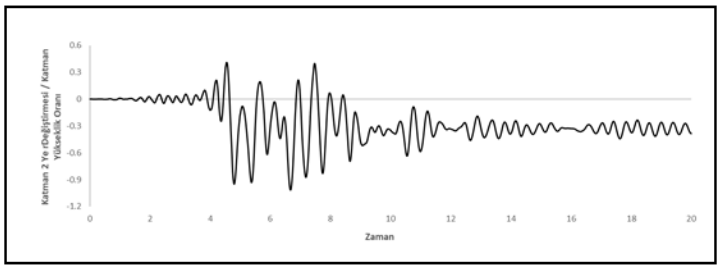


Şekil C1.14: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

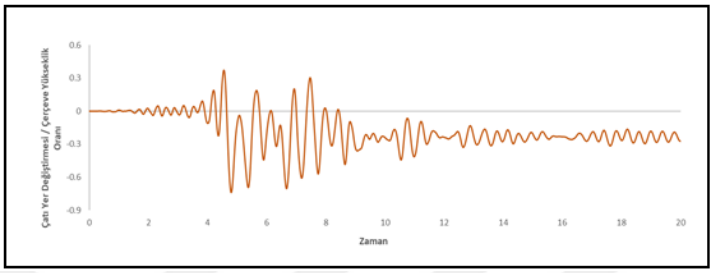
- **<u>RSN 960-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



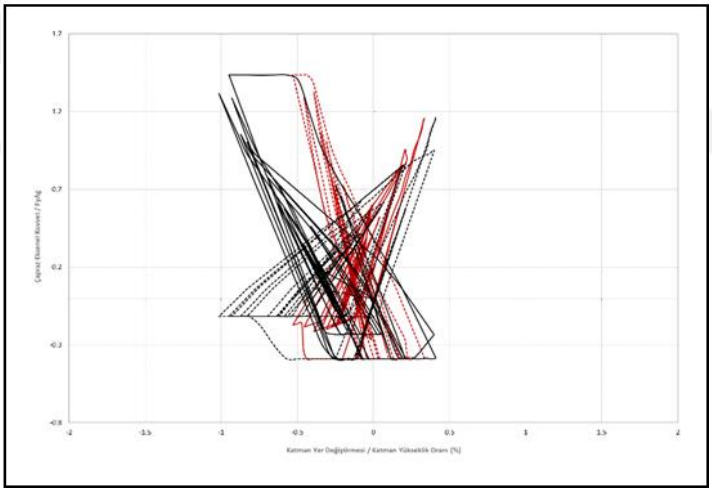
Şekil C1.15: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



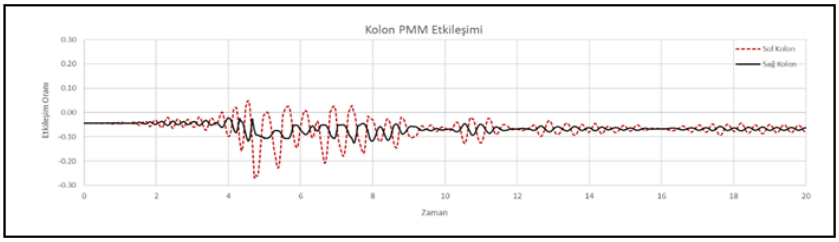
Şekil C1.16: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



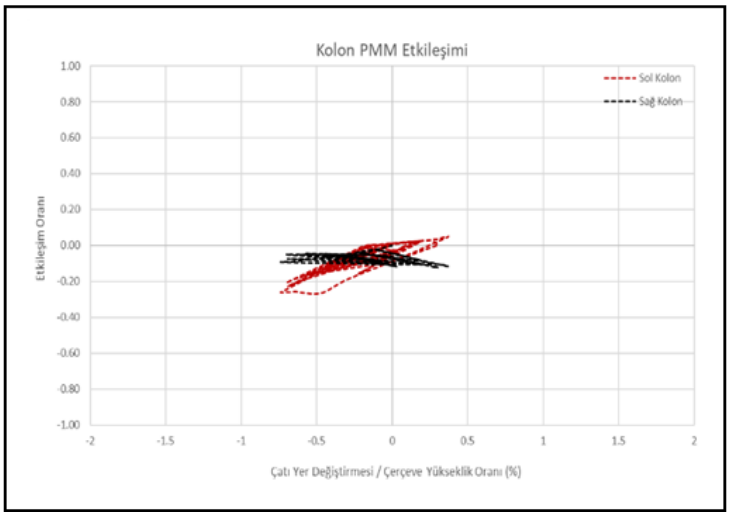
Şekil C1.17: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



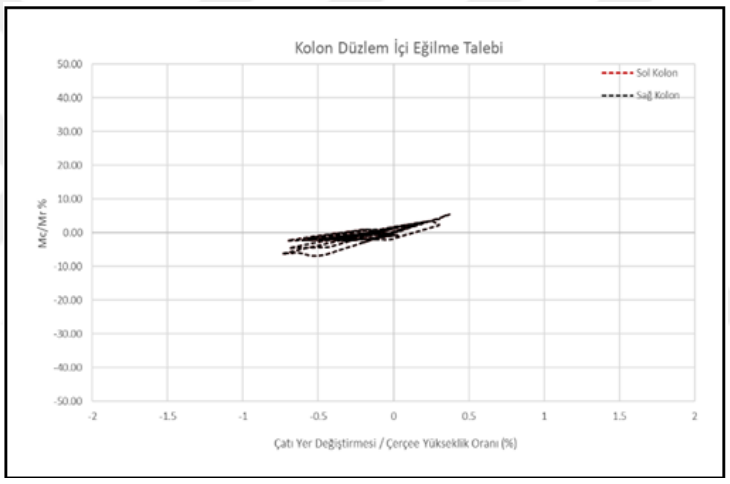
Şekil C1.18: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.19: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

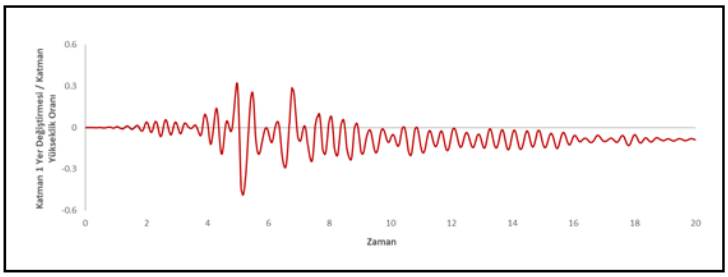


Şekil C1.20: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

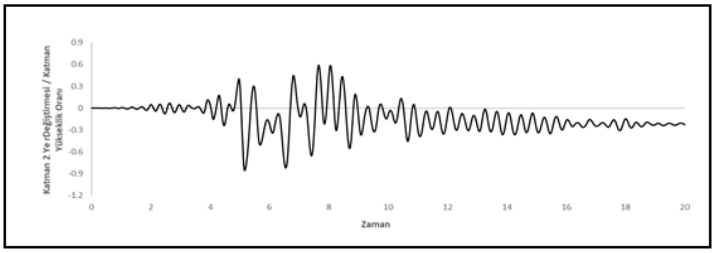


Şekil C1.21: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

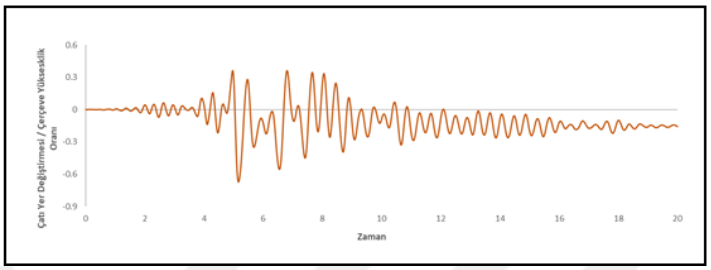
- **<u>RSN 960-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



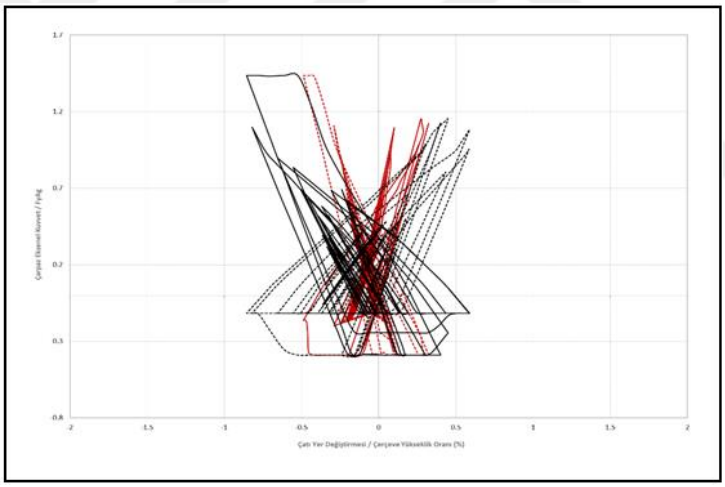
Şekil C1.22: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



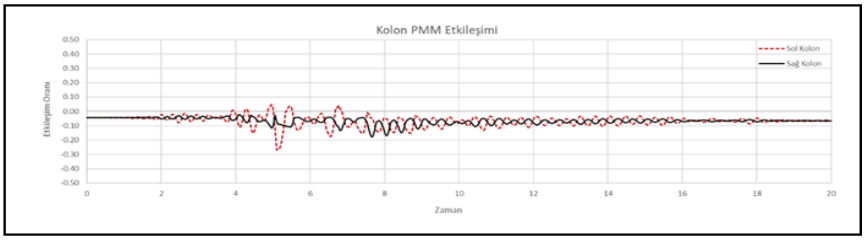
Şekil C1.23: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



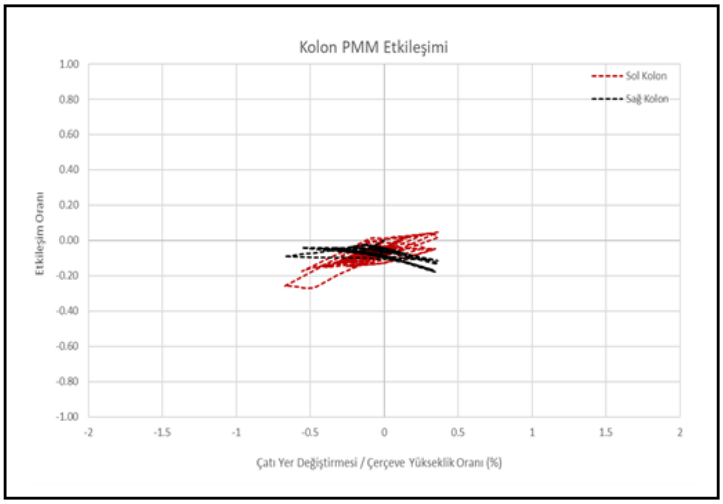
Şekil C1.24: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



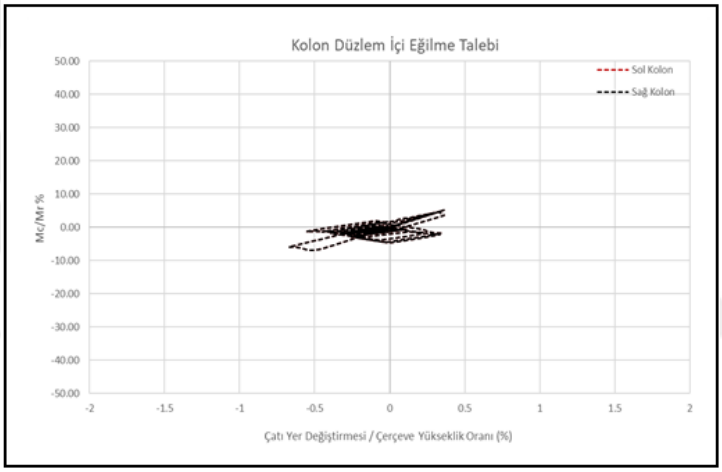
Şekil C1.25: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.26: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

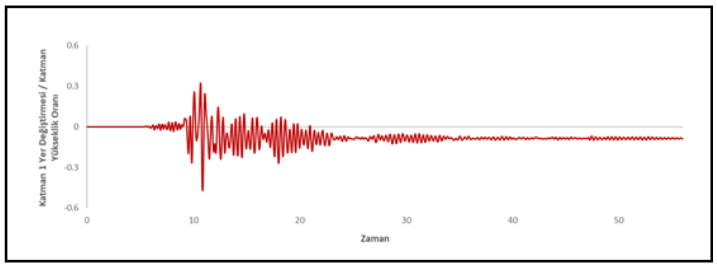


Şekil C1.27: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

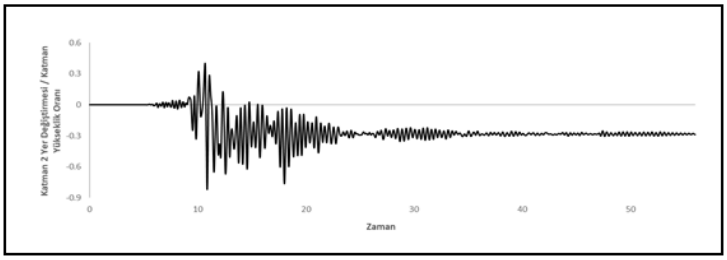


Şekil C1.28: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

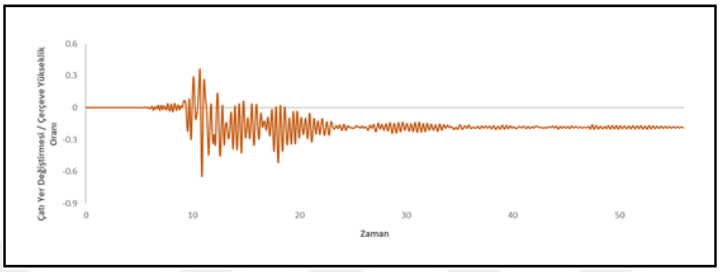
- **<u>RSN 1062-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



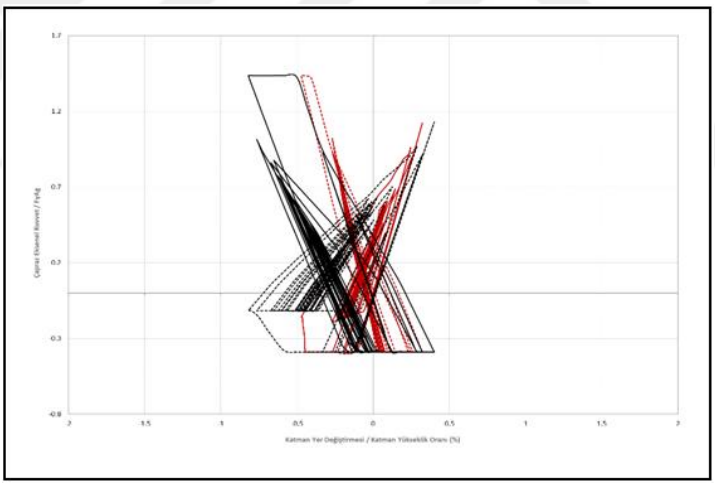
Şekil C1.29: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



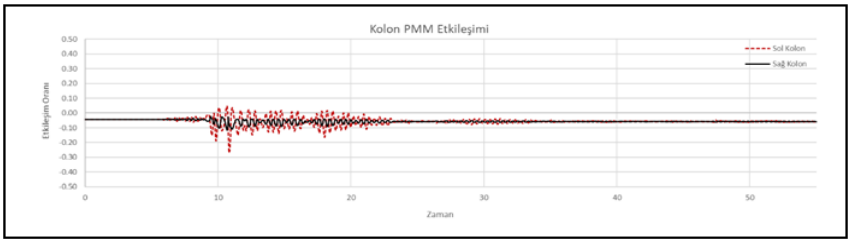
Şekil C1.30: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



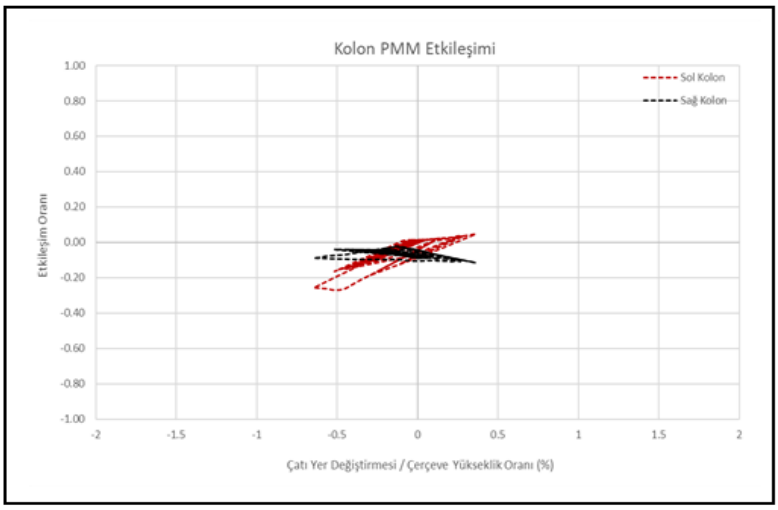
Şekil C1.31: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



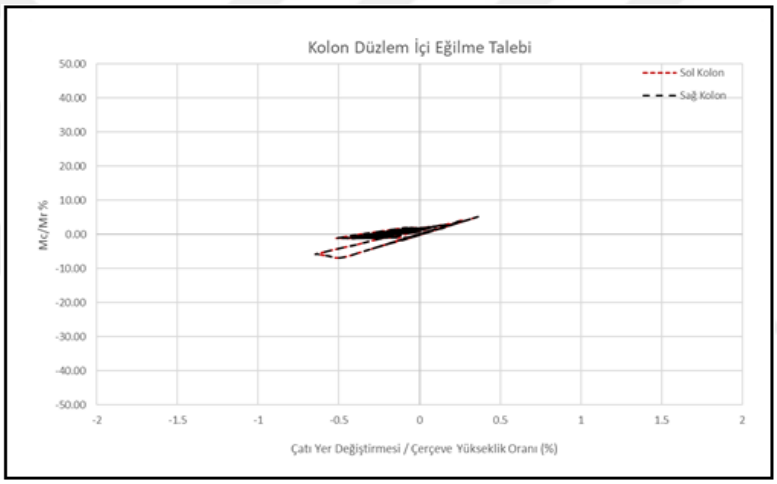
Şekil C1.32: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.33: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

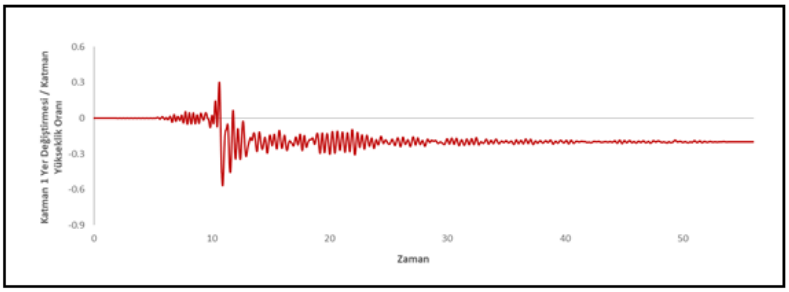


Şekil C1.34: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

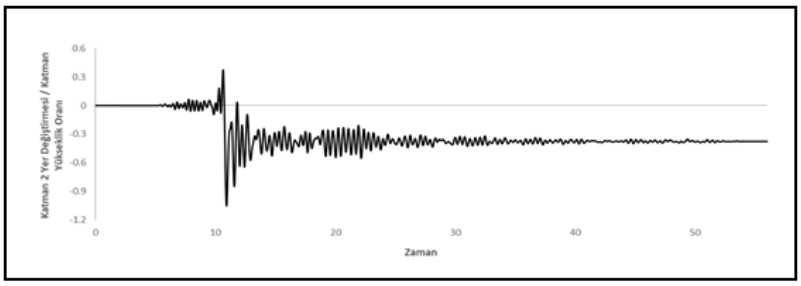


Şekil C1.35: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

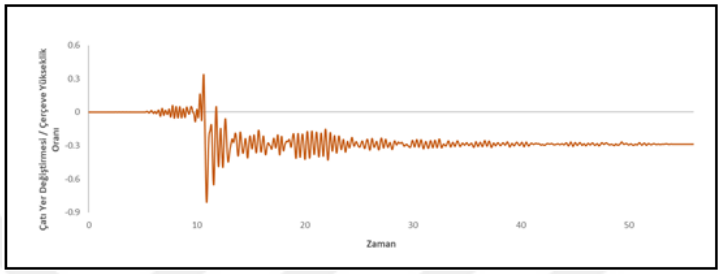
- **<u>RSN 1062-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



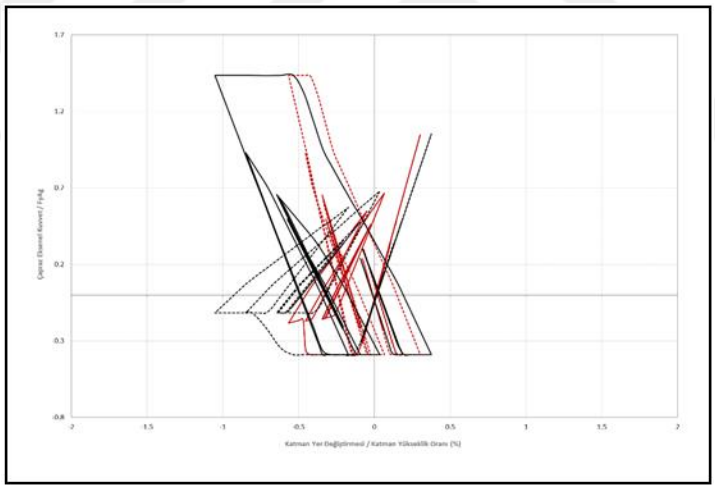
Şekil C1.36: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



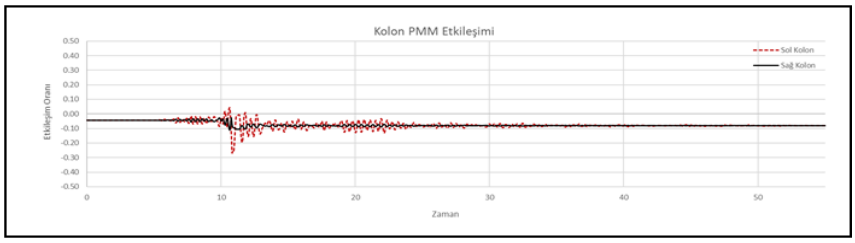
Şekil C1.37: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



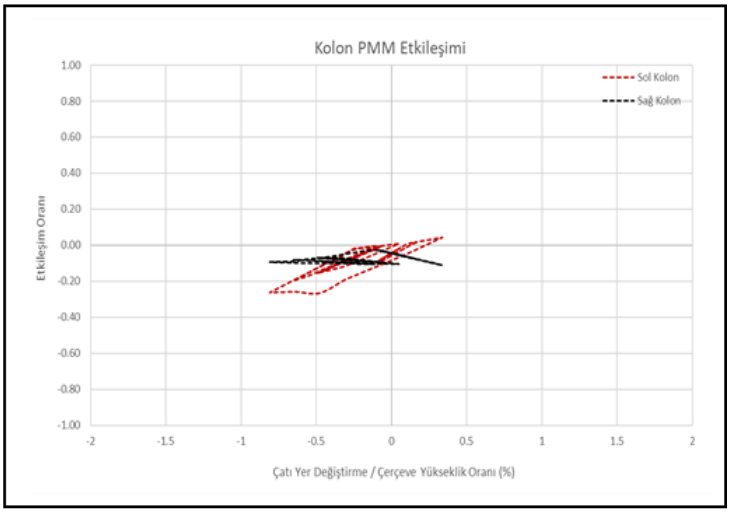
Şekil C1.38: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



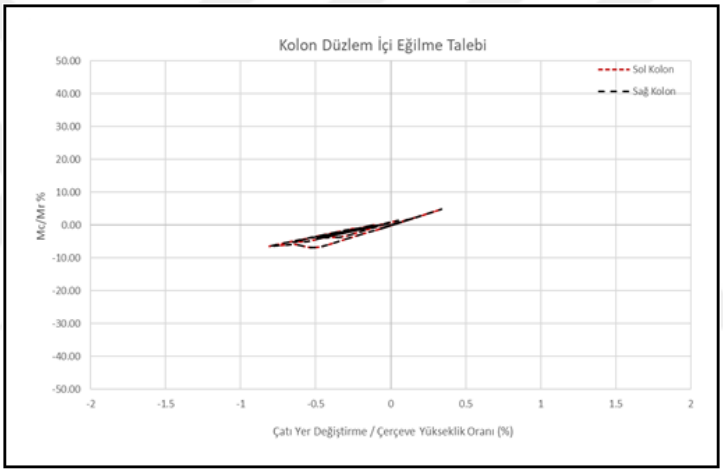
Şekil C1.39: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.40: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

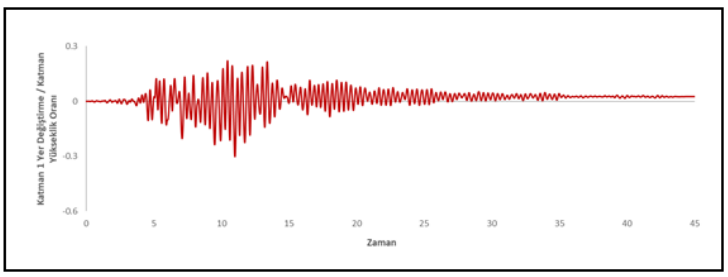


Şekil C1.41: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

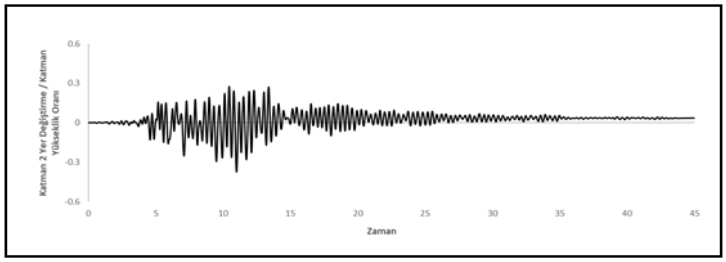


Şekil C1.42: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

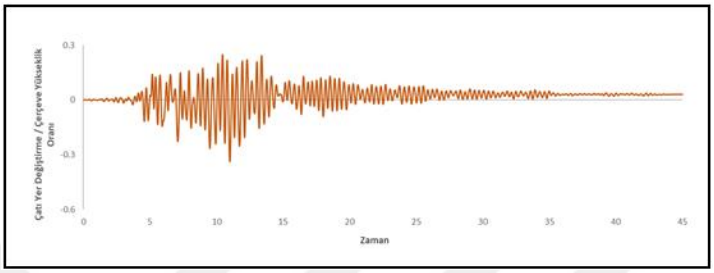
- **<u>RSN 1787-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



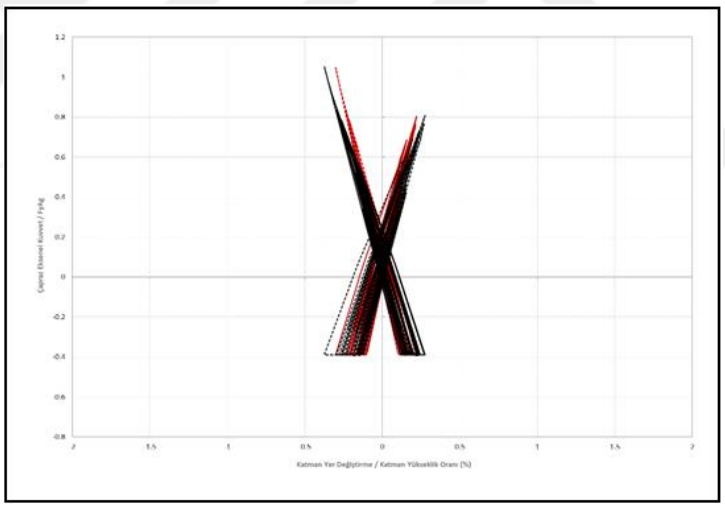
Şekil C1.43: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



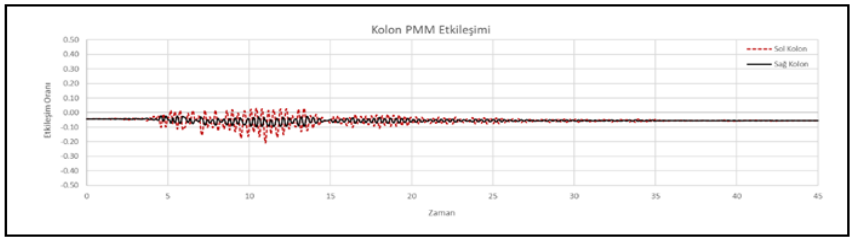
Şekil C1.44: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



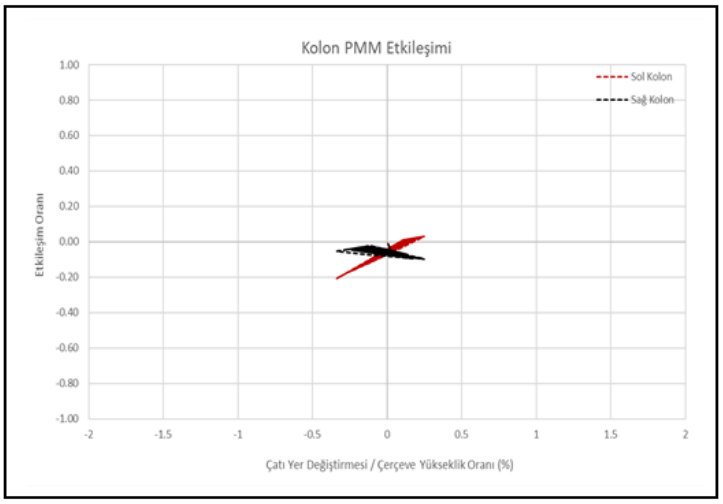
Şekil C1.45: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



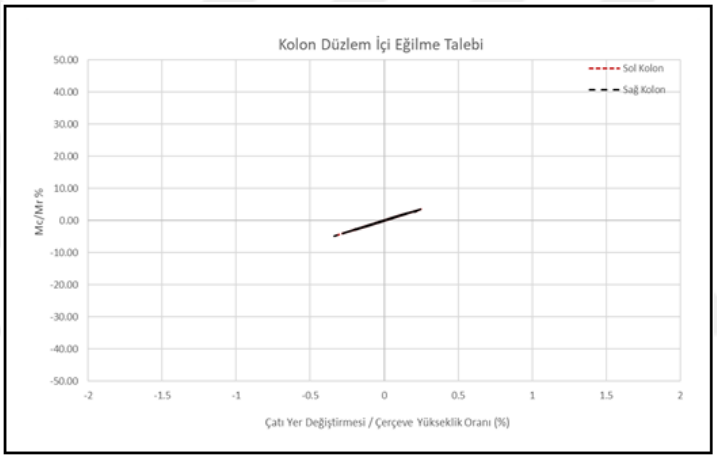
Şekil C1.46: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.47: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

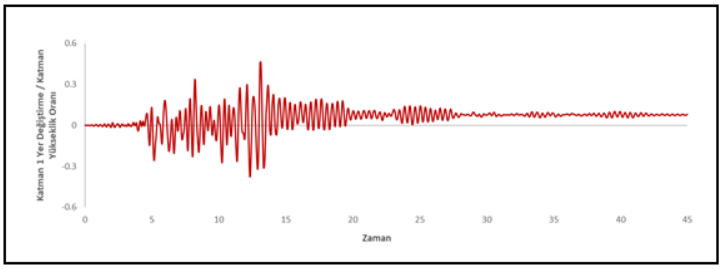


Şekil C1.48: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

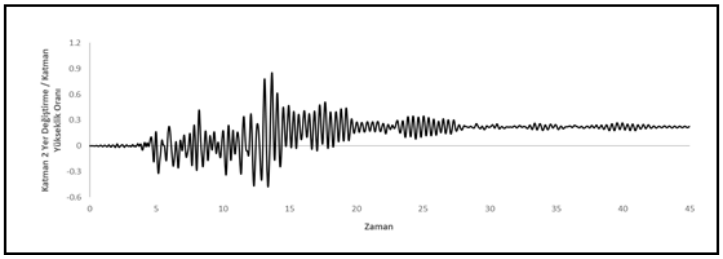


Şekil C1.49: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

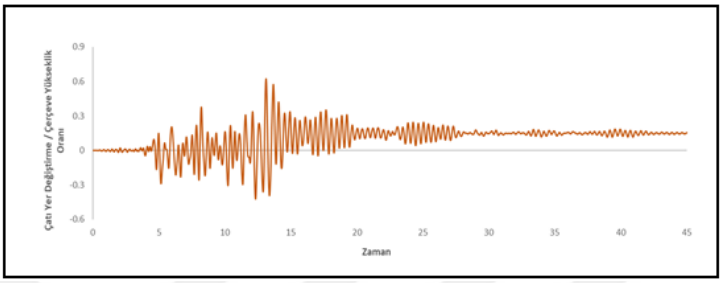
- **<u>RSN 1787-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



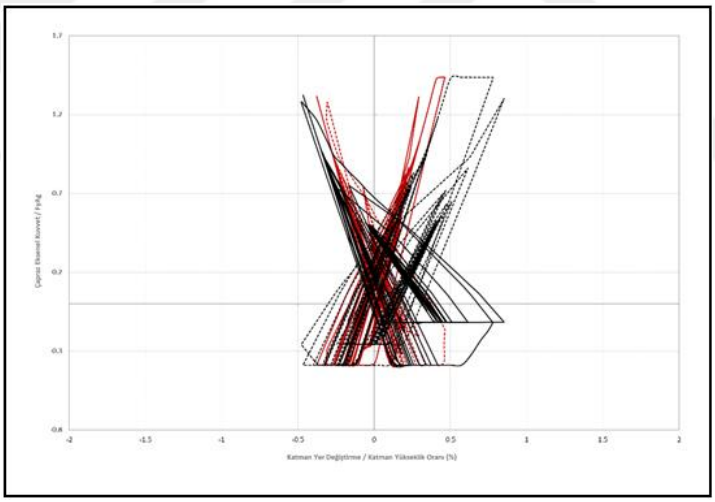
Şekil C1.50: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



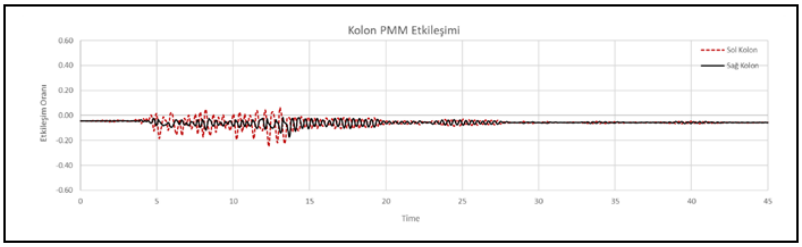
Şekil C1.51: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



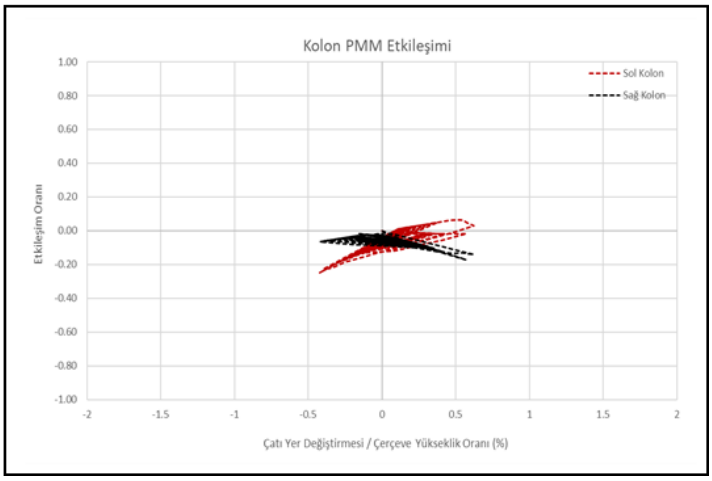
Şekil C1.52: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



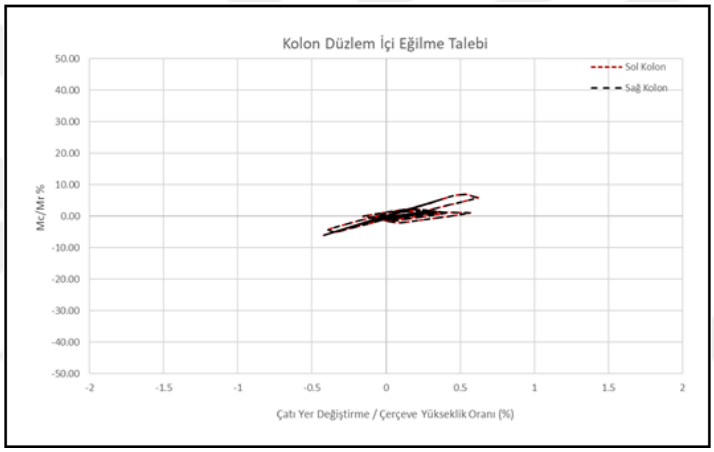
Şekil C1.53: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.54: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

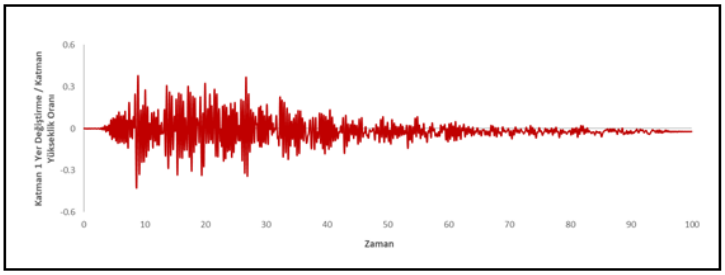


Şekil C1.55: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

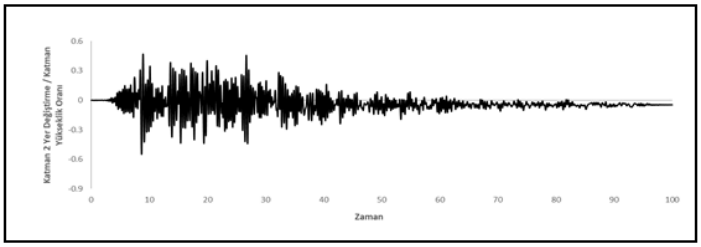


Şekil C1.56: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

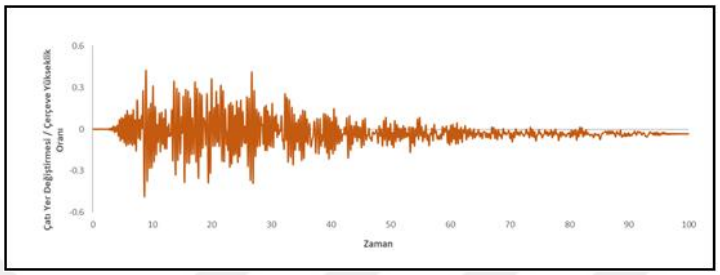
- **<u>RSN 169-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



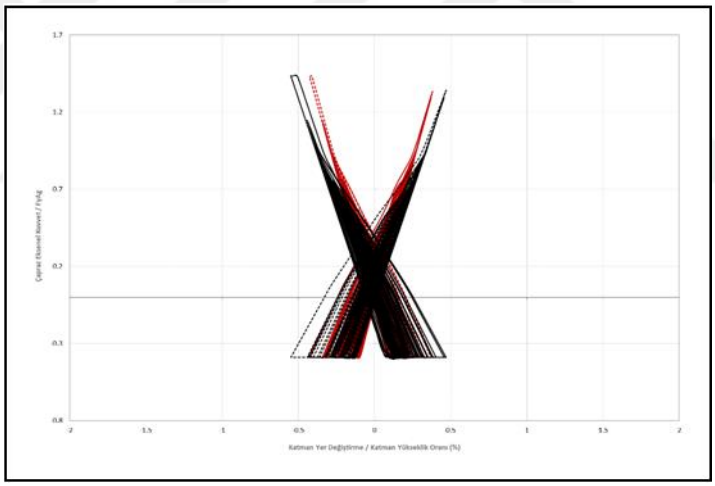
Şekil C1.57: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



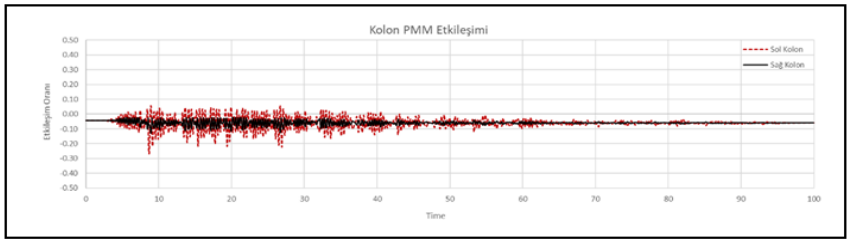
Şekil C1.58: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



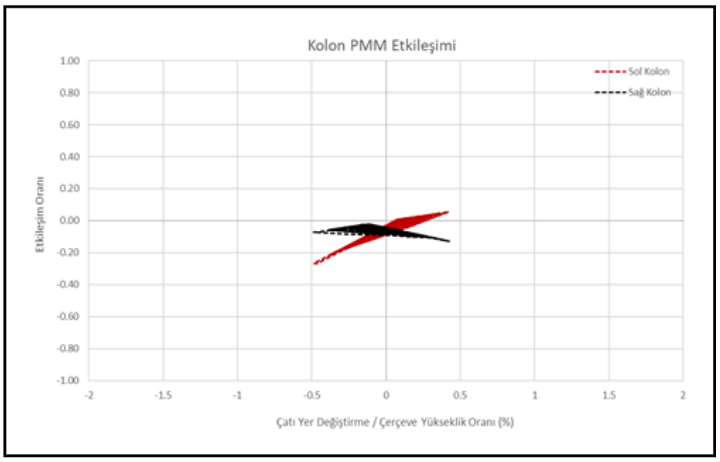
Şekil C1.59: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



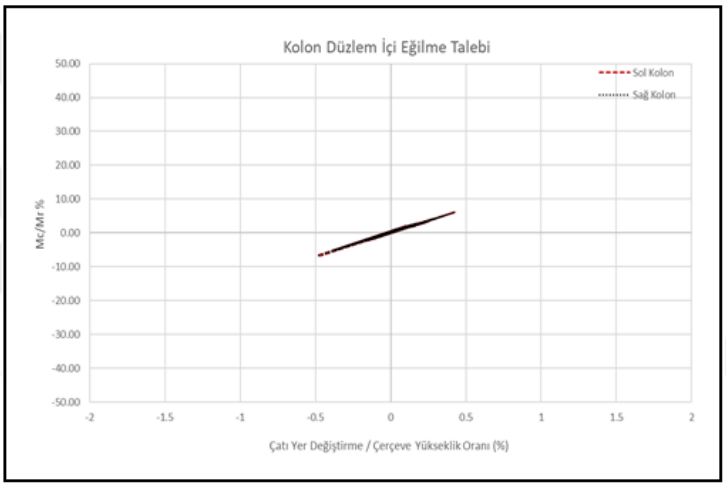
Şekil C1.60: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.61: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

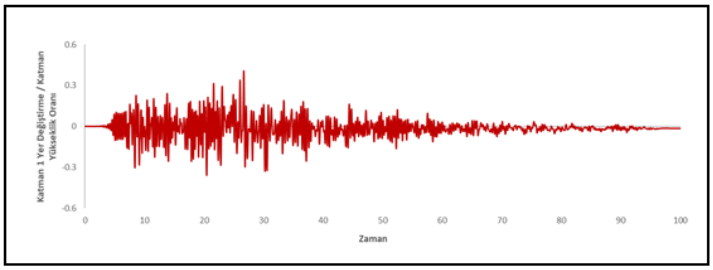


Şekil C1.62: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

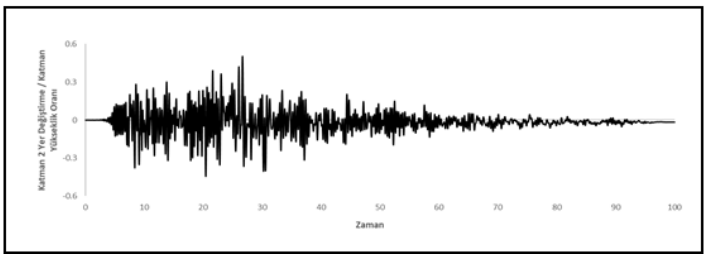


Şekil C1.63: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

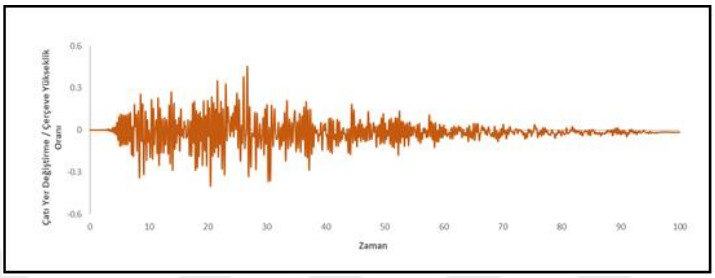
- **<u>RSN 169-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



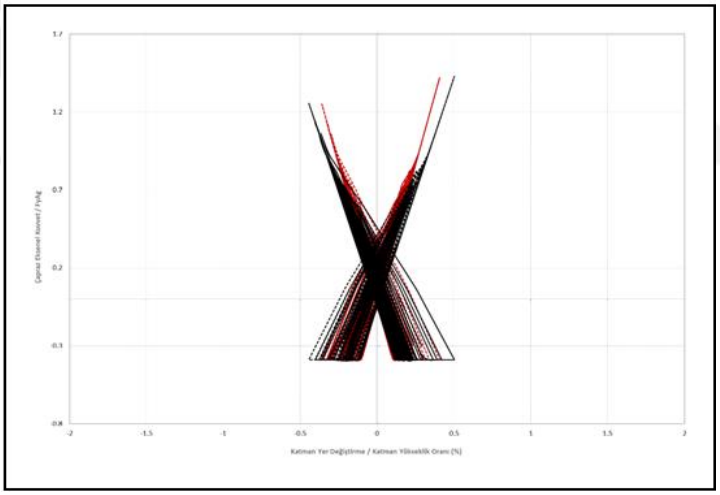
Şekil C1.64: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



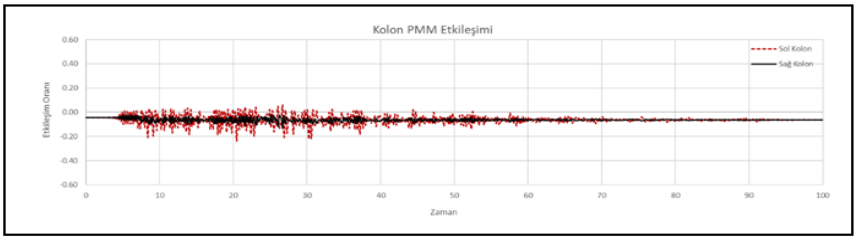
Şekil C1.65: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



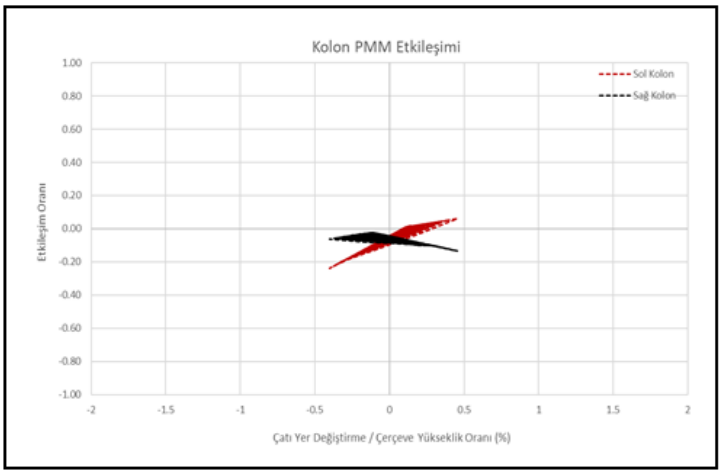
Şekil C1.66: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



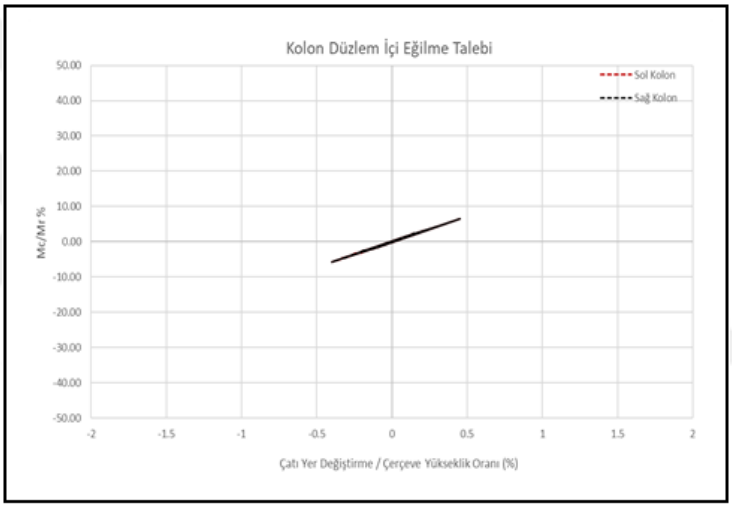
Şekil C1.67: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.68: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

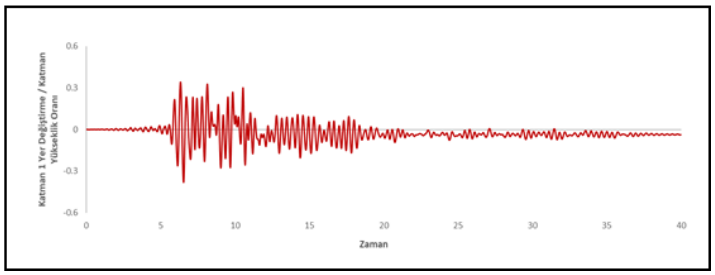


Şekil C1.69: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

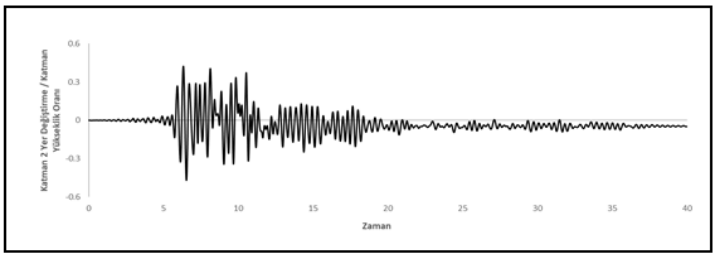


Şekil C1.70: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

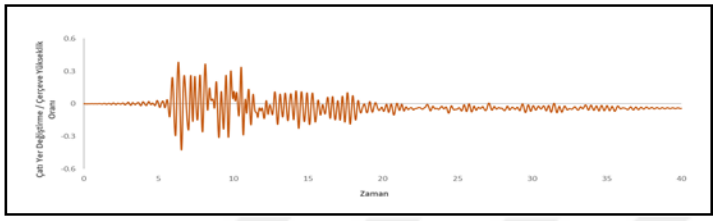
- **<u>RSN 174-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



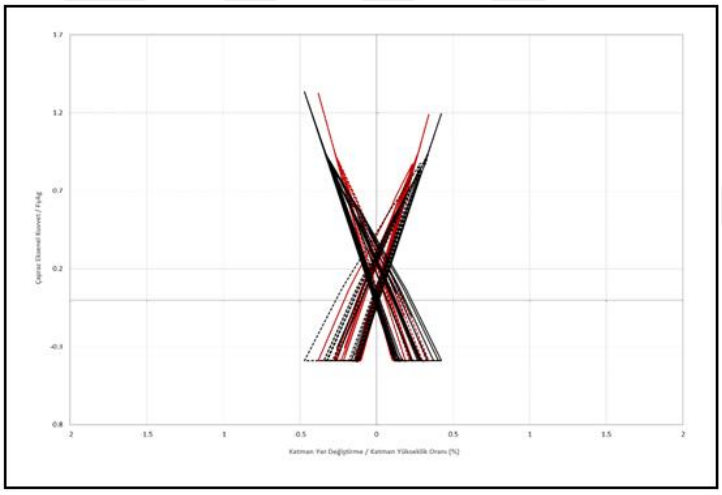
Şekil C1.71: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



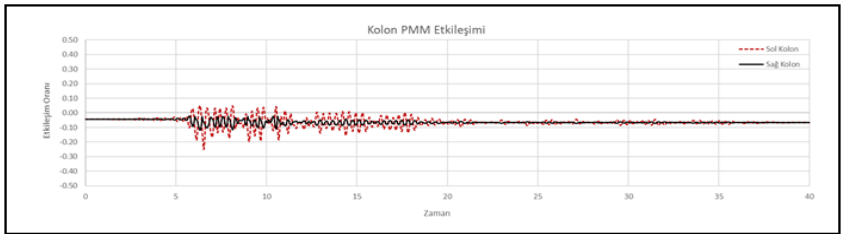
Şekil C1.72: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



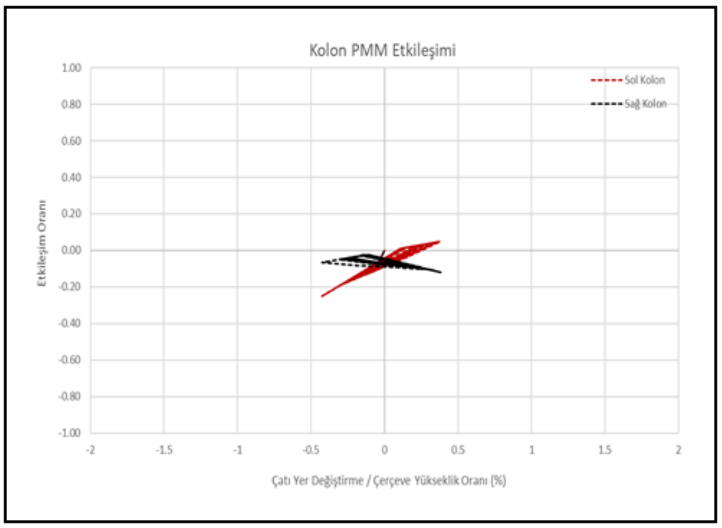
Şekil C1.73: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



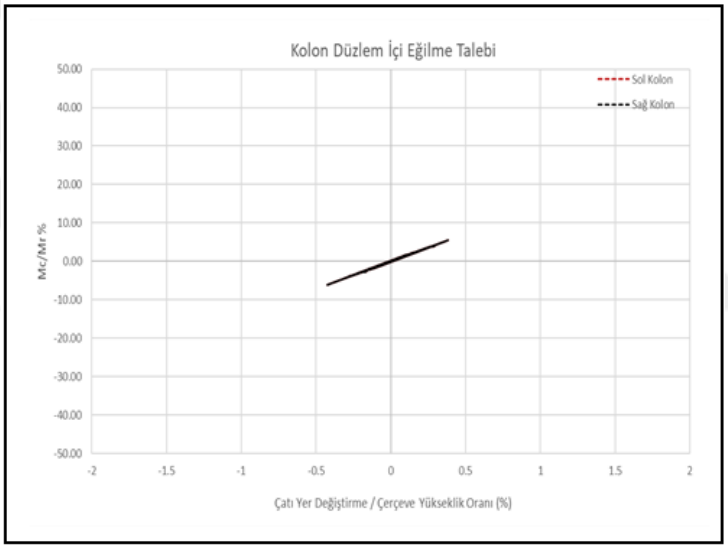
Şekil C1.74: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.75: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

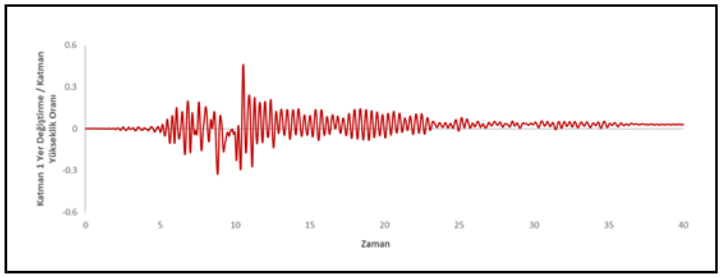


Şekil C1.76: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

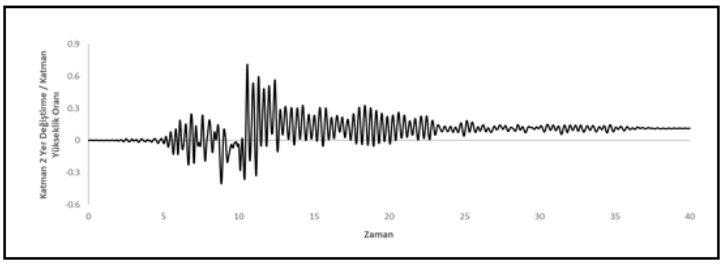


Şekil C1.77: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

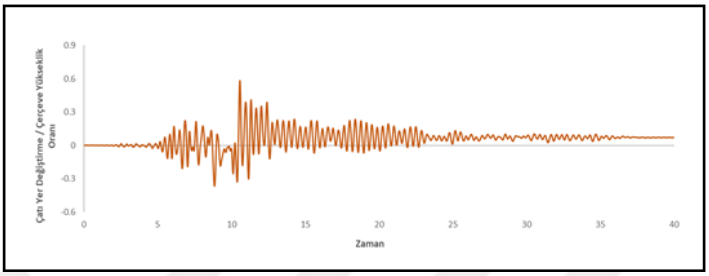
- **<u>RSN 174-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



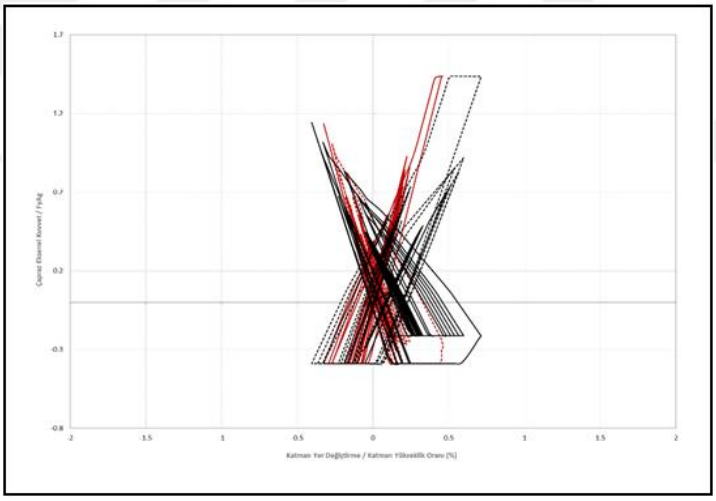
Şekil C1.78: Zaman – Katman 1 Yer Değiştirme Oranı (%).



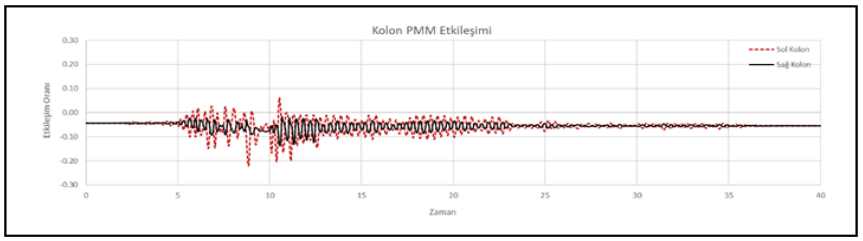
Şekil C1.79: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



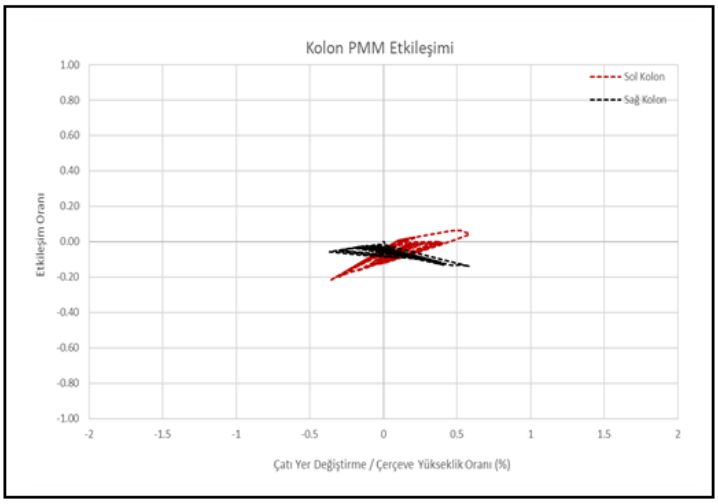
Şekil C1.80: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



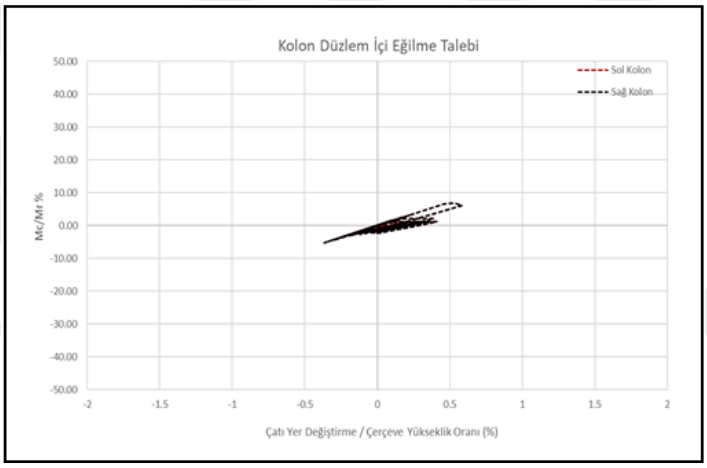
Şekil C1.81: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.82: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

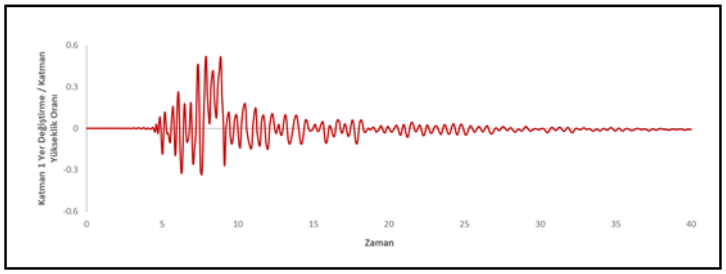


Şekil C1.83: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

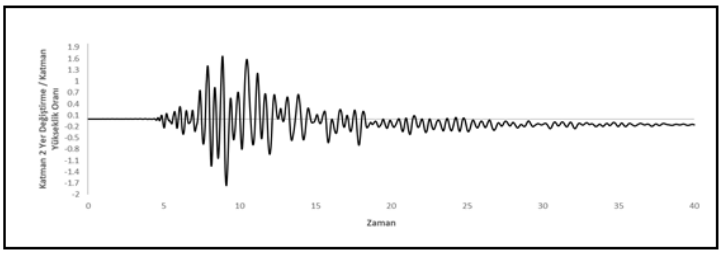


Şekil C1.84: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

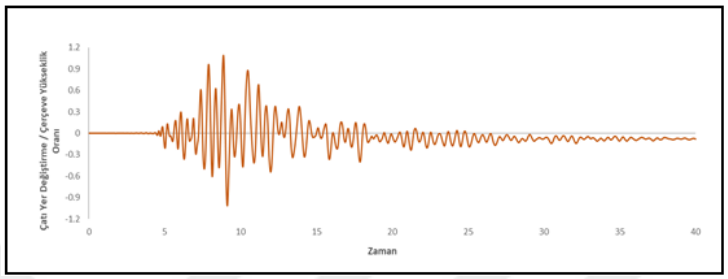
- **<u>RSN 1111-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



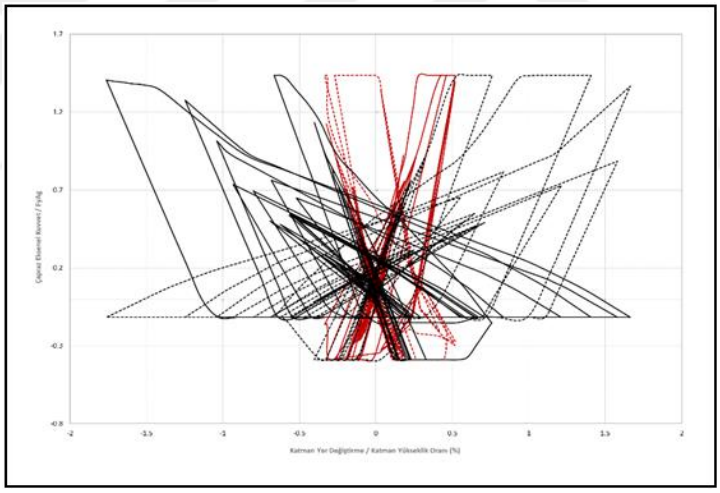
Şekil C1.85: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



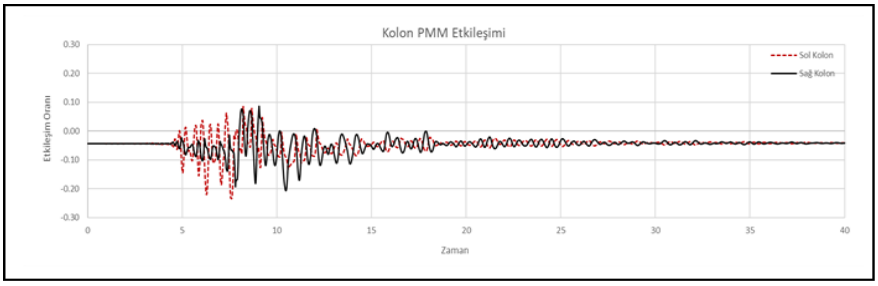
Şekil C1.86: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



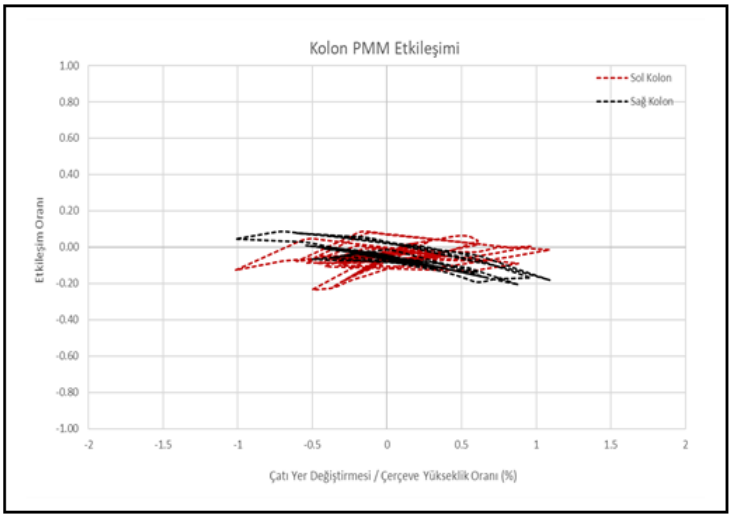
Şekil C1.87: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



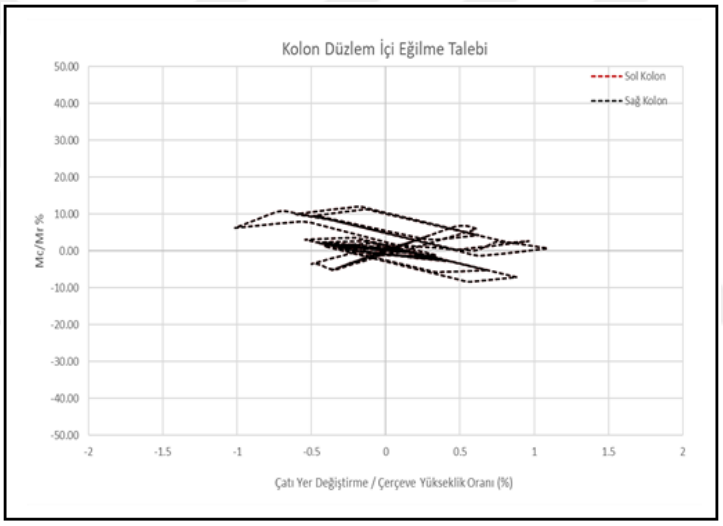
Şekil C1.88: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.89: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

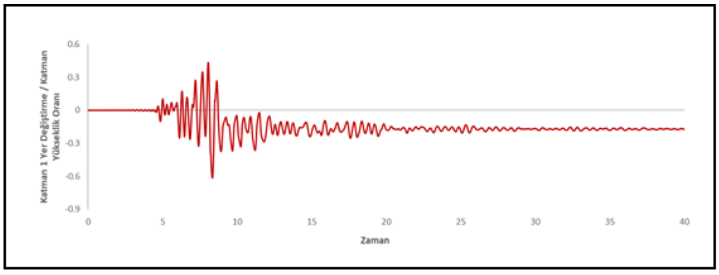


Şekil C1.90: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

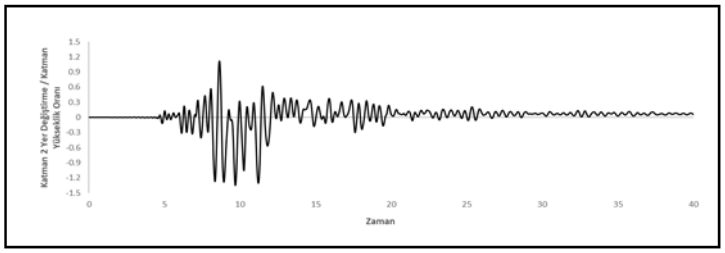


Şekil C1.91: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

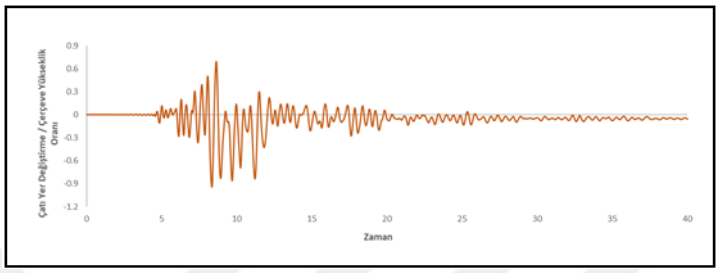
- **<u>RSN 1111-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



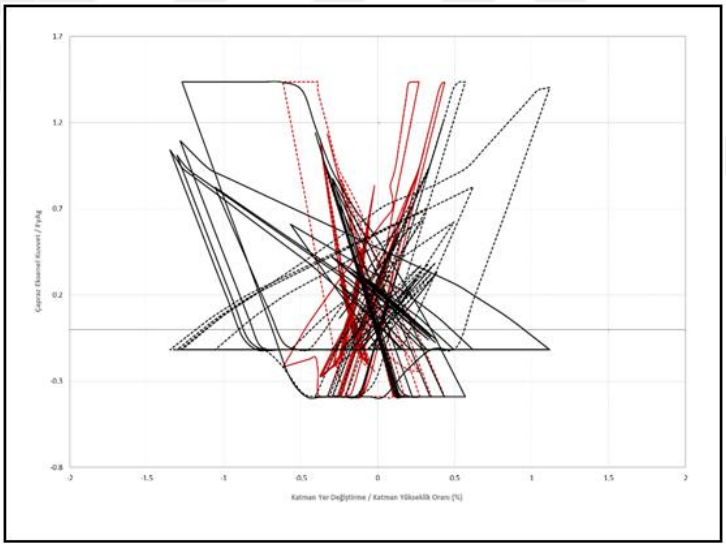
Şekil C1.92: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



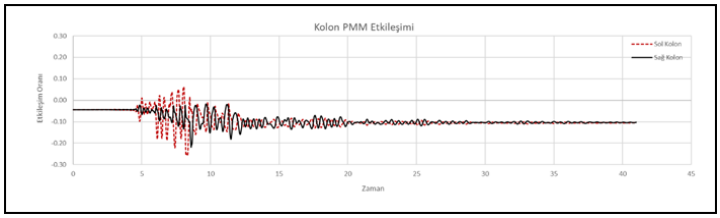
Şekil C1.93: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



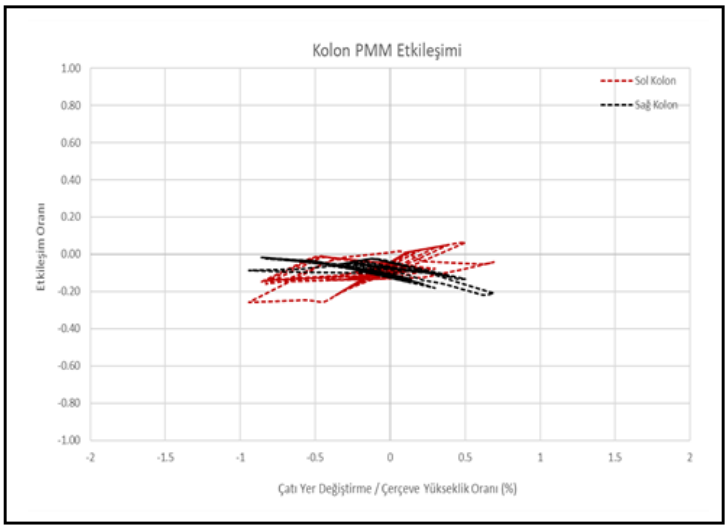
Şekil C1.94: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



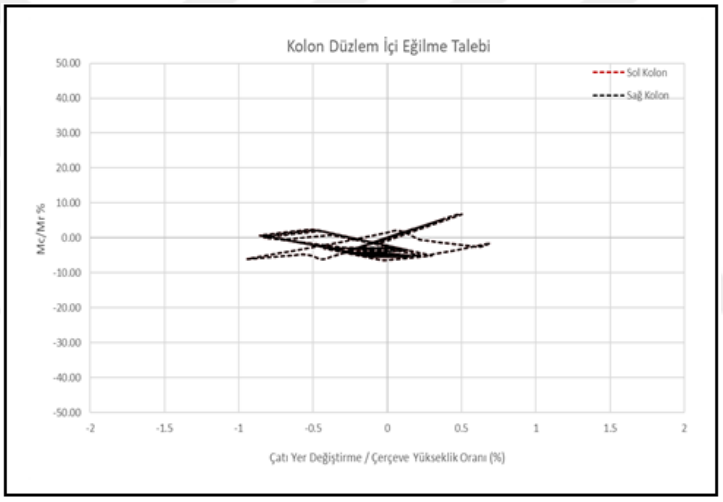
Şekil C1.95: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.96: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

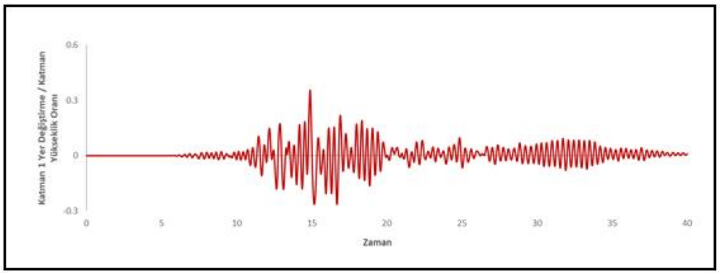


Şekil C1.97: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

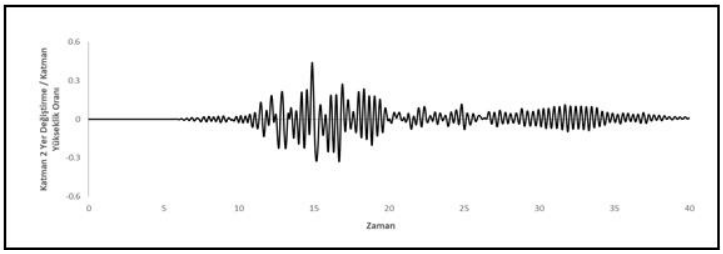


Şekil C1.98: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

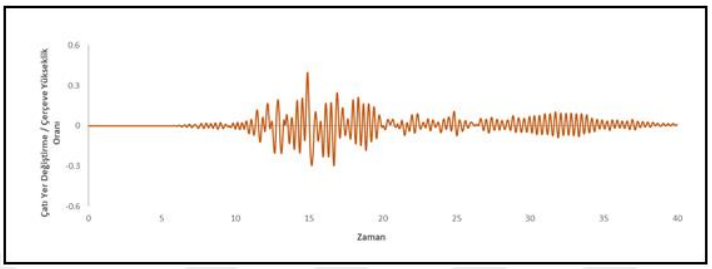
- **<u>RSN 1116-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



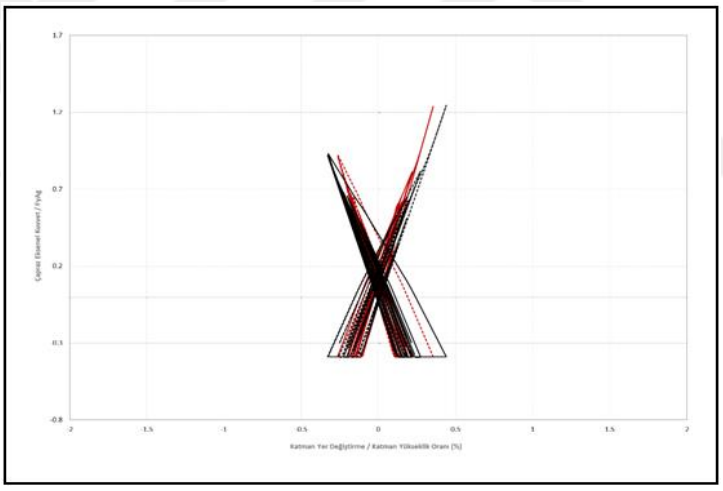
Şekil C1.99: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



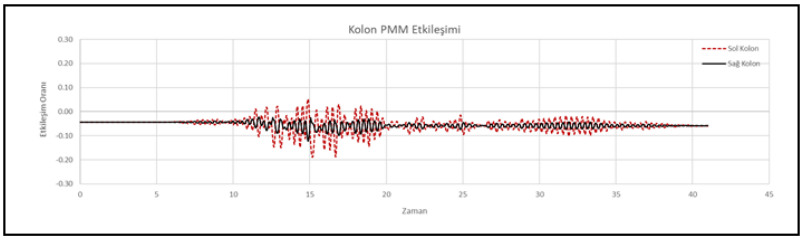
Şekil C1.100: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



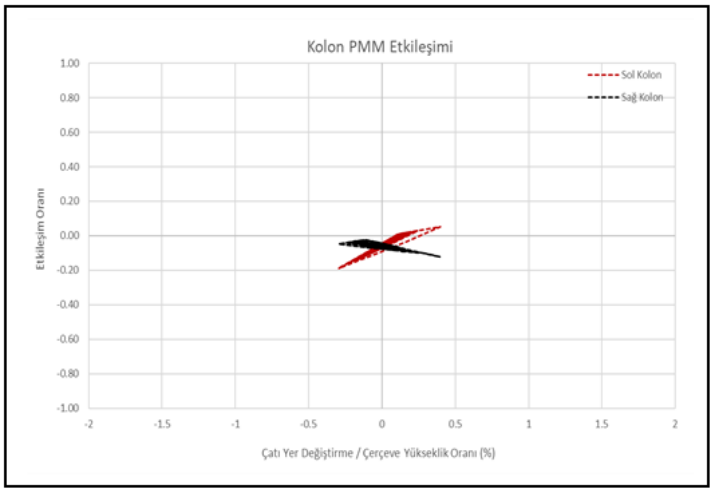
Şekil C1.101: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



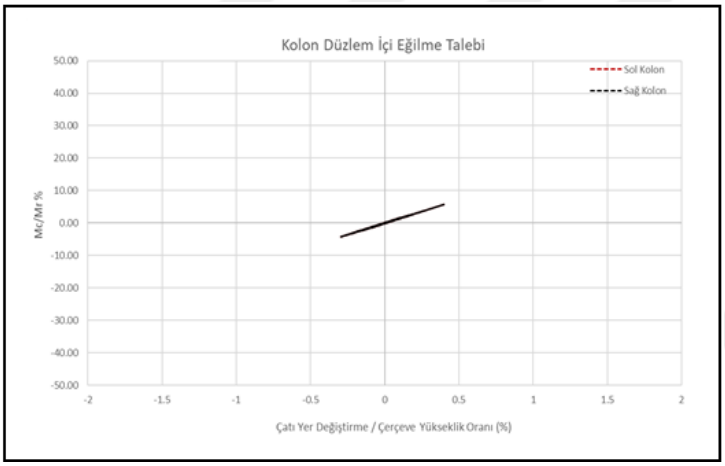
Şekil C1.102: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.103: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

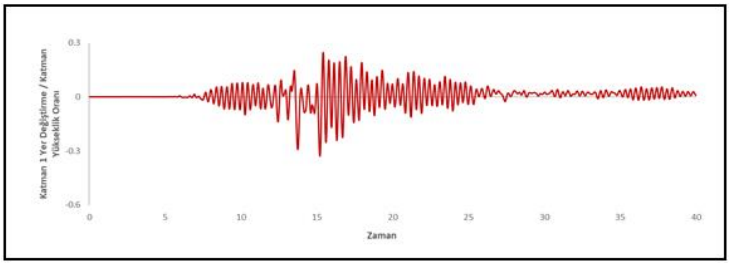


Şekil C1.104: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

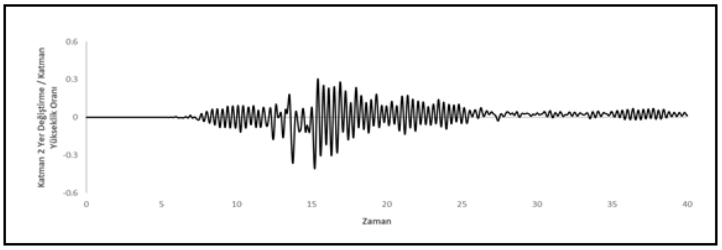


Şekil C1.105: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

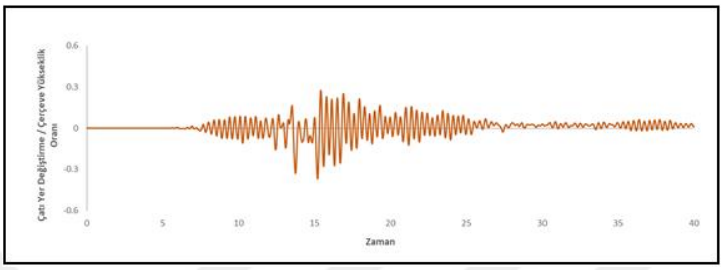
- **<u>RSN 1116-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



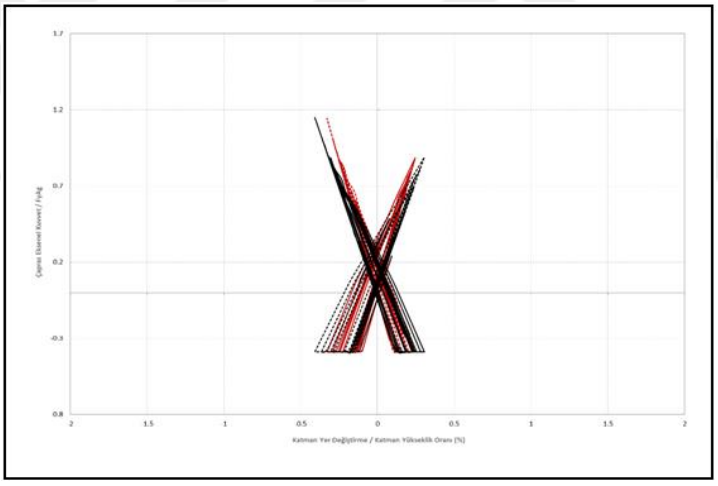
Şekil C1.106: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



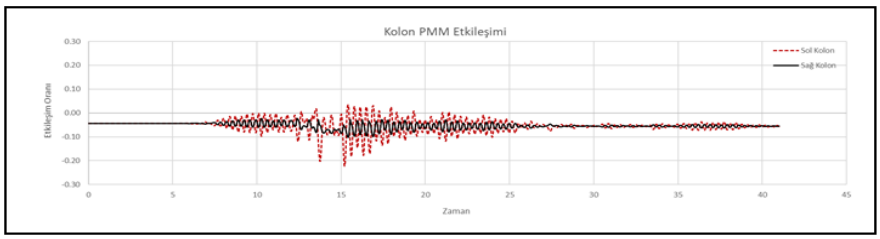
Şekil C1.107: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



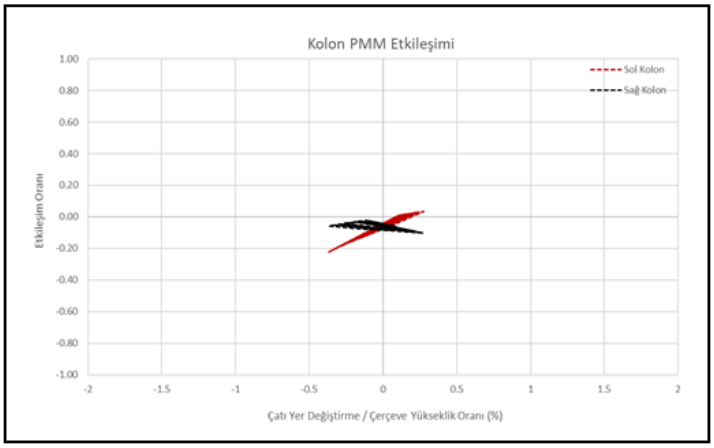
Şekil C1.108: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



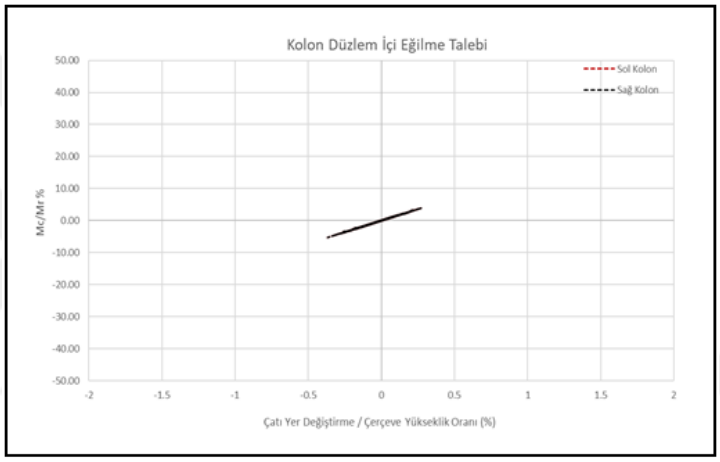
Şekil C1.109: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.110: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

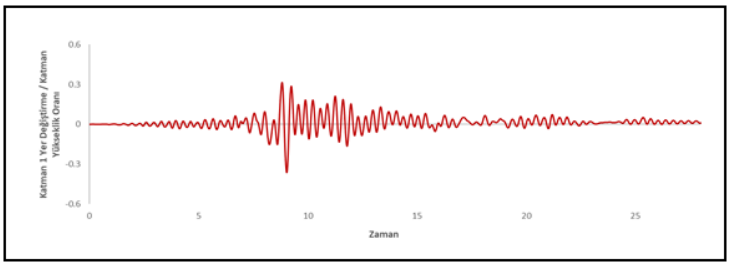


Şekil C1.111: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

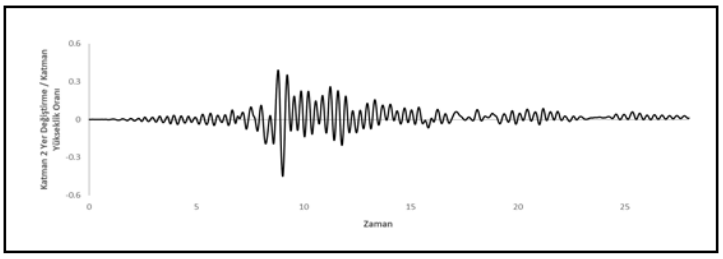


Şekil C1.112: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

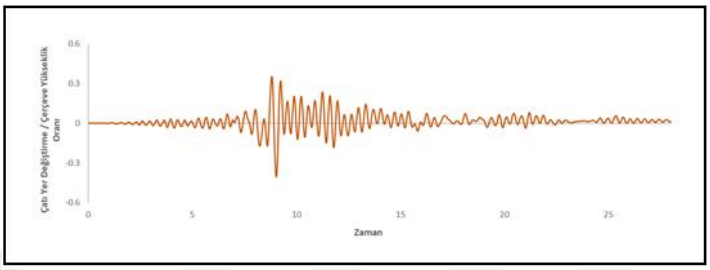
- **<u>RSN 1158-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



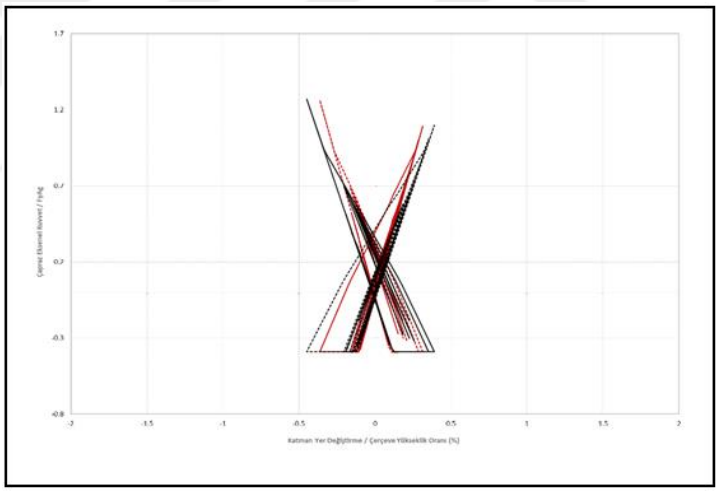
Şekil C1.113: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



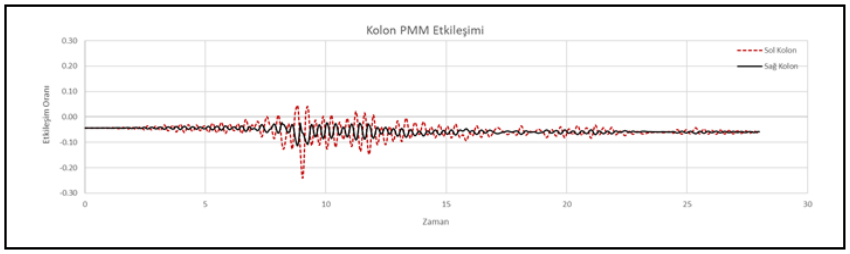
Şekil C1.114: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



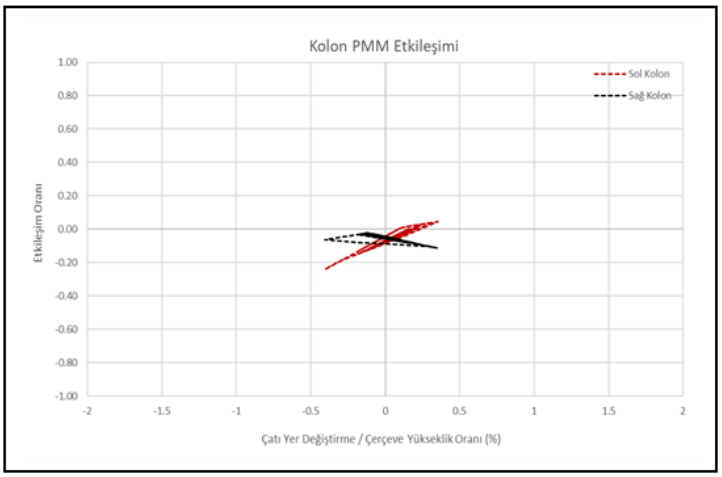
Şekil C1.115: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



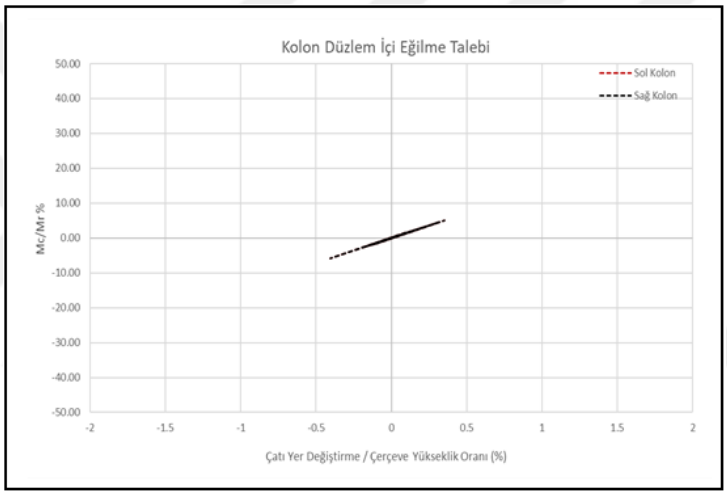
Şekil C1.116: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.117: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

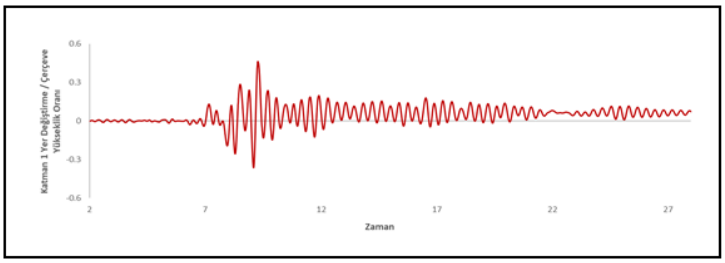


Şekil C1.118: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

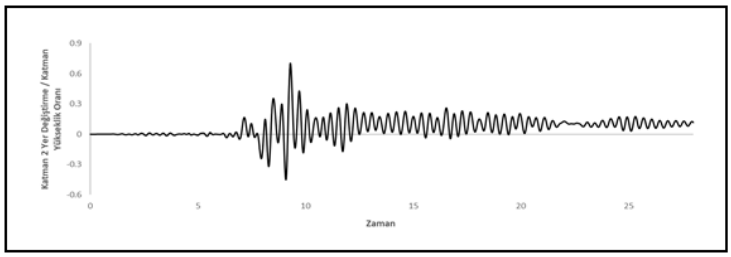


Şekil C1.119: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

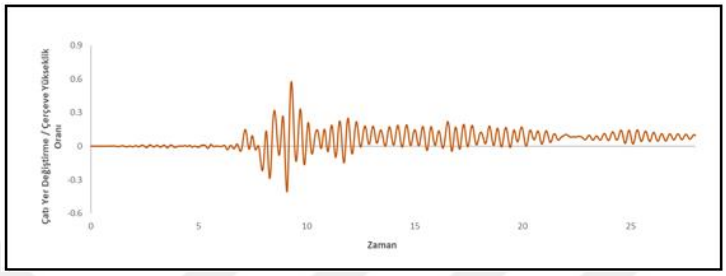
- **<u>RSN 1158-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



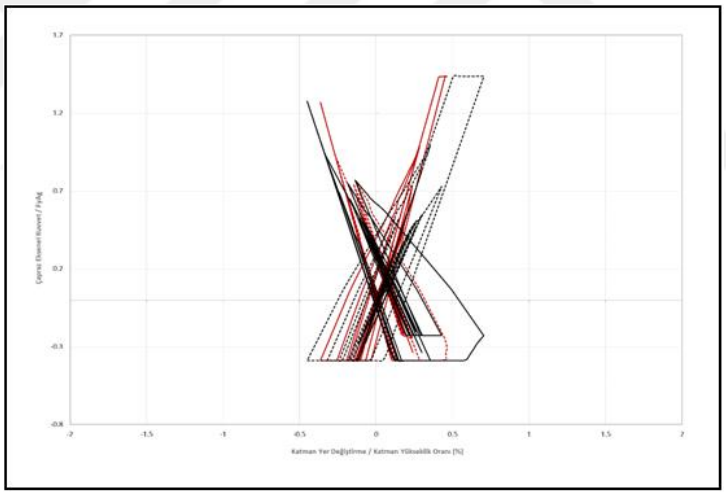
Şekil C1.120: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



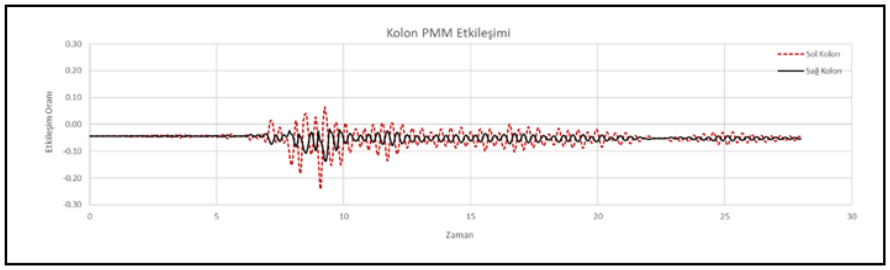
Şekil C1.121: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



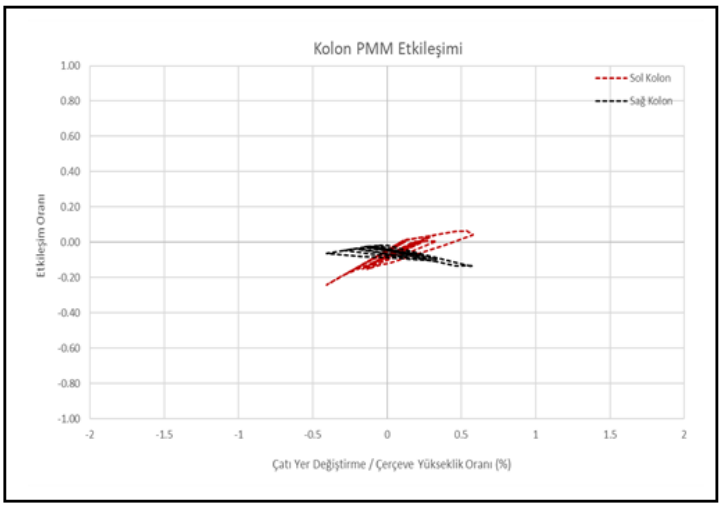
Şekil C1.122: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



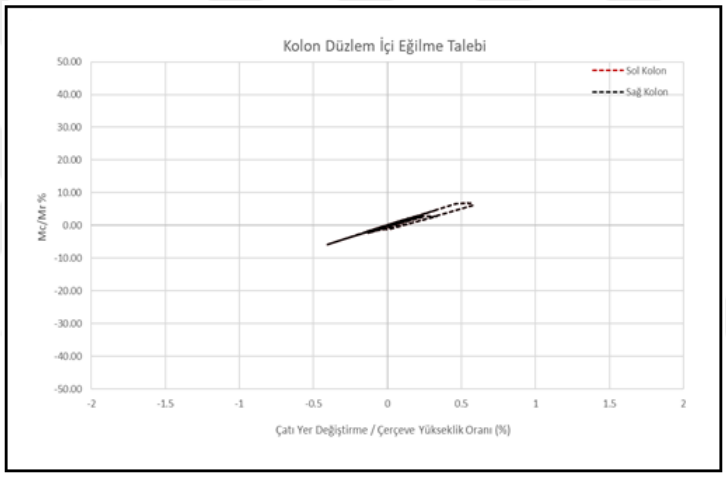
Şekil C1.123: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.124: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

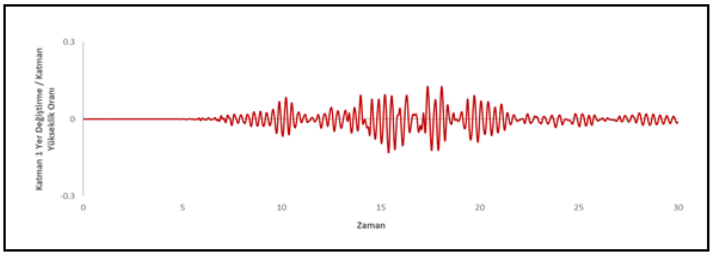


Şekil C1.125: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

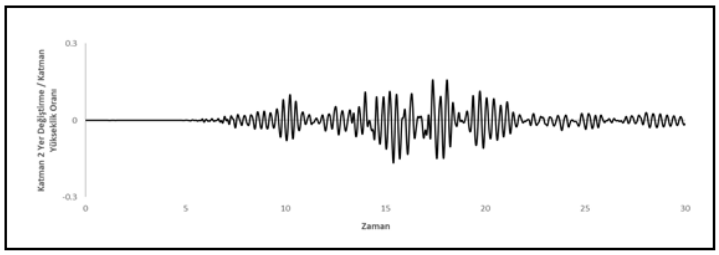


Şekil C1.126: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

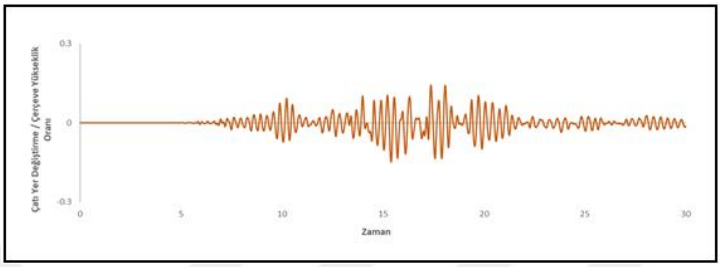
- **<u>RSN 1148-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



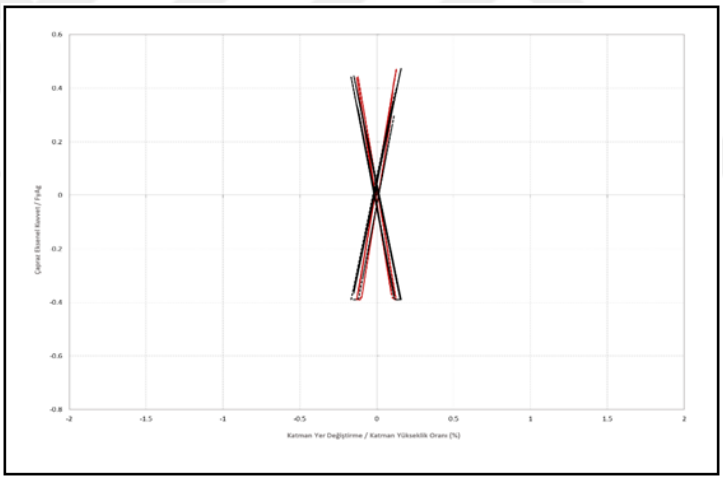
Şekil C1.127: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



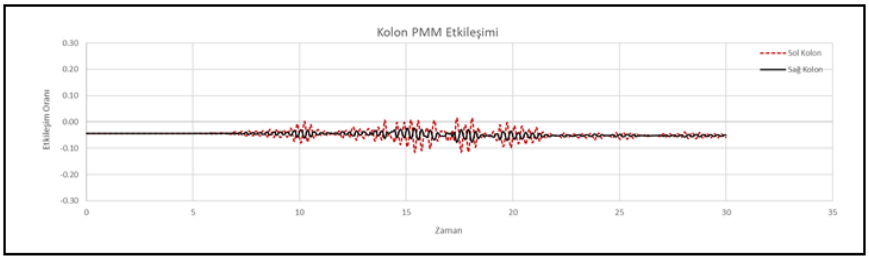
Şekil C1.128: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



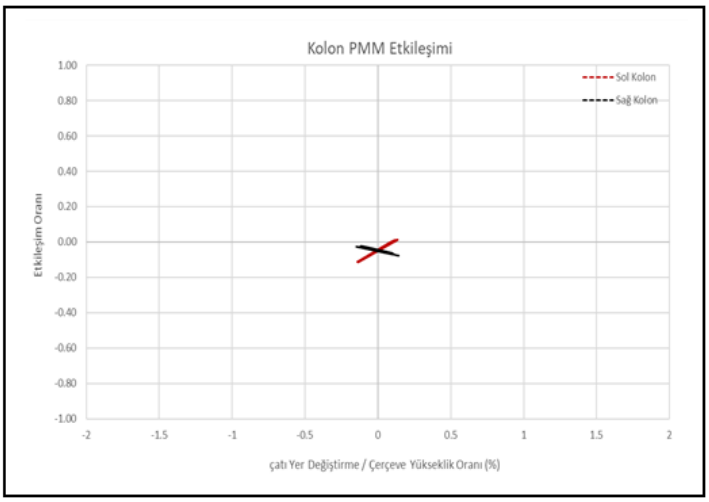
Şekil C1.129: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



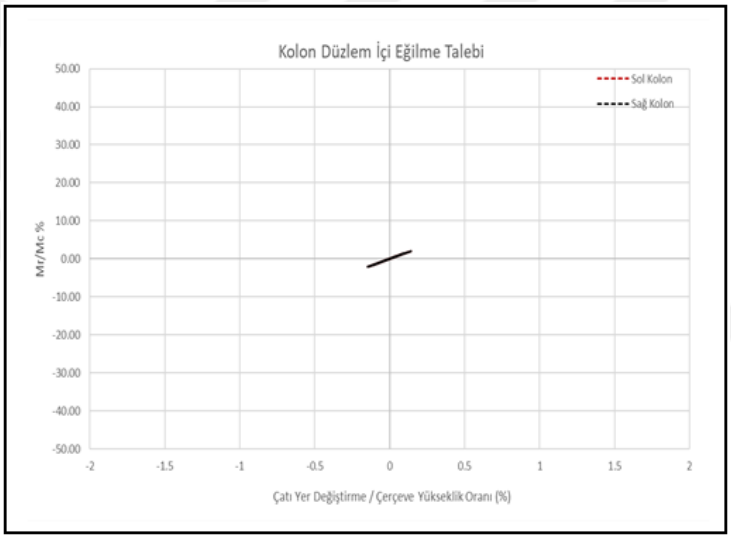
Şekil C1.130: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.131: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

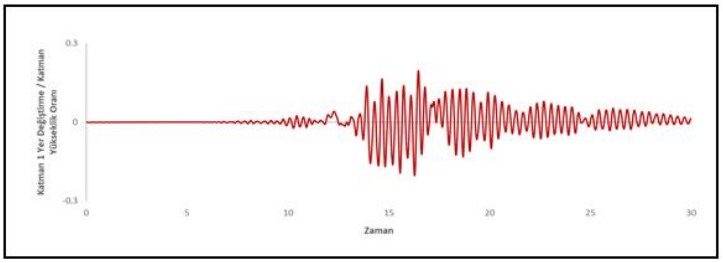


Şekil C1.132: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

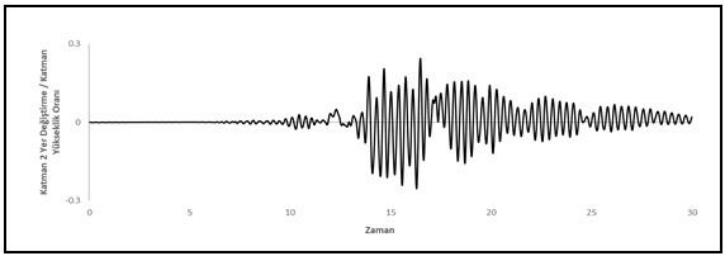


Şekil C1.133: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

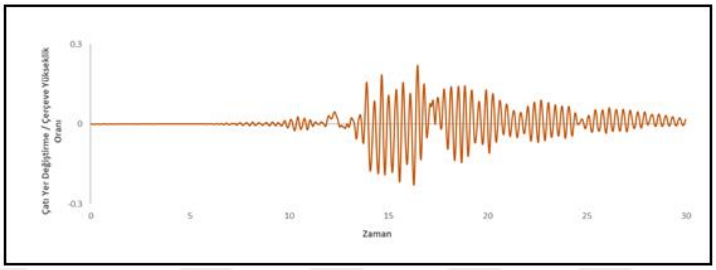
- **<u>RSN 1148-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



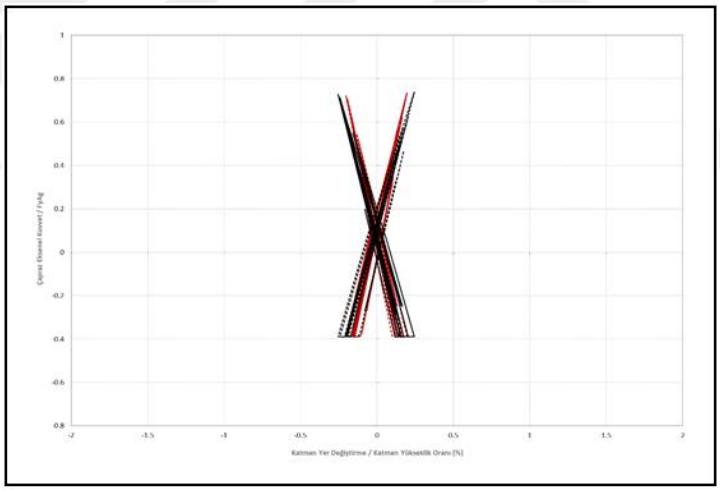
Şekil C1.134: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



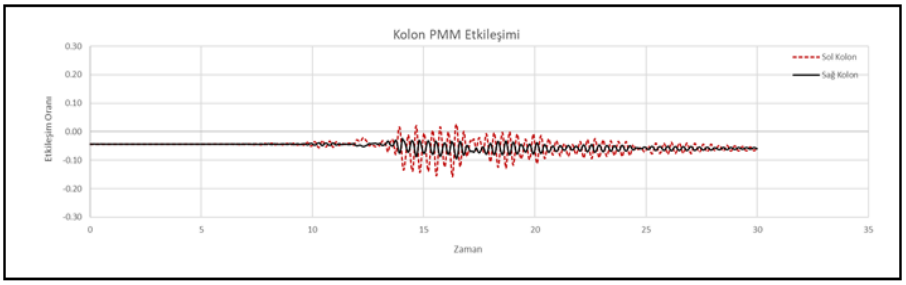
Şekil C1.135: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



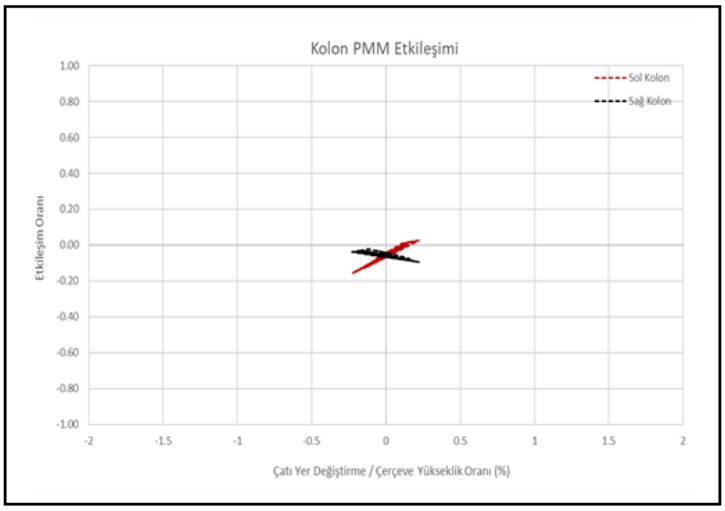
Şekil C1.136: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



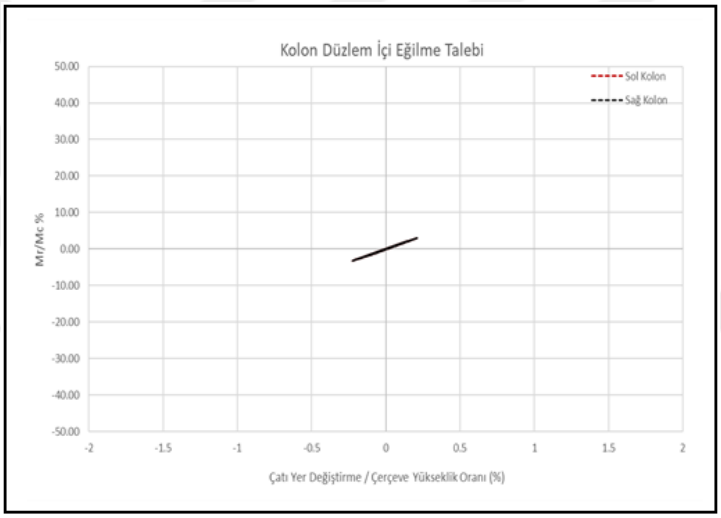
Şekil C1.137: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.138: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

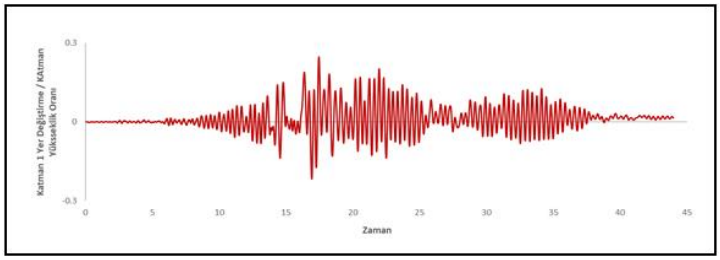


Şekil C1.139: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

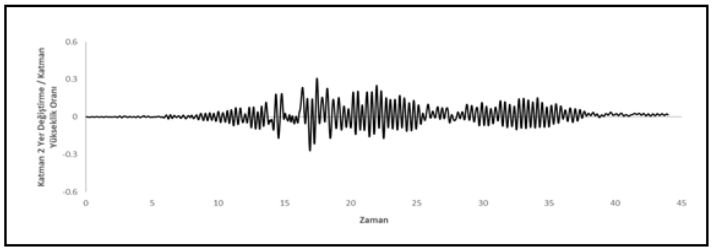


Şekil C1.140: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

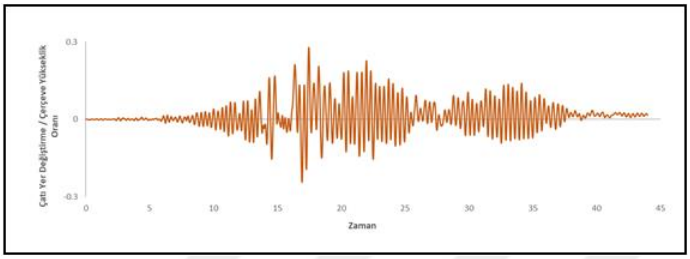
- **<u>RSN 900-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



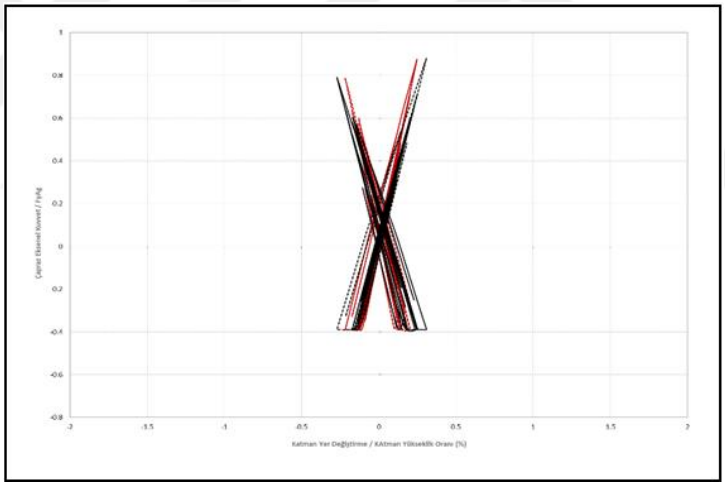
Şekil C1.141: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



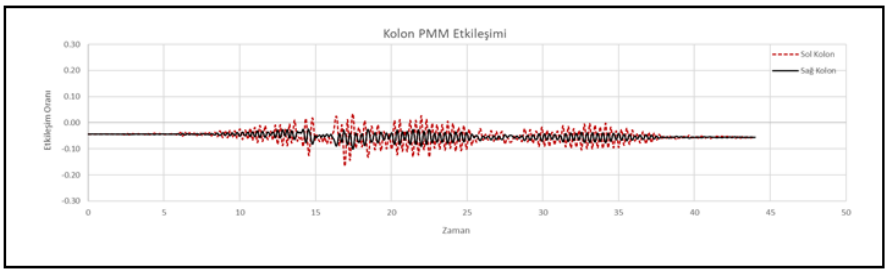
Şekil C1.142: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



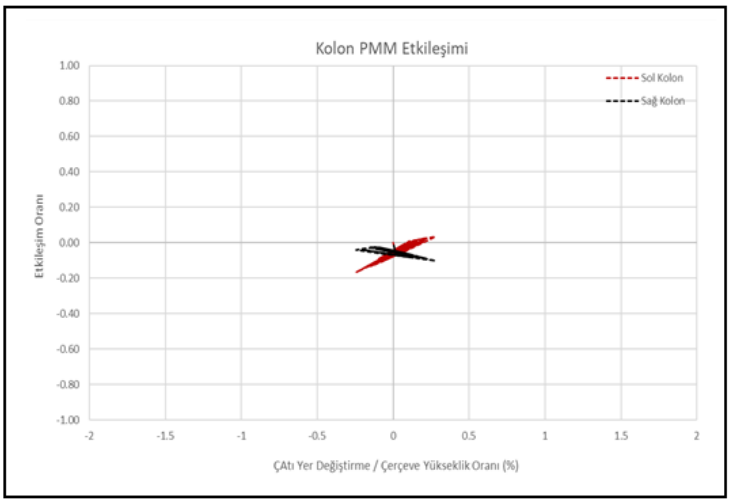
Şekil C1.143: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



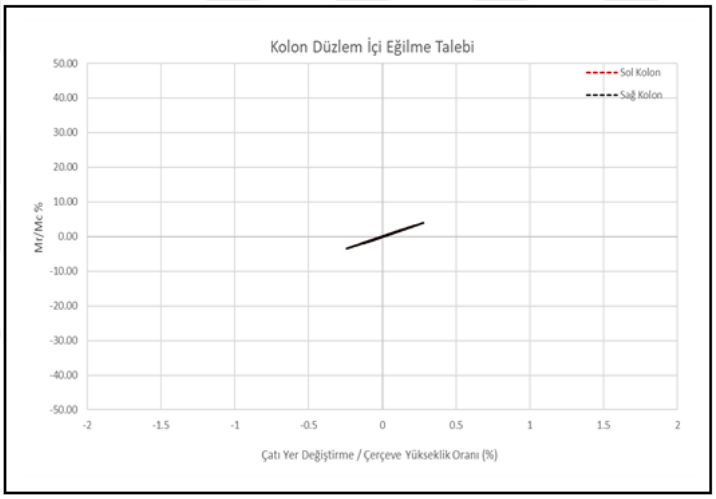
Şekil C1.144: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.145: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.



Şekil C1.146: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

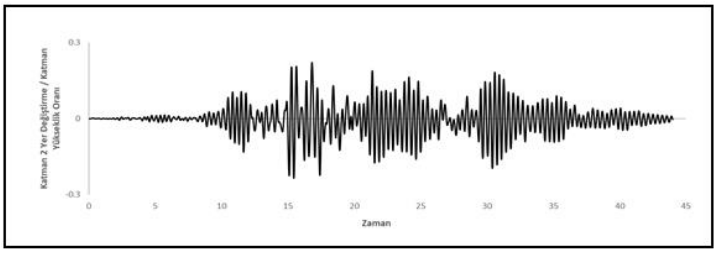


Şekil C1.147: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

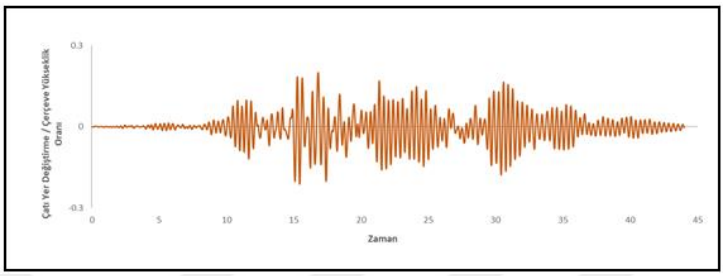
- **<u>RSN 900-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



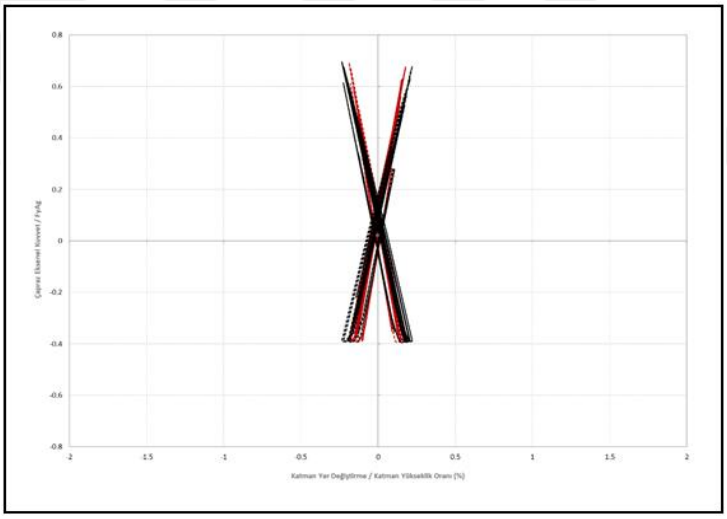
Şekil C1.148: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



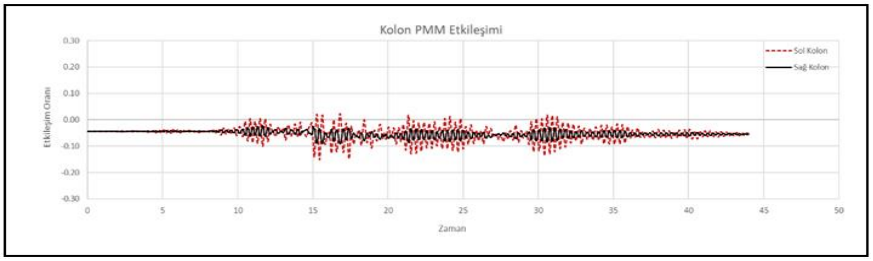
Şekil C1.149: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



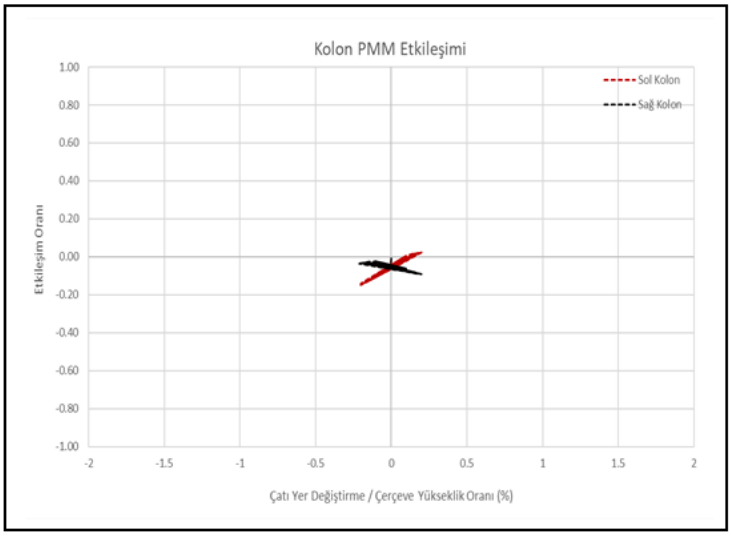
Şekil C1.150: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



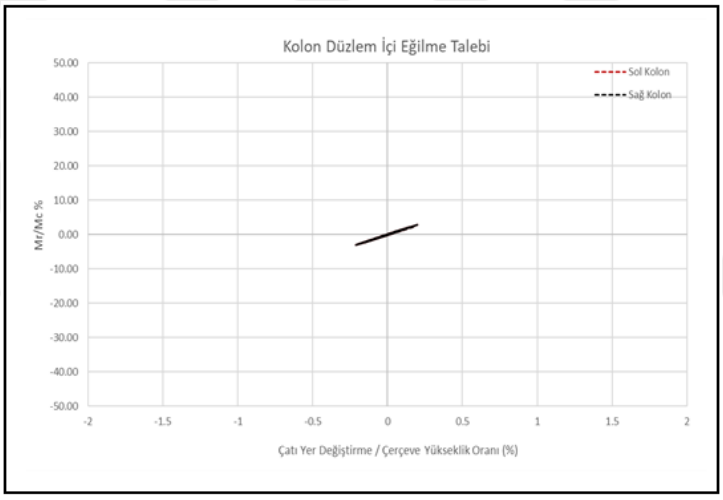
Şekil C1.151: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.152: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

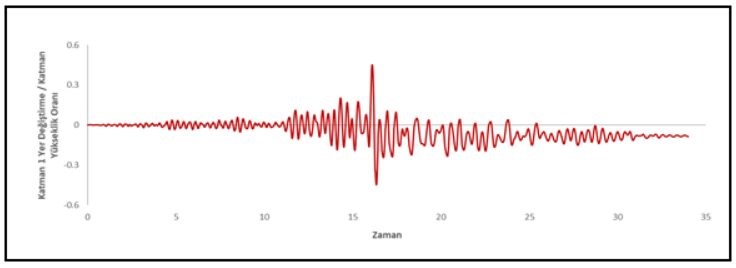


Şekil C1.153: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

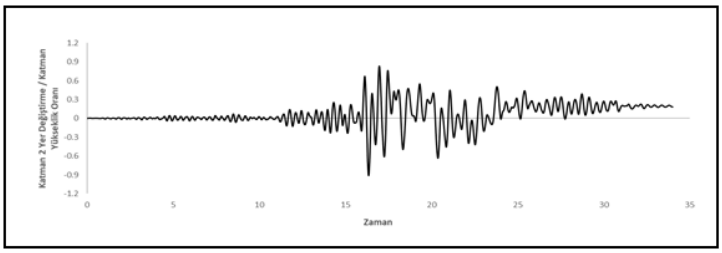


Şekil C1.154: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

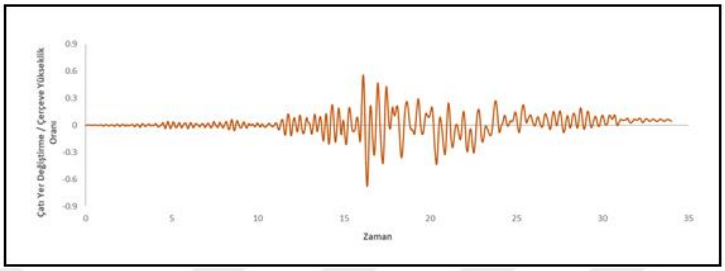
- **<u>RSN 848-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



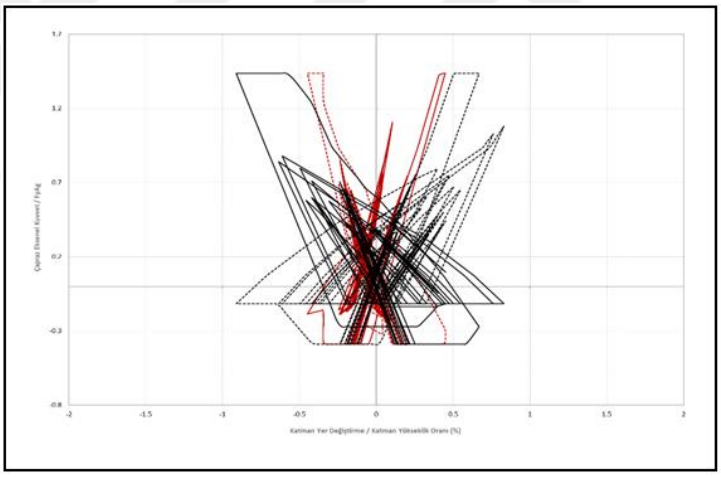
Şekil C1.155: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



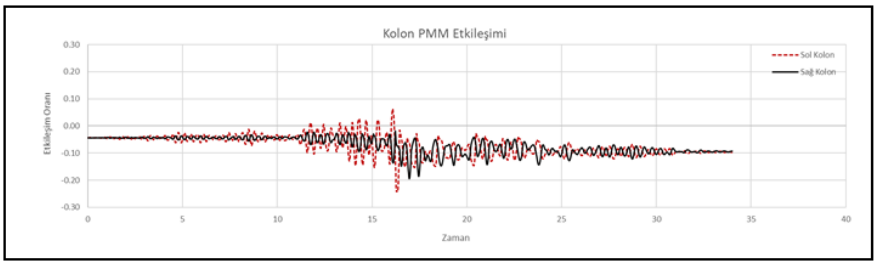
Şekil C1.156: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



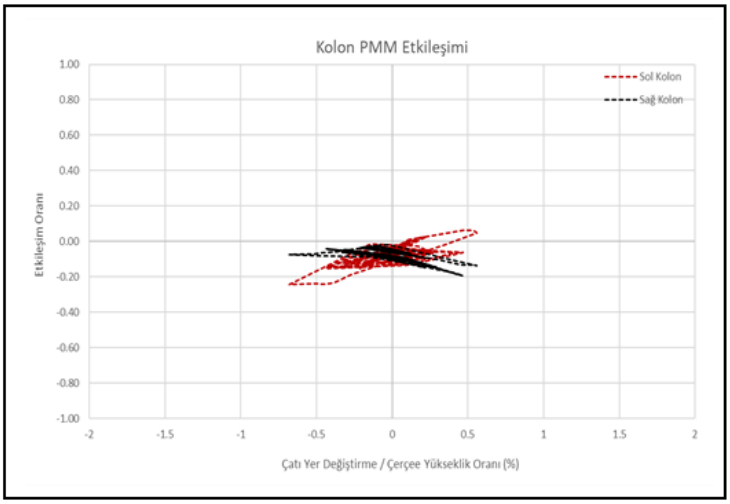
Şekil C1.157: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



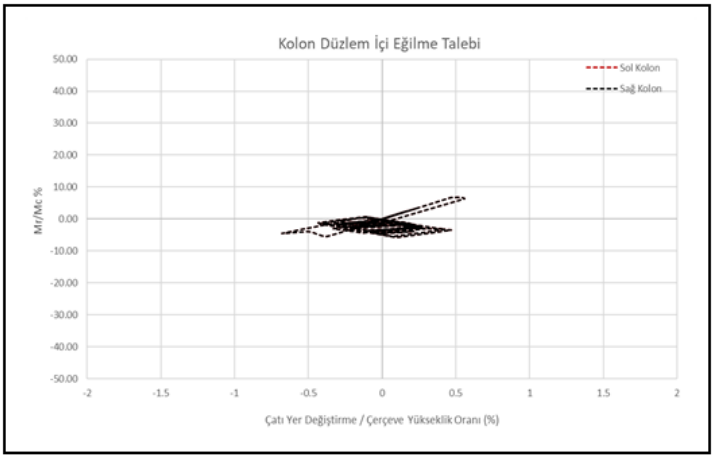
Şekil C1.158: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.159: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

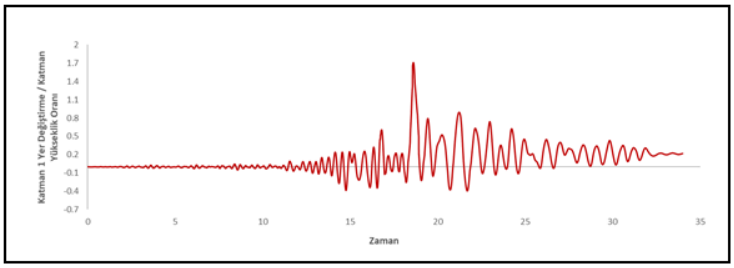


Şekil C1.160: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

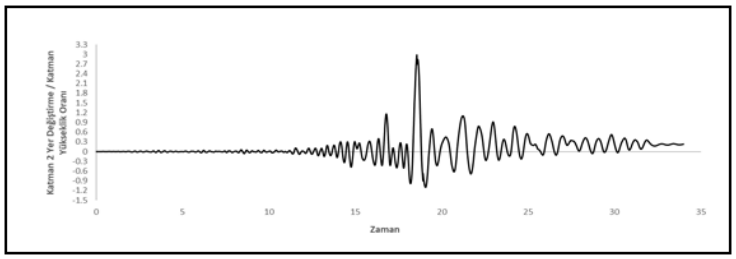


Şekil C1.161: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

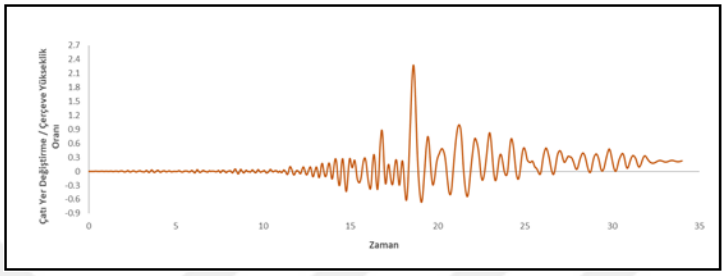
- **<u>RSN 848-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



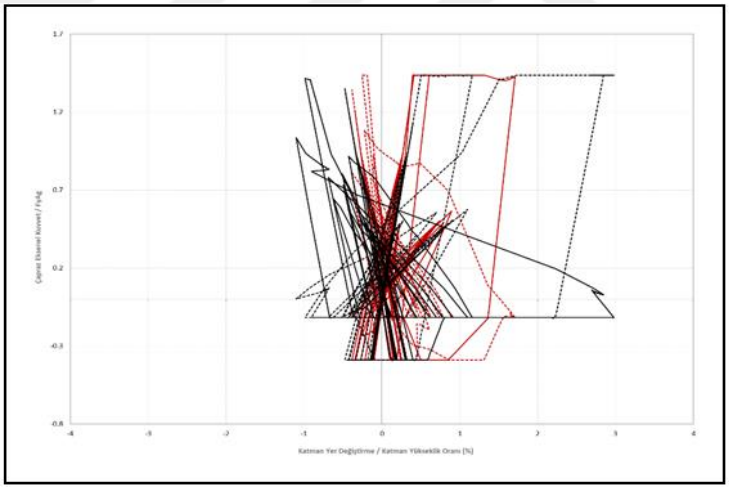
Şekil C1.162: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



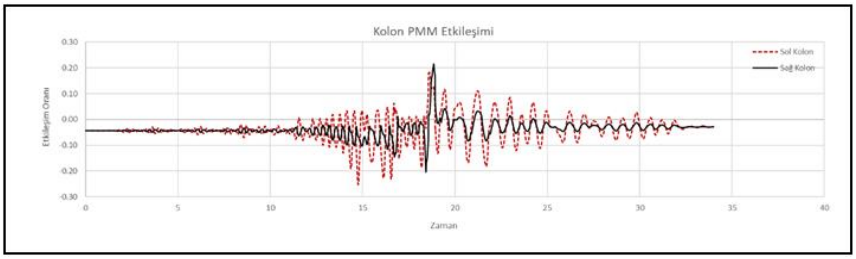
Şekil C1.163: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



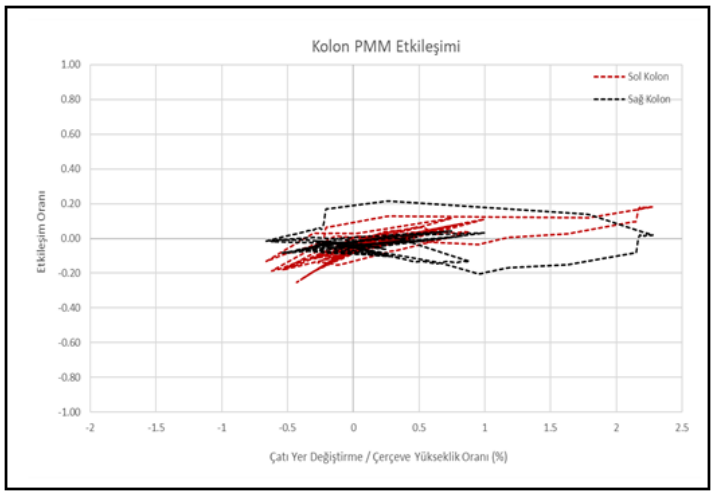
Şekil C1.164: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



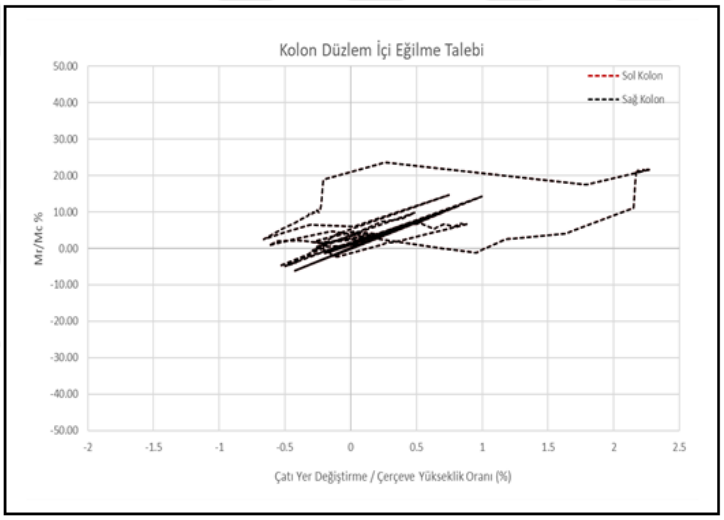
Şekil C1.165: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.166: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

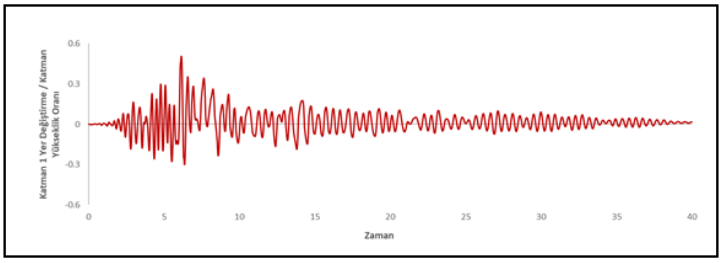


Şekil C1.167: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

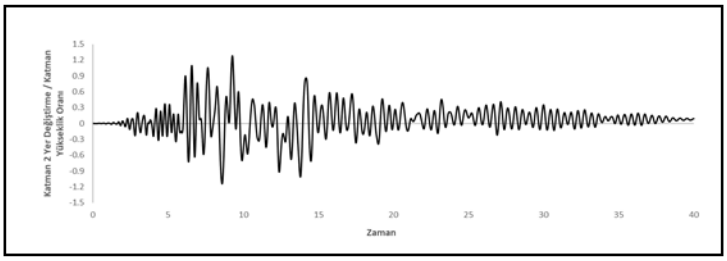


Şekil C1.168: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

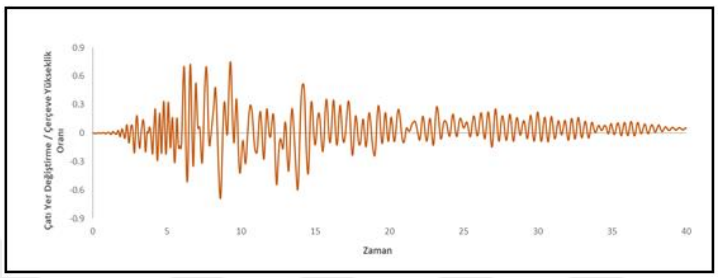
- **<u>RSN 752-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



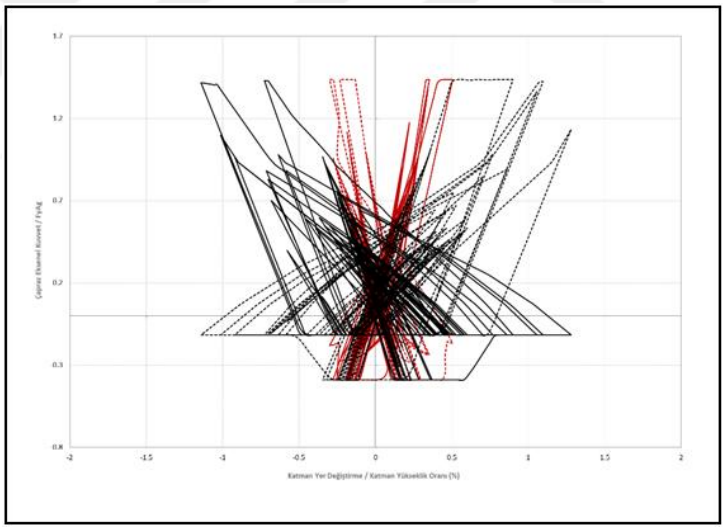
Şekil C1.169: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



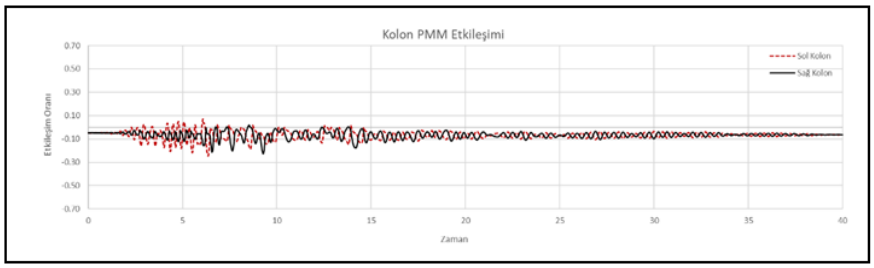
Şekil C1.170: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



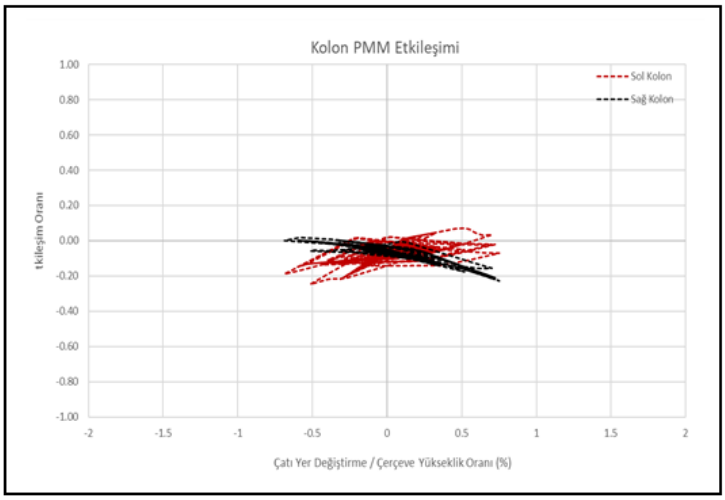
Şekil C1.171: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



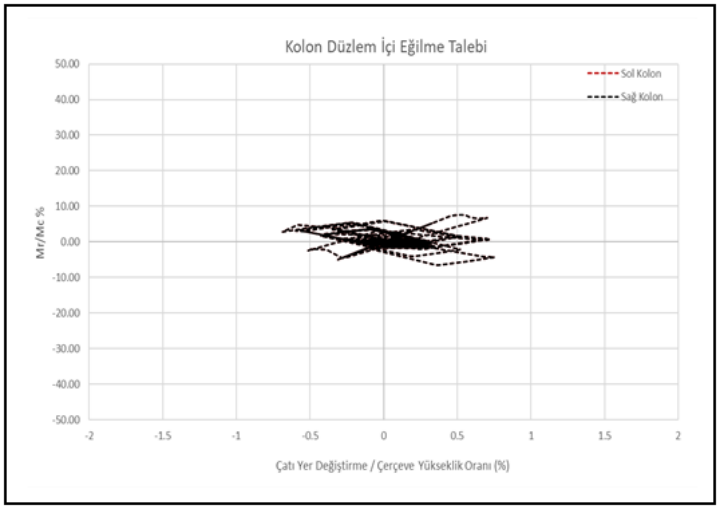
Şekil C1.172: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.173: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

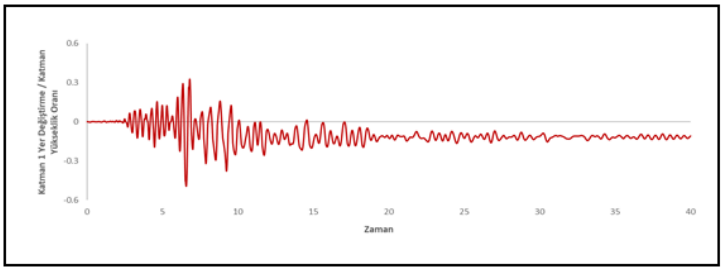


Şekil C1.174: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

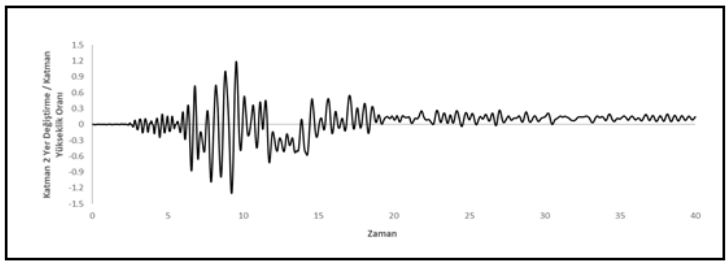


Şekil C1.175: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

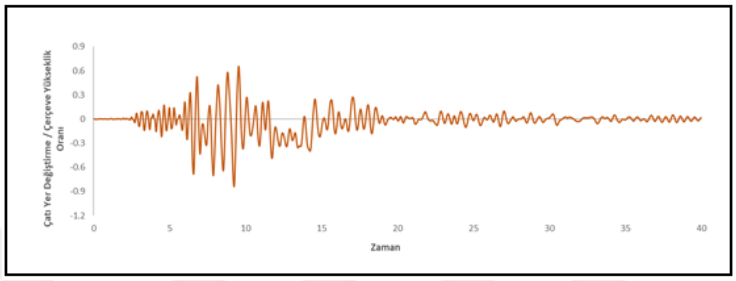
- **<u>RSN 752-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



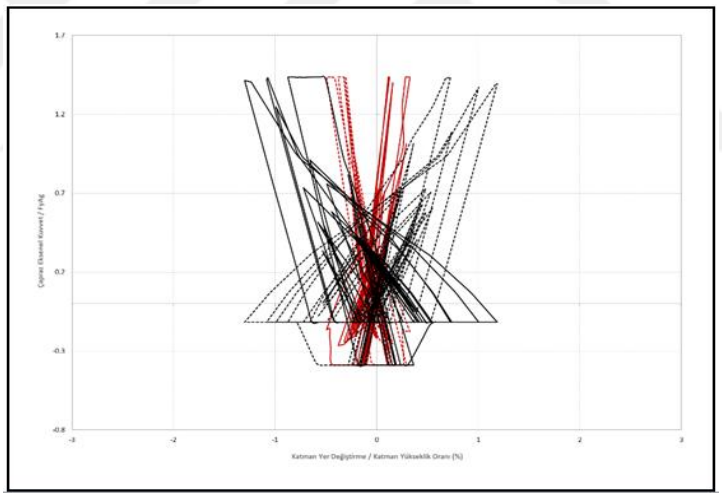
Şekil C1.176: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



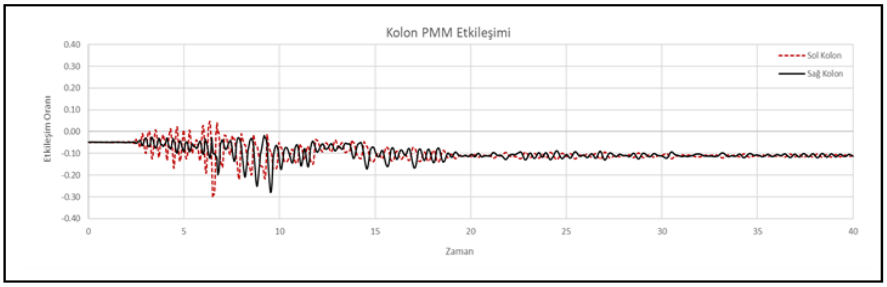
Şekil C1.177: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



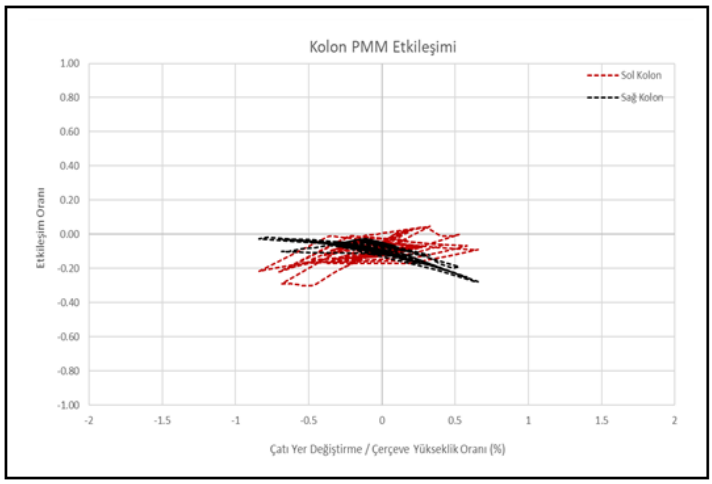
Şekil C1.178: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



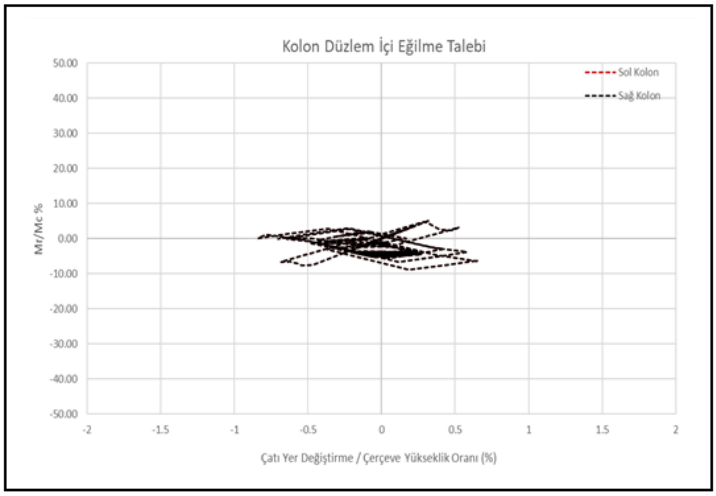
Şekil C1.179: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.180: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

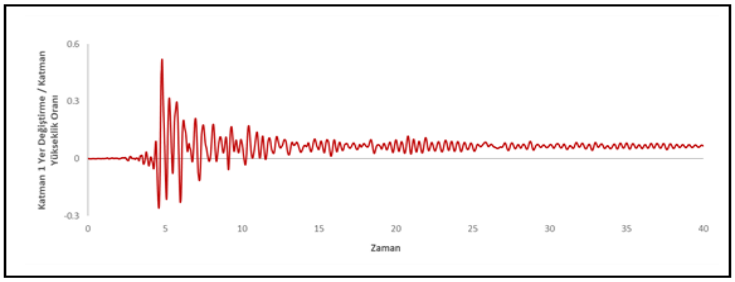


Şekil C1.181: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

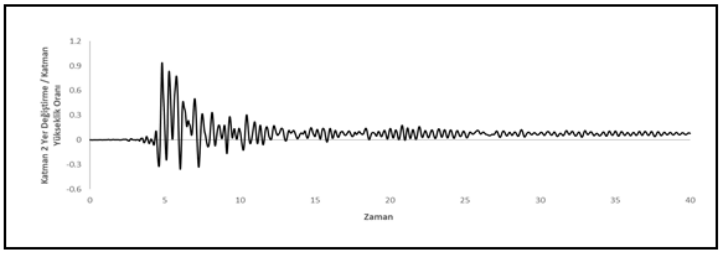


Şekil C1.182: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

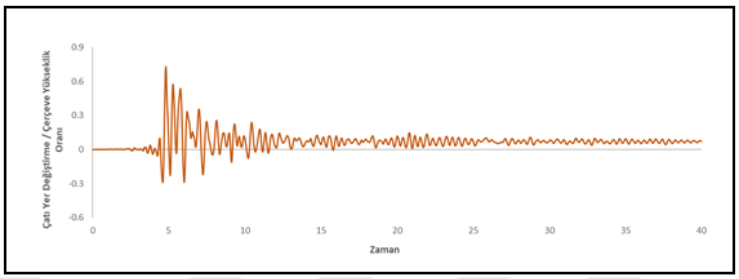
- **<u>RSN 767-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



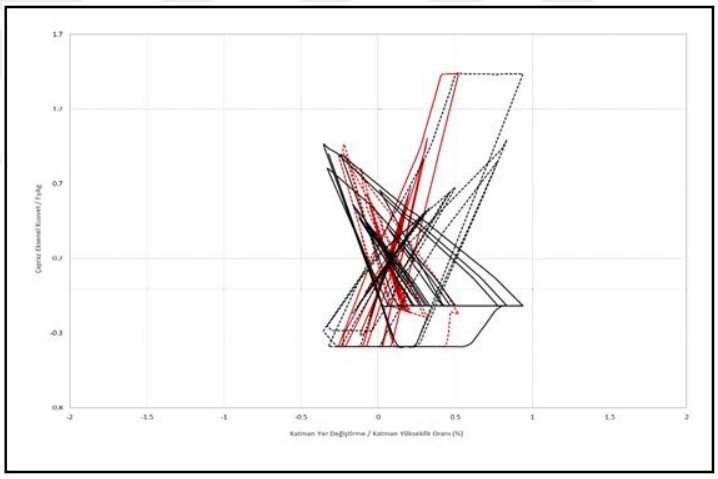
Şekil C1.183: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



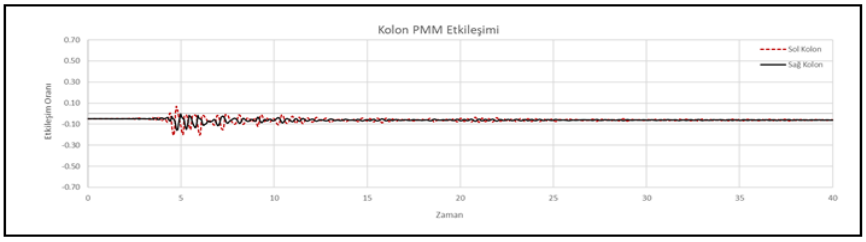
Şekil C1.184: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



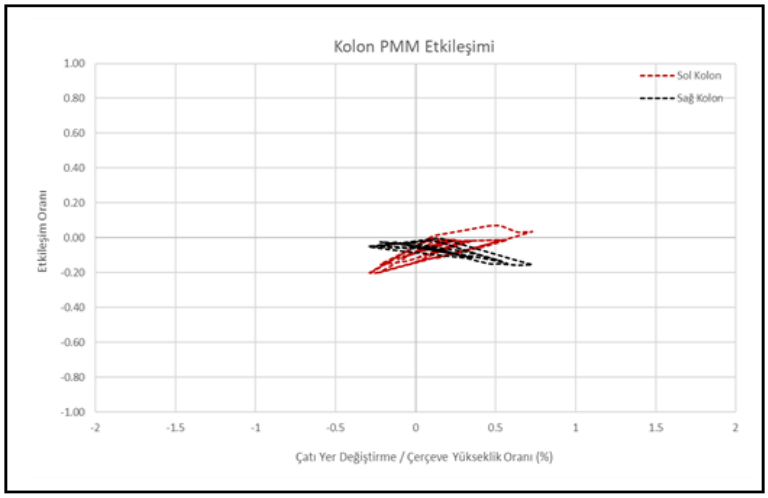
Şekil C1.185: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



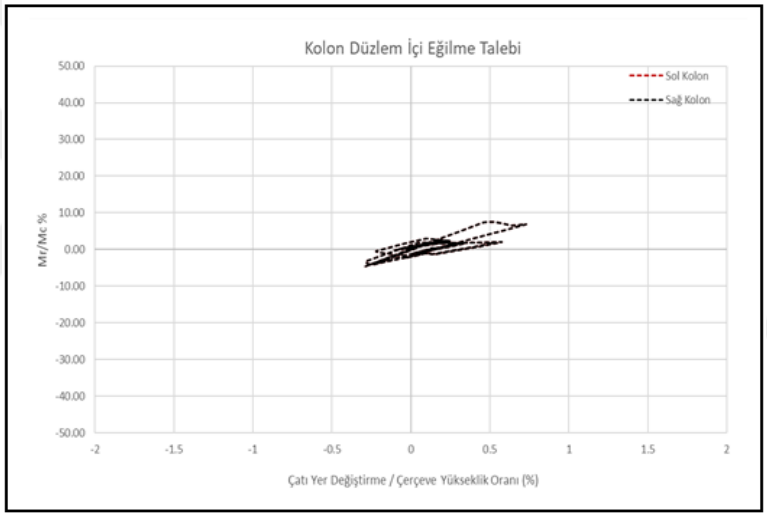
Şekil C1.186: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.187: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

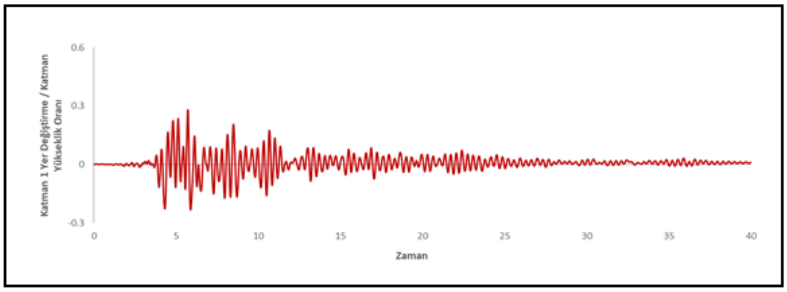


Şekil C1.188: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

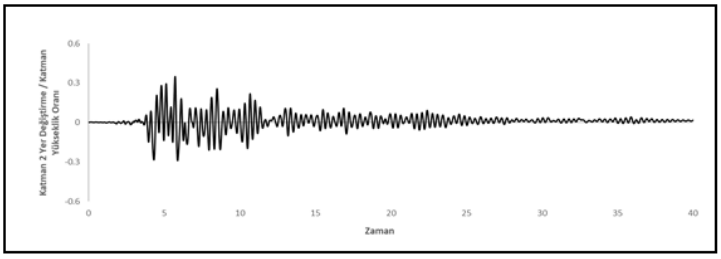


Şekil C1.189: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

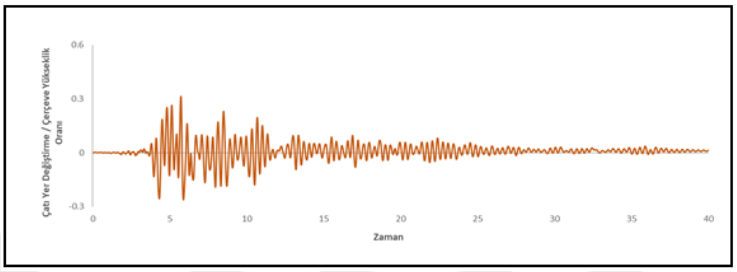
- **<u>RSN 767-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



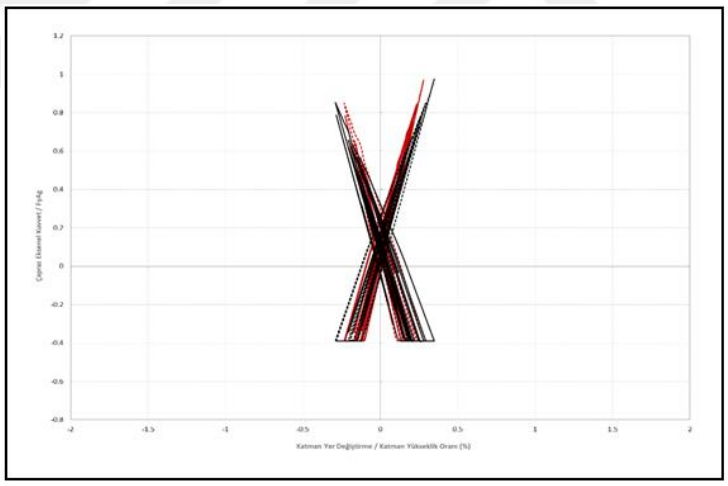
Şekil C1.190: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



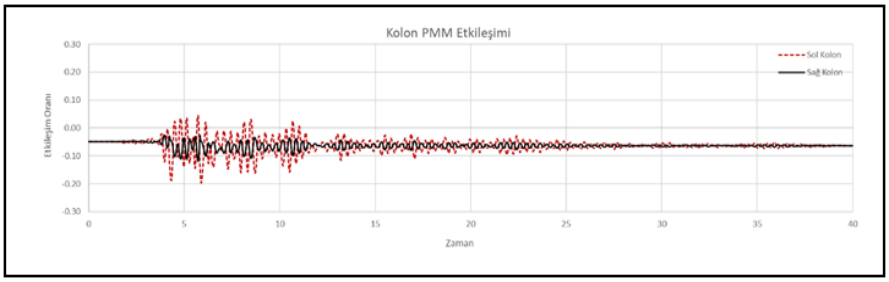
Şekil C1.191: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



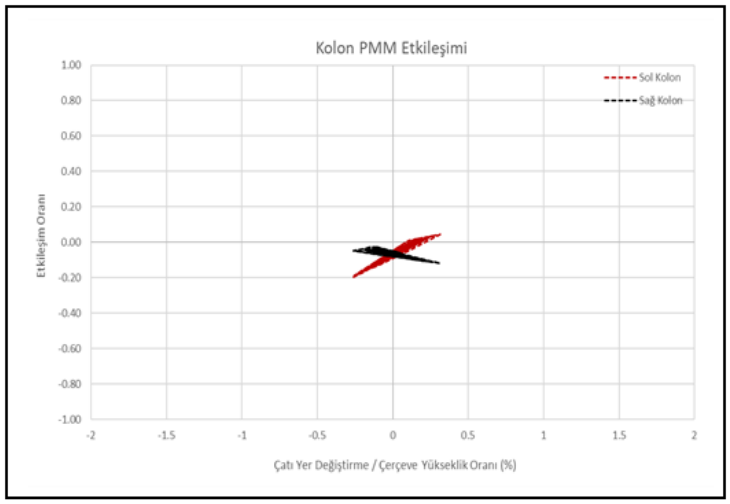
Şekil C1.192: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



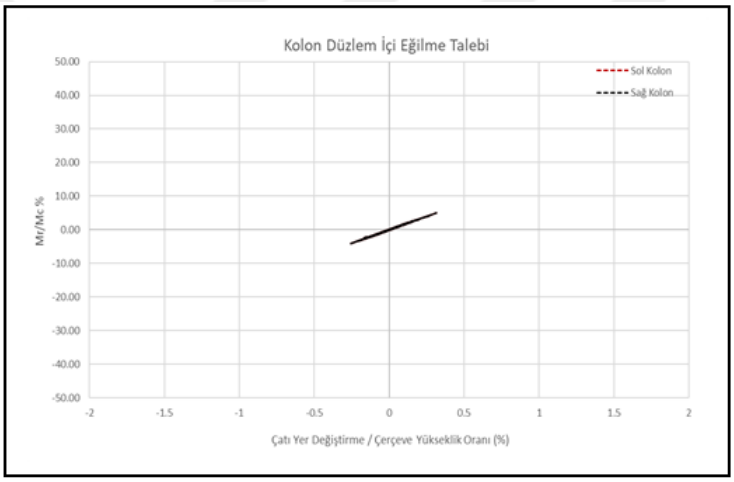
Şekil C1.193: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.194: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

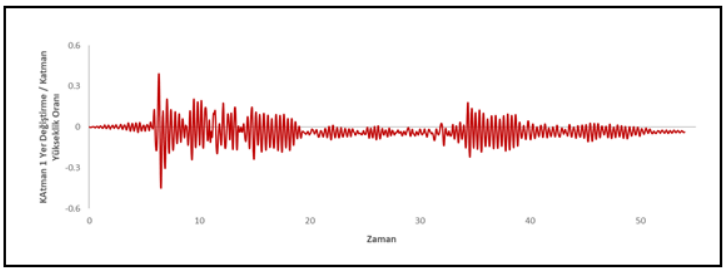


Şekil C1.195: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

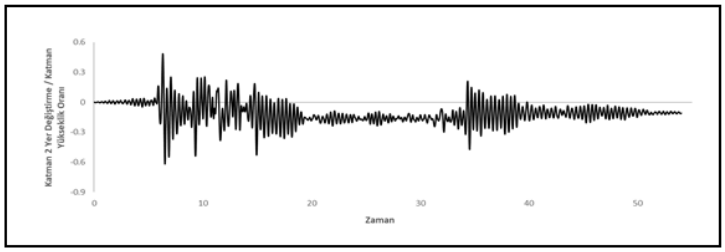


Şekil C1.196: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

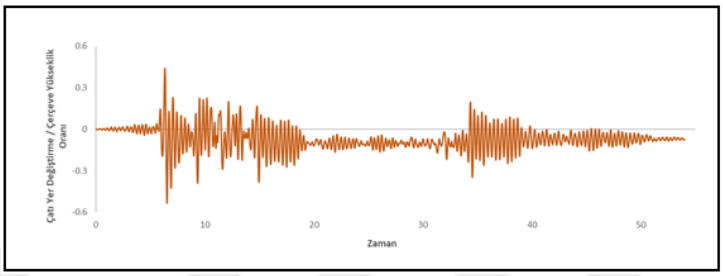
- **<u>RSN 1633-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



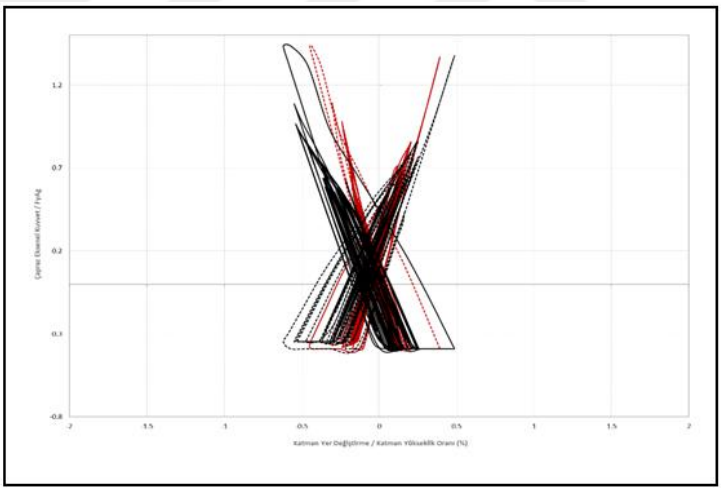
Şekil C1.197: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



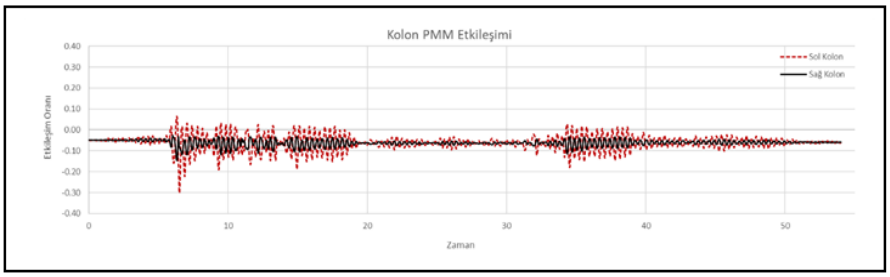
Şekil C1.198: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



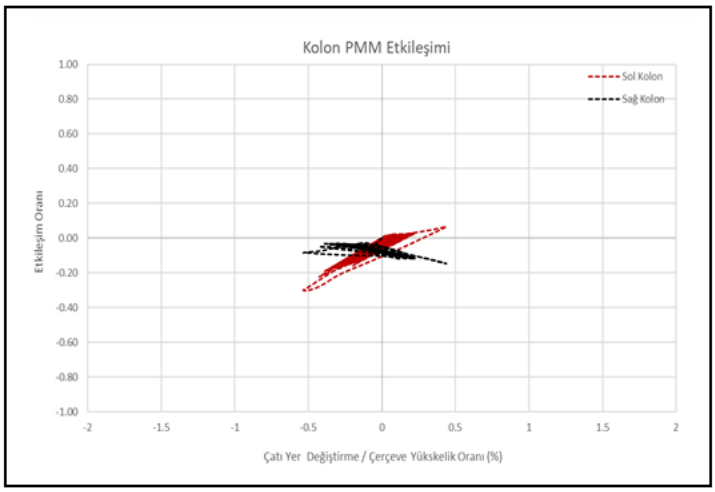
Şekil C1.199: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



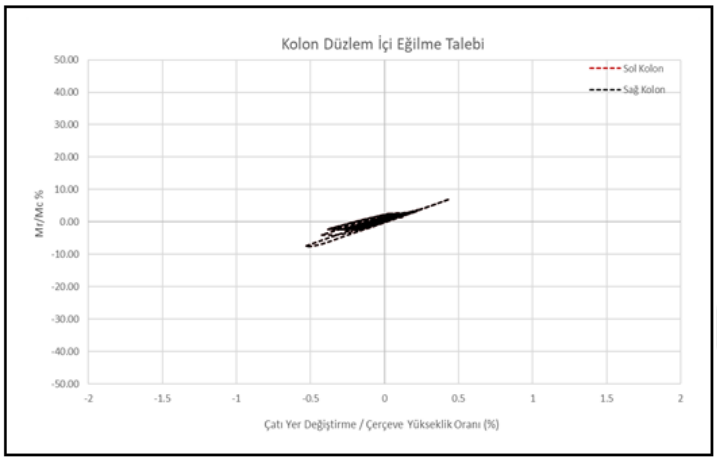
Şekil C1.200: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.201: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

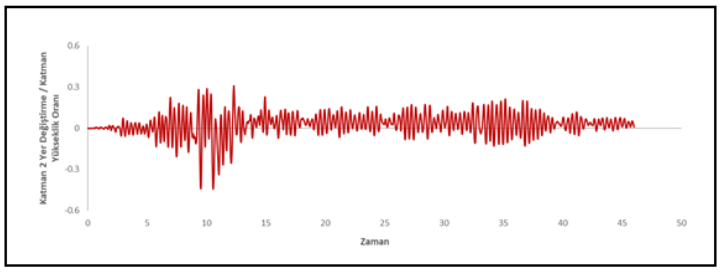


Şekil C1.202: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

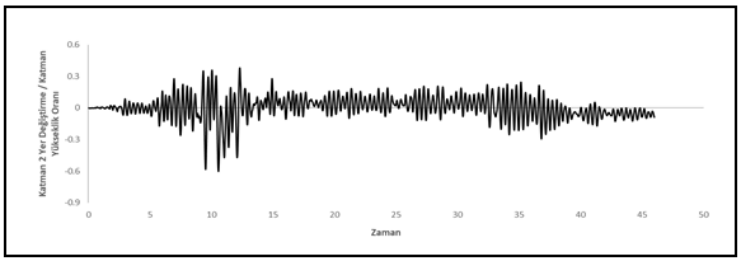


Şekil C1.203: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

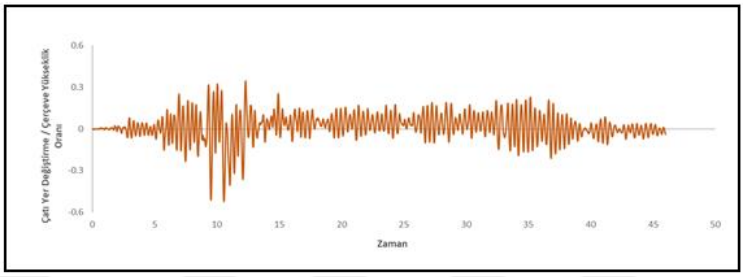
- **<u>RSN 1633-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



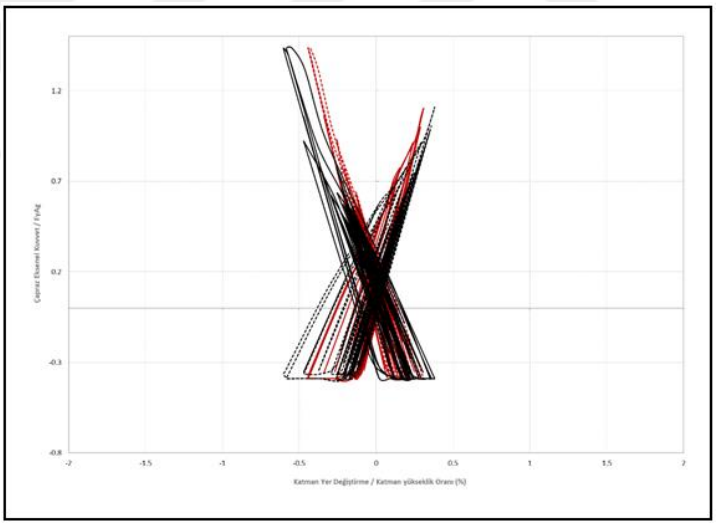
Şekil C1.204: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



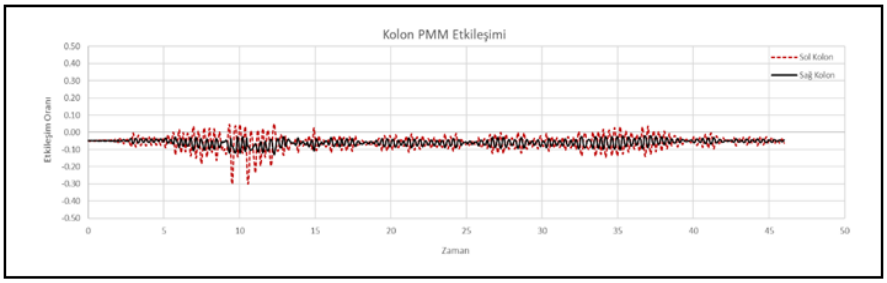
Şekil C1.205: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



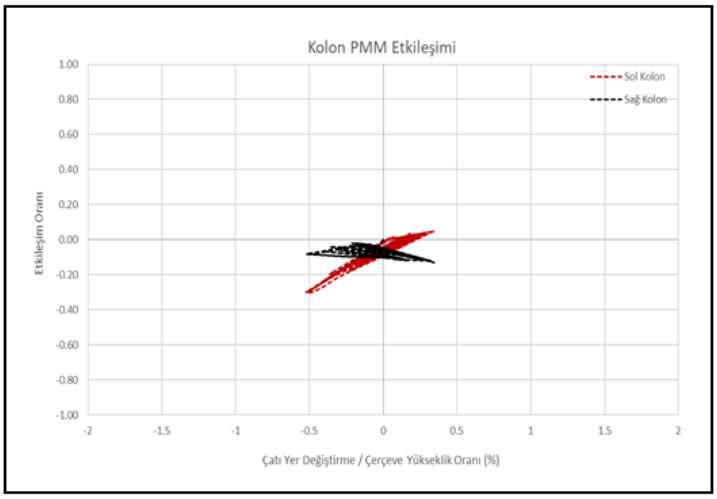
Şekil C1.206: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



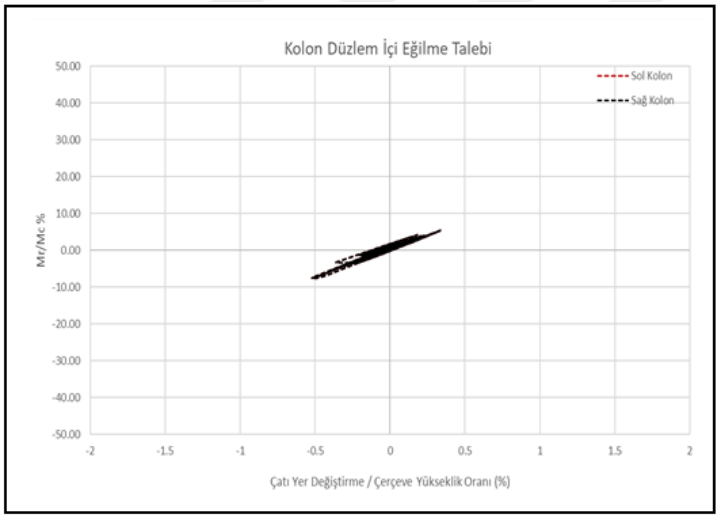
Şekil C1.207: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.208: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

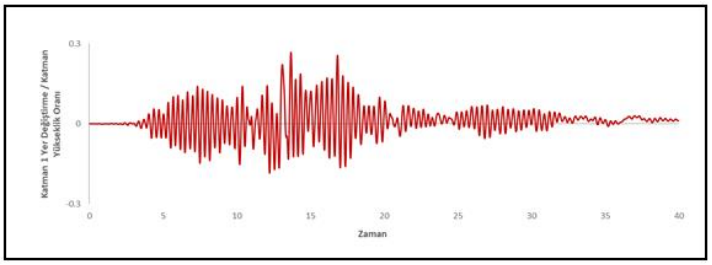


Şekil C1.209: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

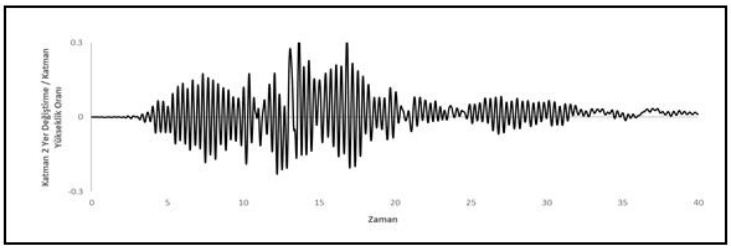


Şekil C1.210: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

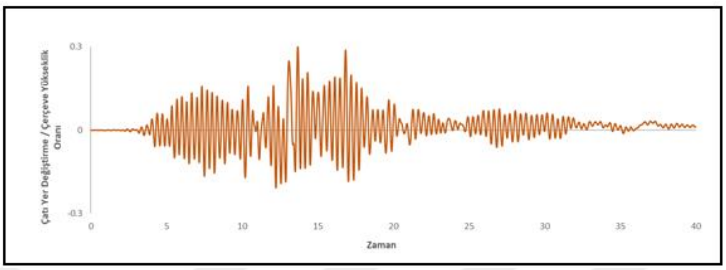
- **<u>RSN 721-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



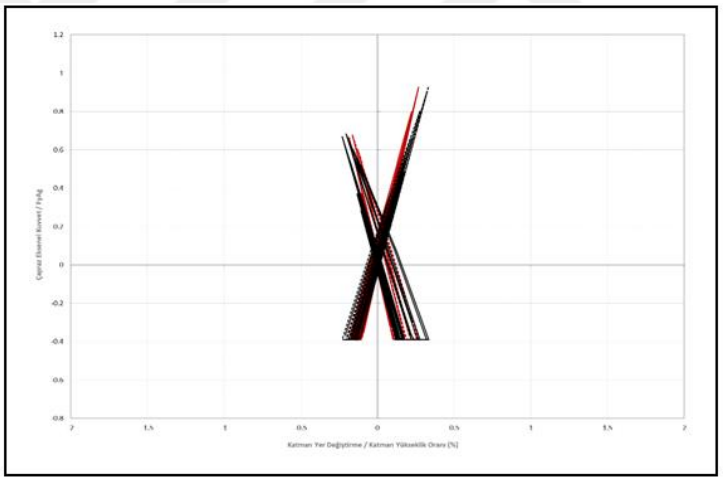
Şekil C1.211: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



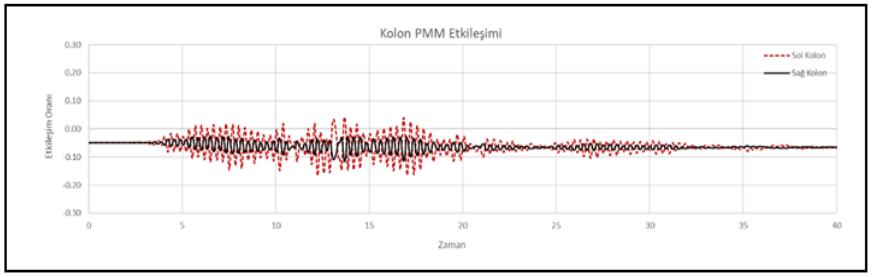
Şekil C1.212: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



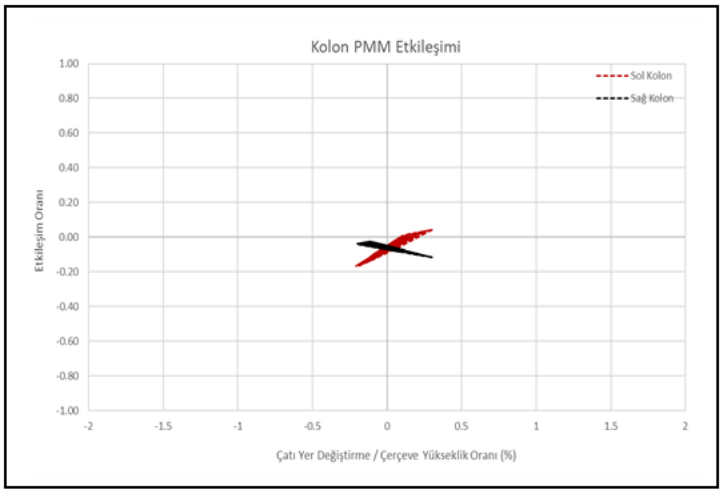
Şekil C1.213: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



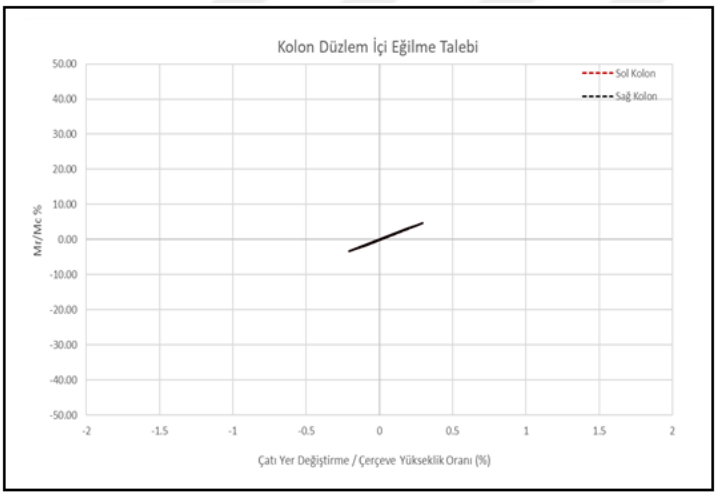
Şekil C1.214: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.215: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

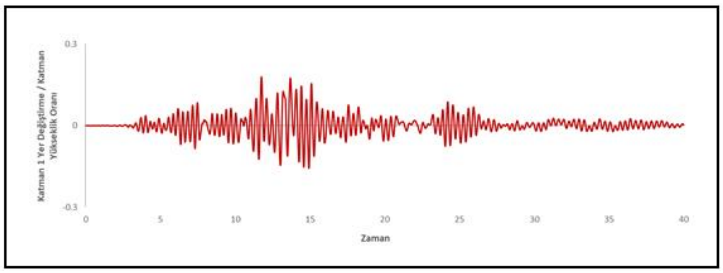


Şekil C1.216: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

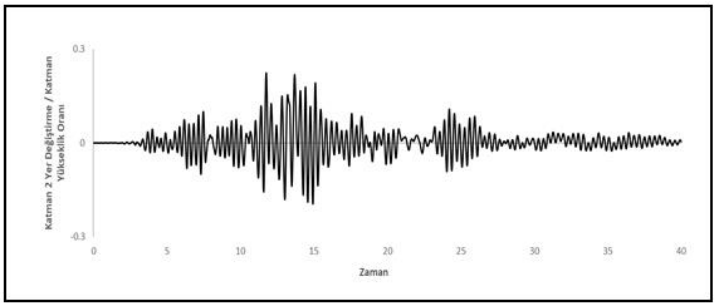


Şekil C1.217: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

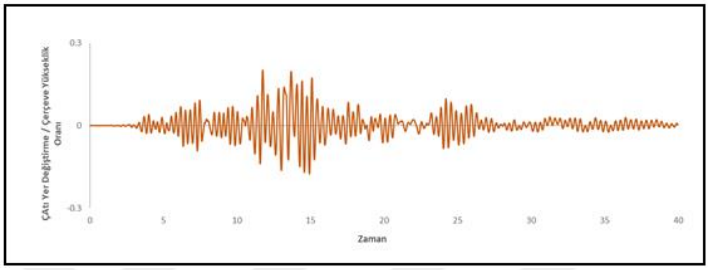
- **<u>RSN 721-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



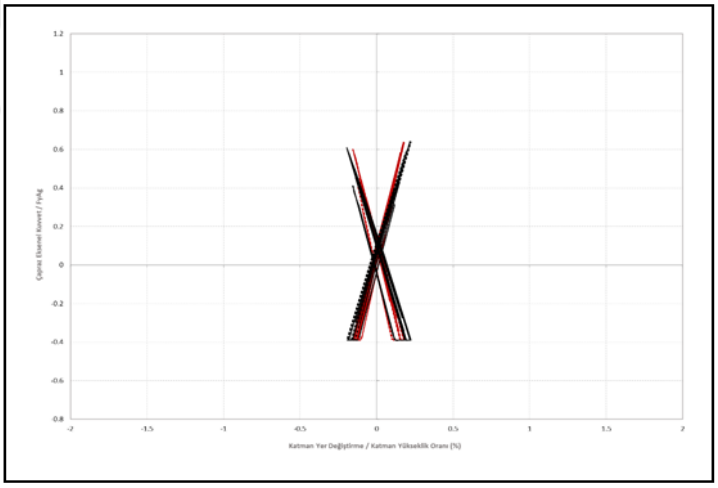
Şekil C1.218: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



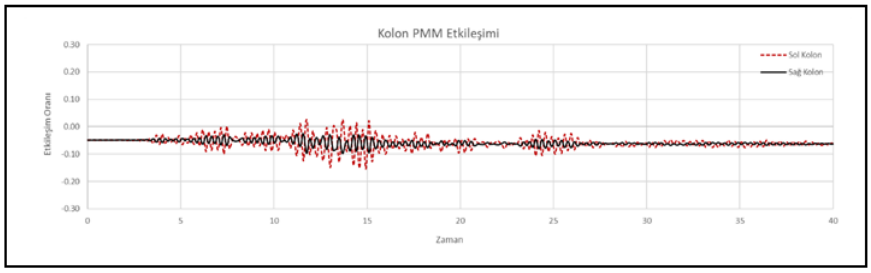
Şekil C1.219: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



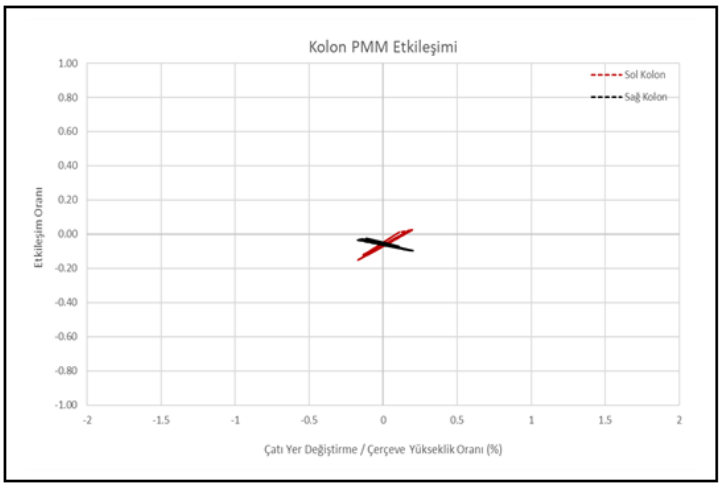
Şekil C1.220: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



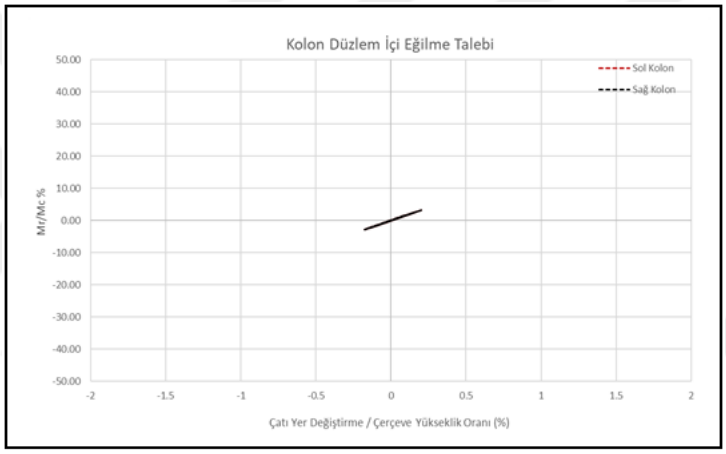
Şekil C1.221: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.222: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

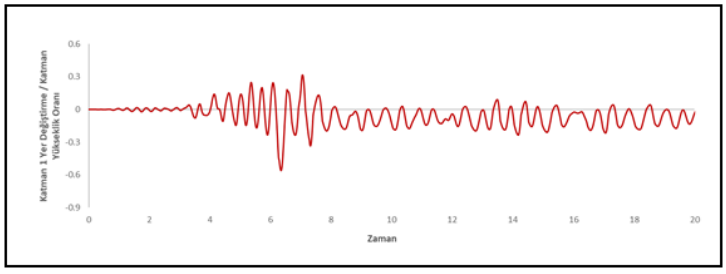


Şekil C1.223: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

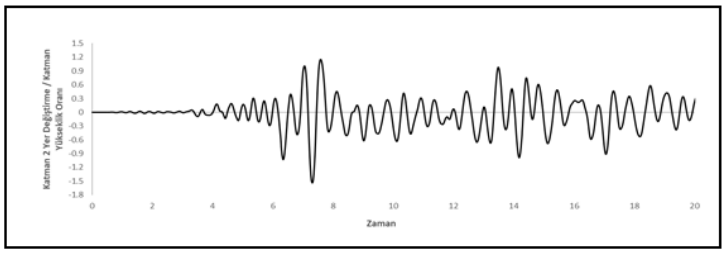


Şekil C1.224: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

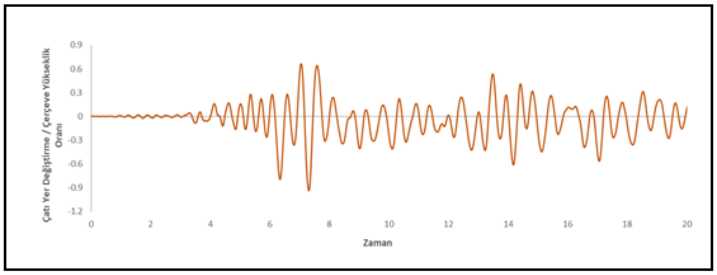
- **<u>RSN 725-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



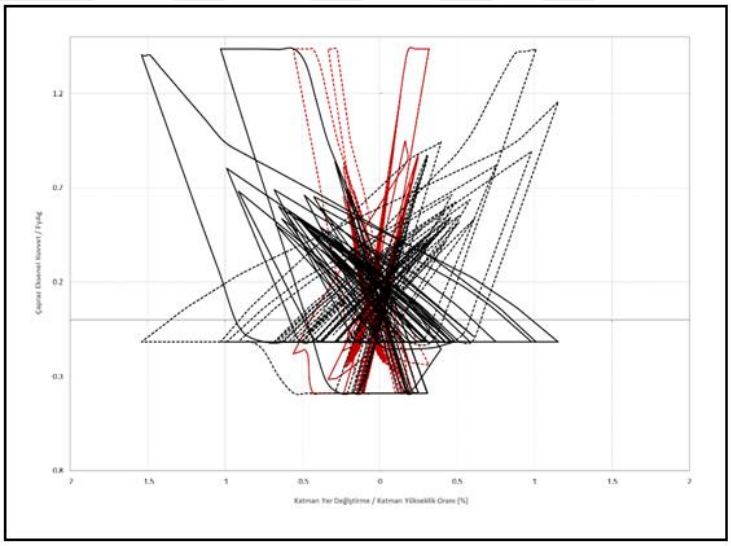
Şekil C1.225: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



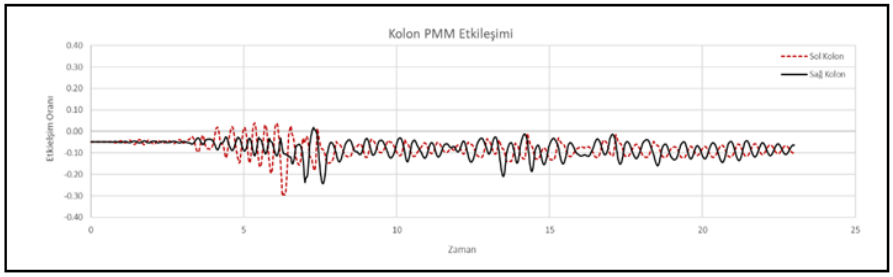
Şekil C1.226: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



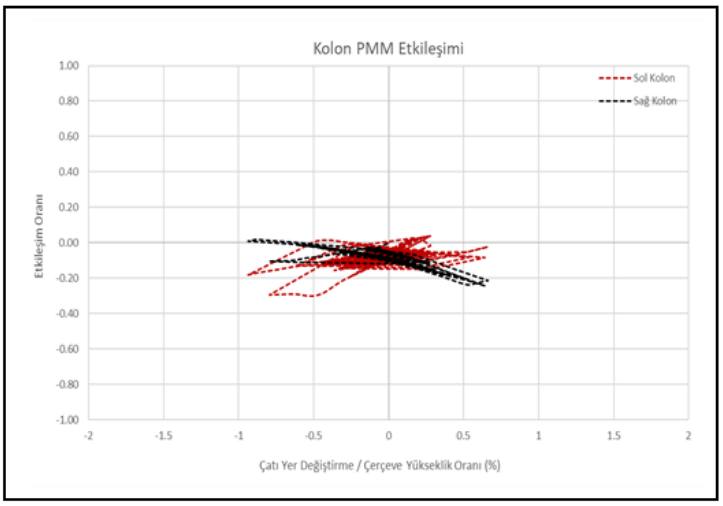
Şekil C1.227: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



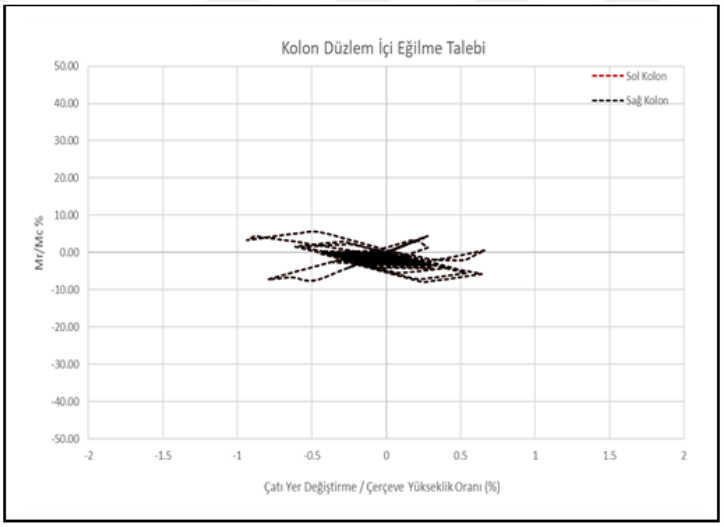
Şekil C1.228: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.229: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

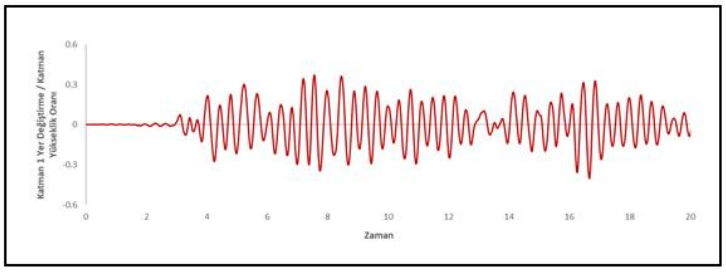


Şekil C1.230: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

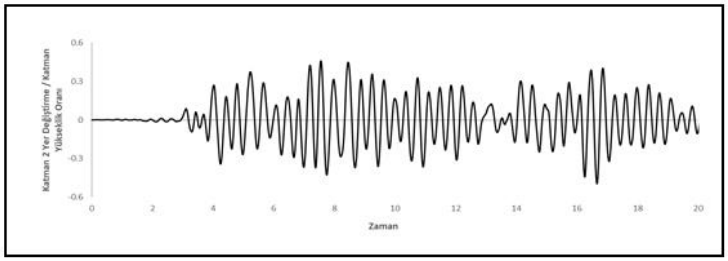


Şekil C1.231: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

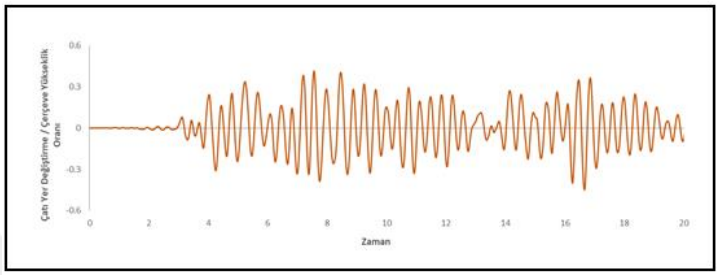
- **<u>RSN 725-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



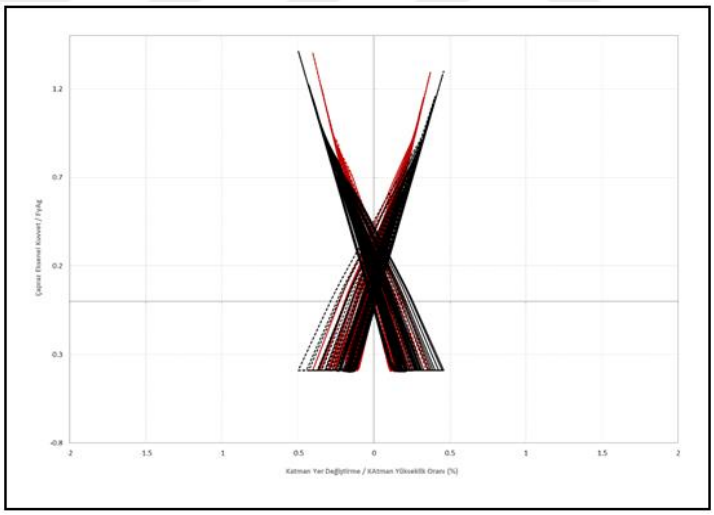
Şekil C1.232: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



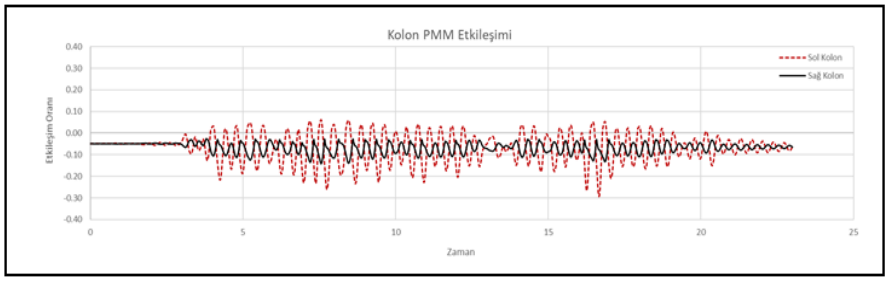
Şekil C1.233: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



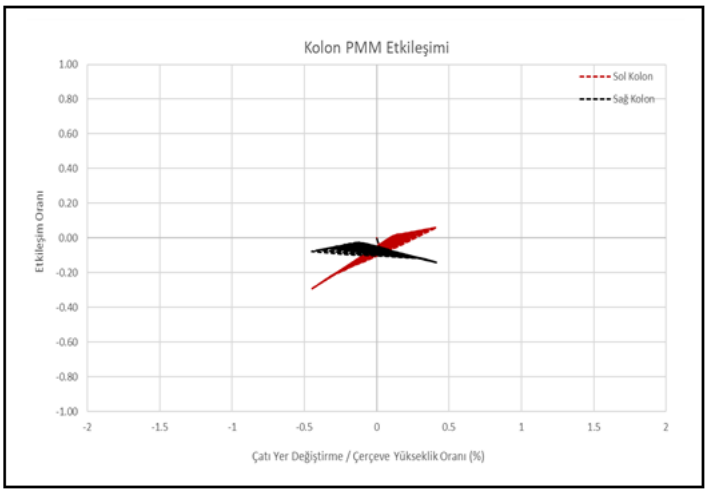
Şekil C1.234: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



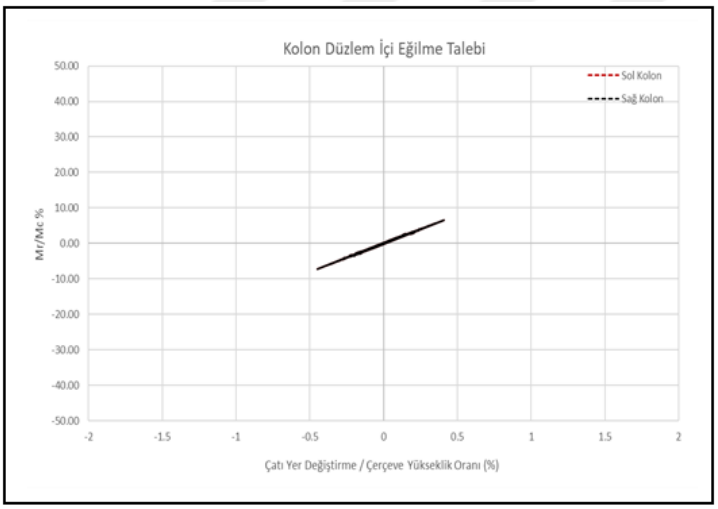
Şekil C1.235: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.236: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

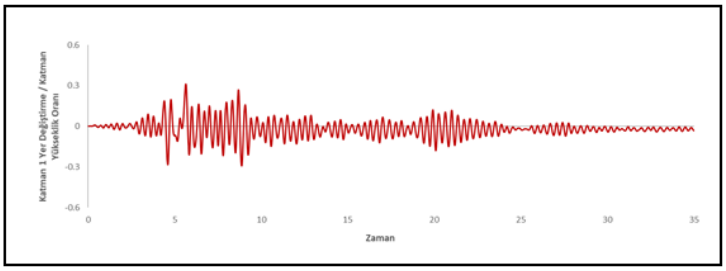


Şekil C1.237: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

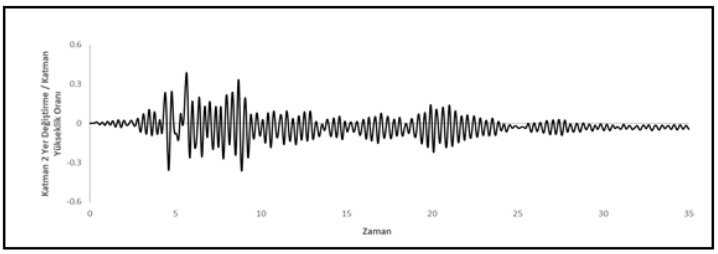


Şekil C1.238: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

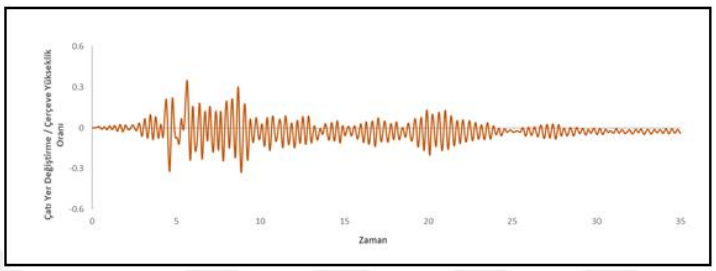
- **<u>RSN 829-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



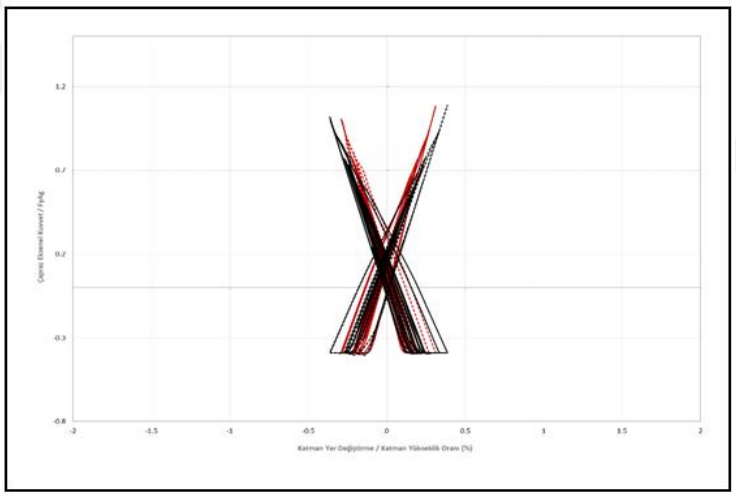
Şekil C1.239: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



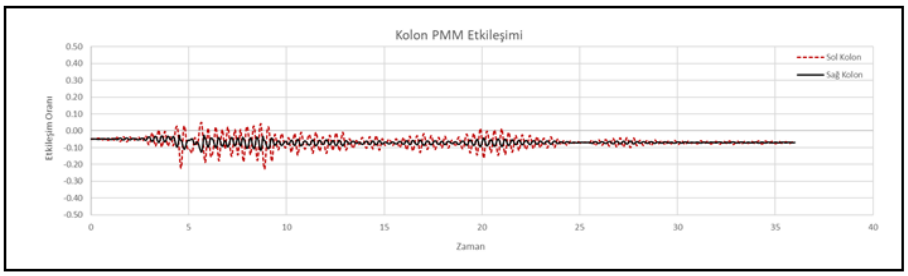
Şekil C1.240: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



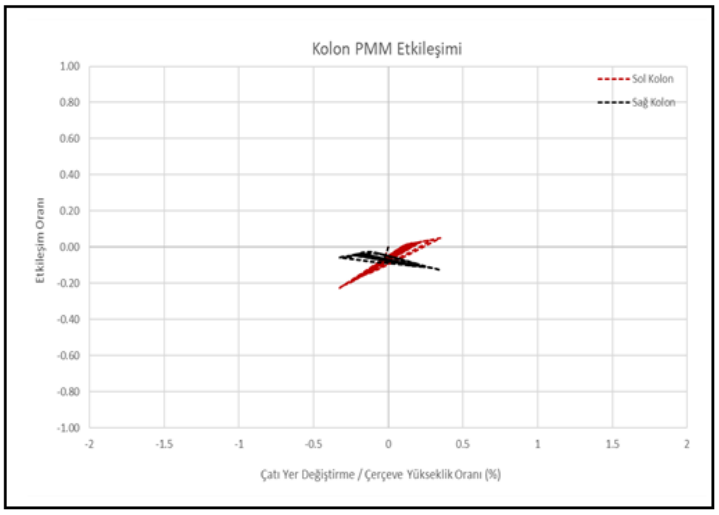
Şekil C1.241: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



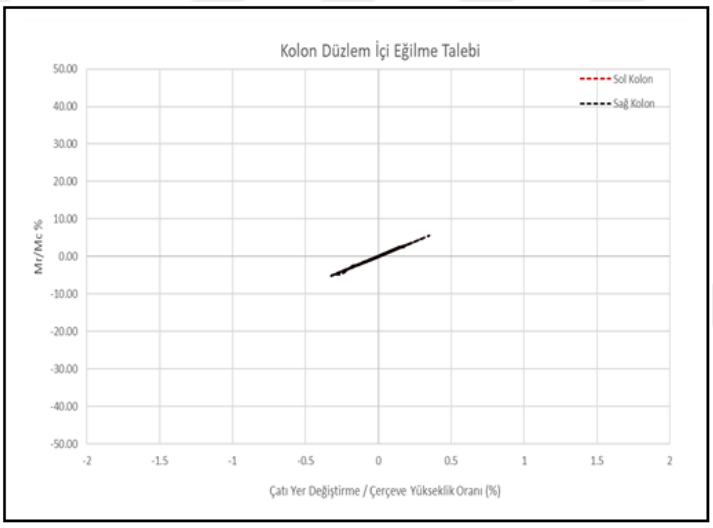
Şekil C1.242: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.243: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

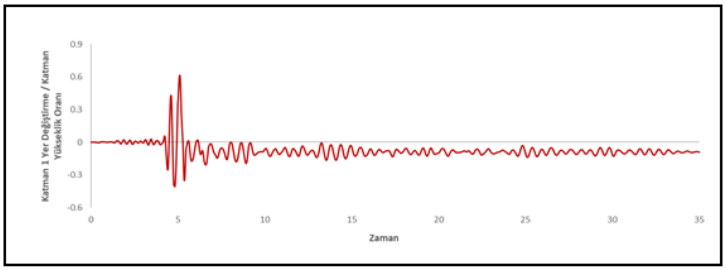


Şekil C1.244: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

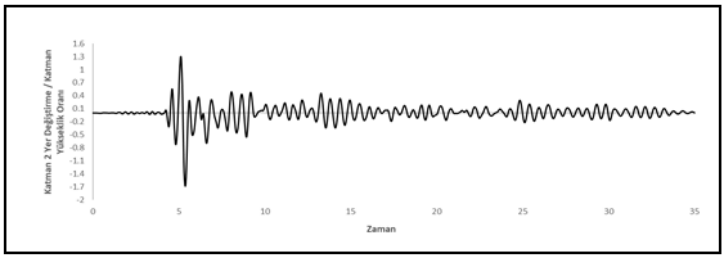


Şekil C1.245: Çerçeve Yer Değiştirme Oranı (%) – Kolon Elemanı Düzlem İçi Eğilme Momenti Talebi

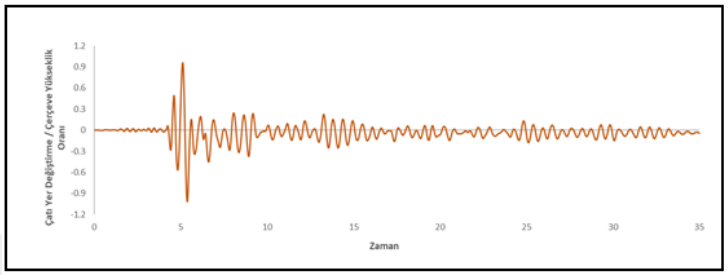
- **<u>RSN 829-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



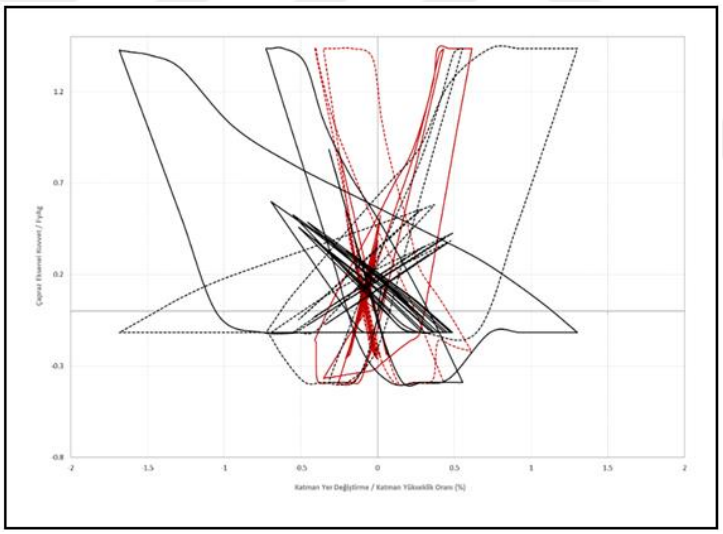
Şekil C1.246: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



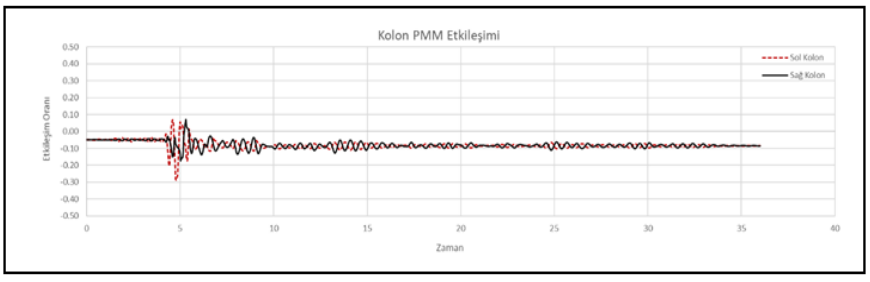
Şekil C1.247: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



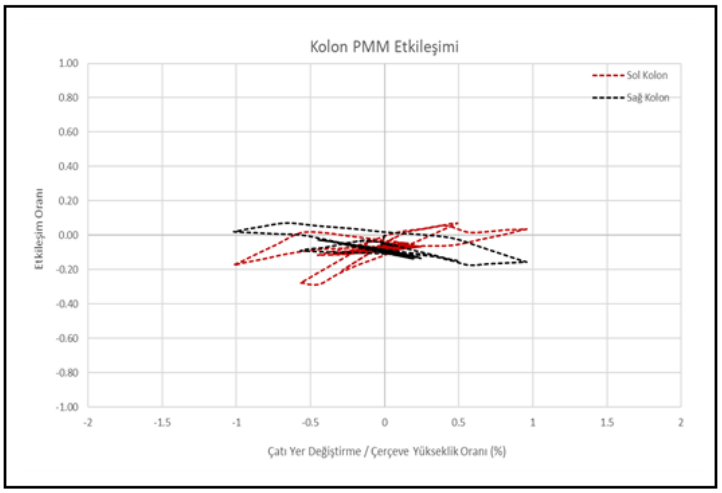
Şekil C1.248: Zaman – Çerçeve yer değiştirme oranı (%).



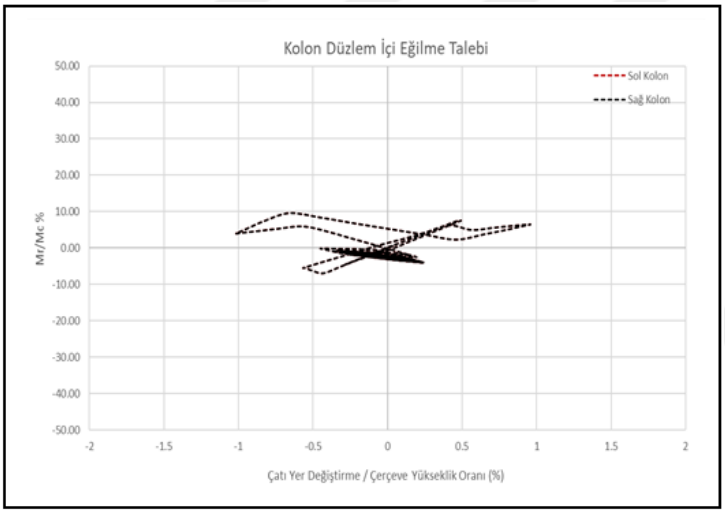
Şekil C1.249: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.250: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

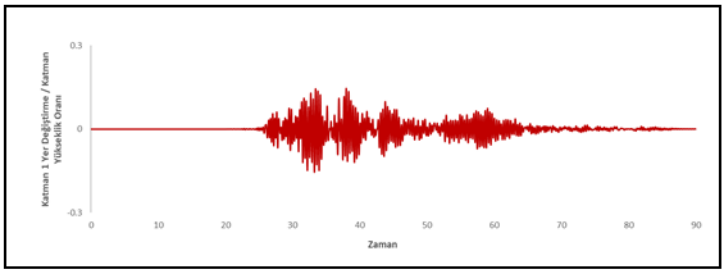


Şekil C1.251: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

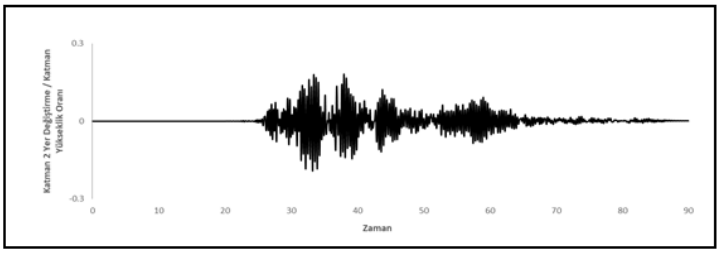


Şekil C1.252: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

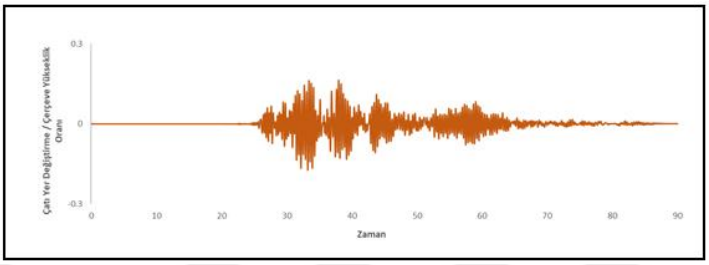
- **<u>RSN 1244-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



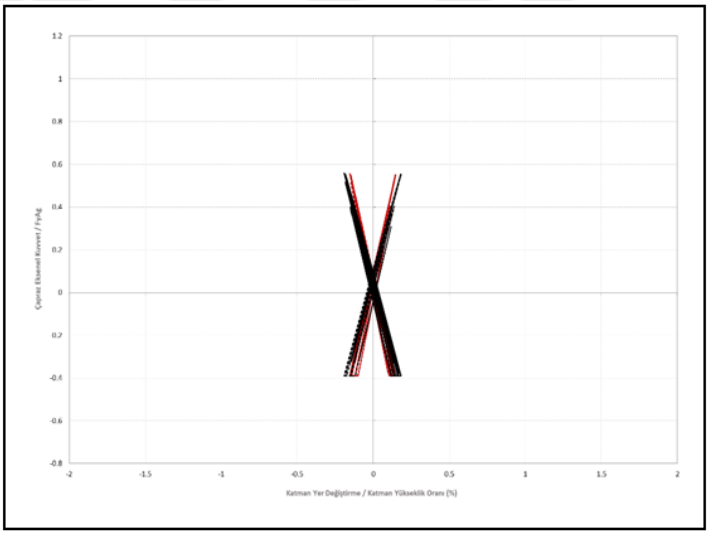
Şekil C1.253: Zaman – Katman 1 Yer Değiştirme Oranı (%).



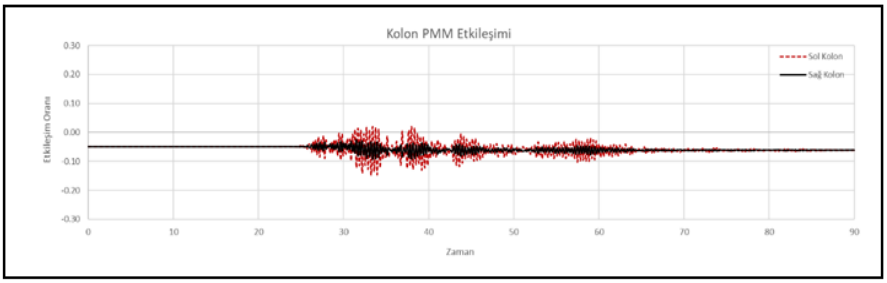
Şekil C1.254: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



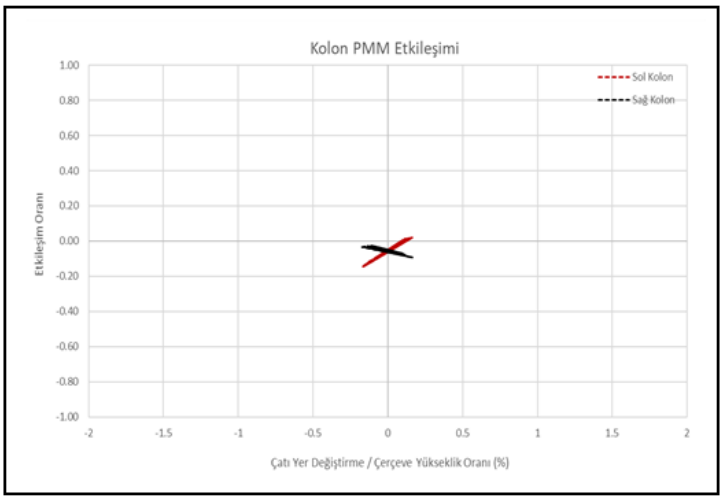
Şekil C1.255: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



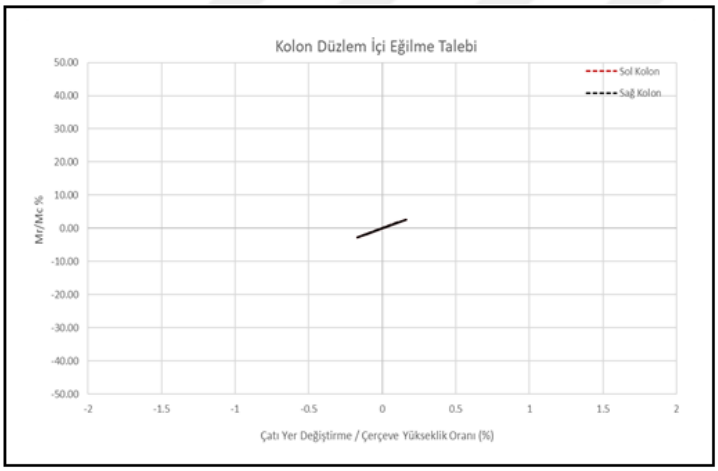
Şekil C1.256: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.257: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

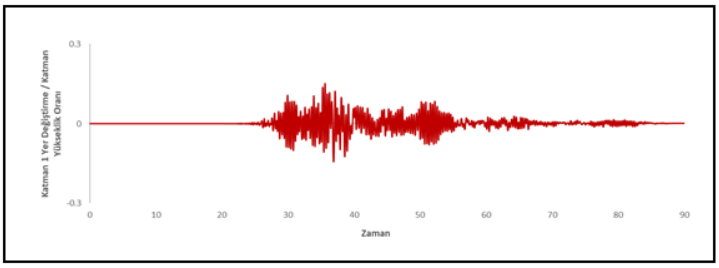


Şekil C1.258: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

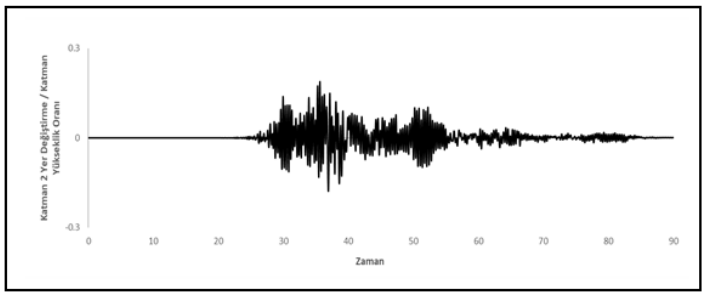


Şekil C1.259: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

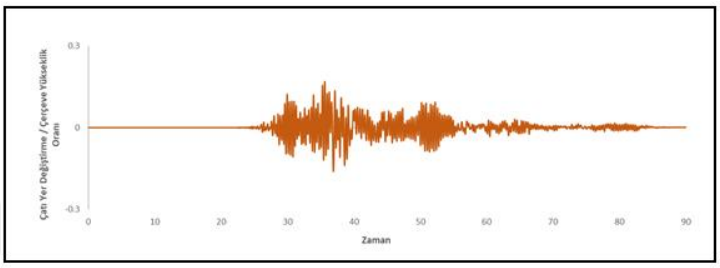
- **<u>RSN 1244-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



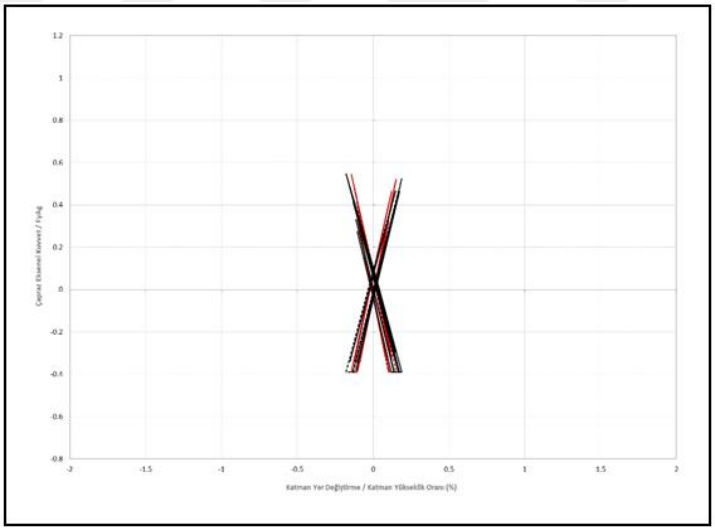
Şekil C1.260: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



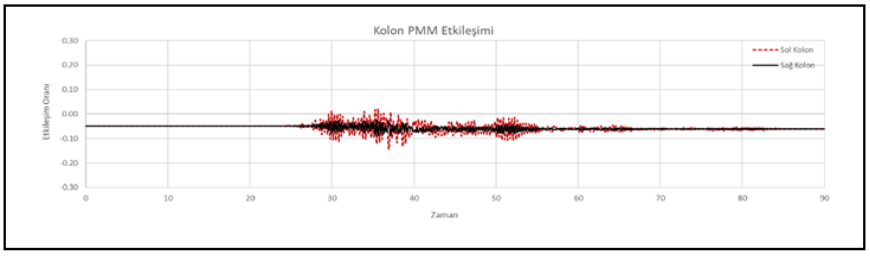
Şekil C1.261: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



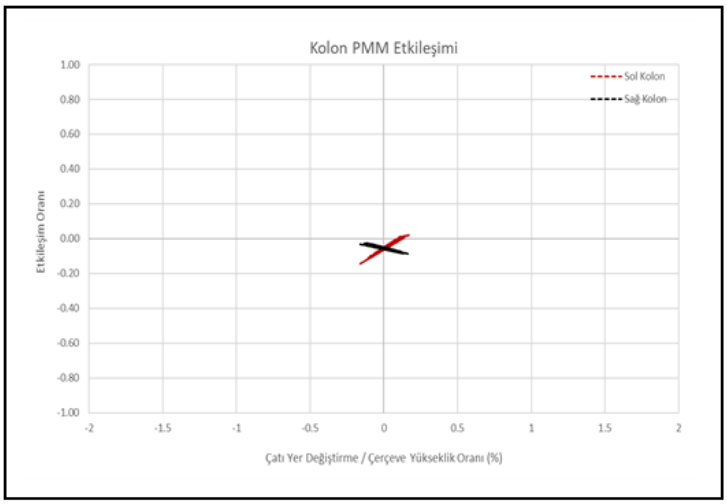
Şekil C1.262: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



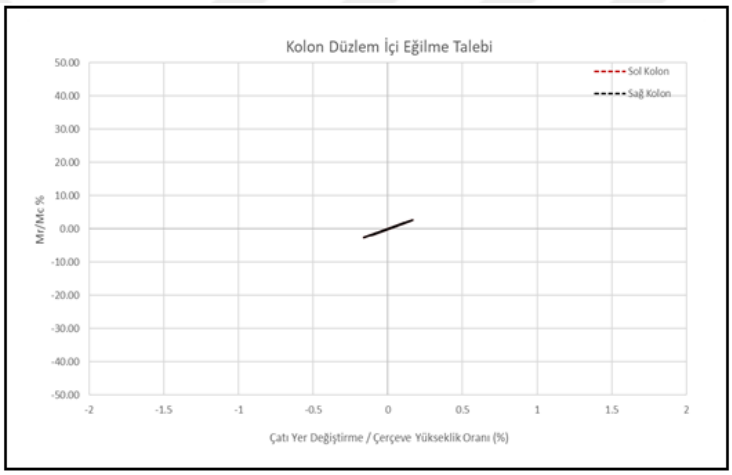
Şekil C1.263: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.264: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

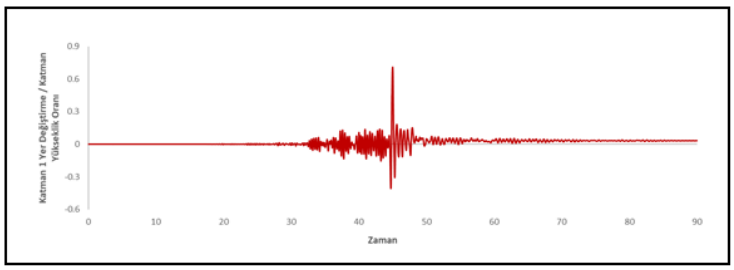


Şekil C1.265: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

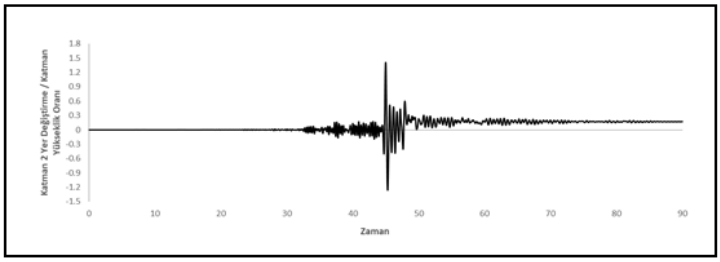


Şekil C1.266: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

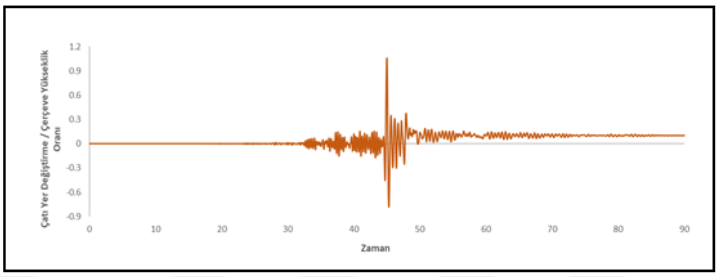
- **<u>RSN 1485-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



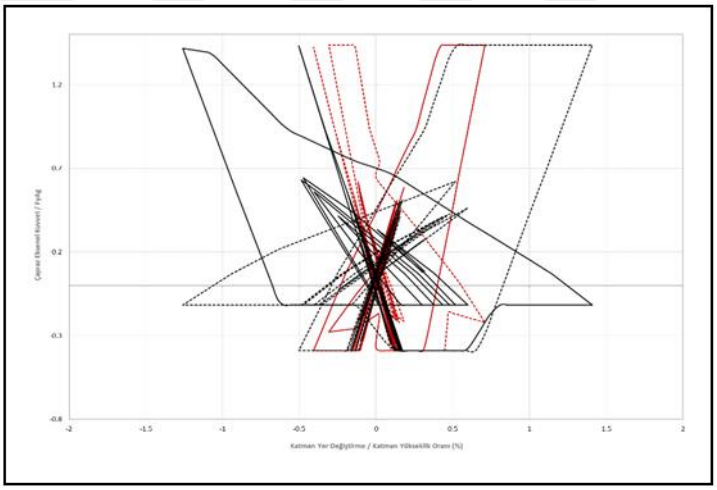
Şekil C1.267: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



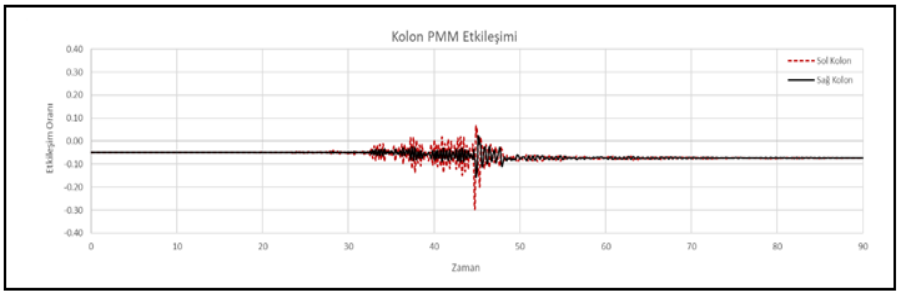
Şekil C1.268: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



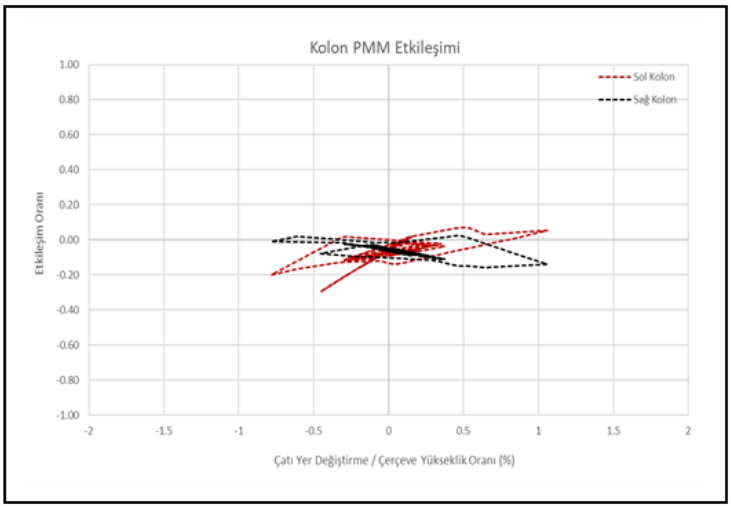
Şekil C1.269: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



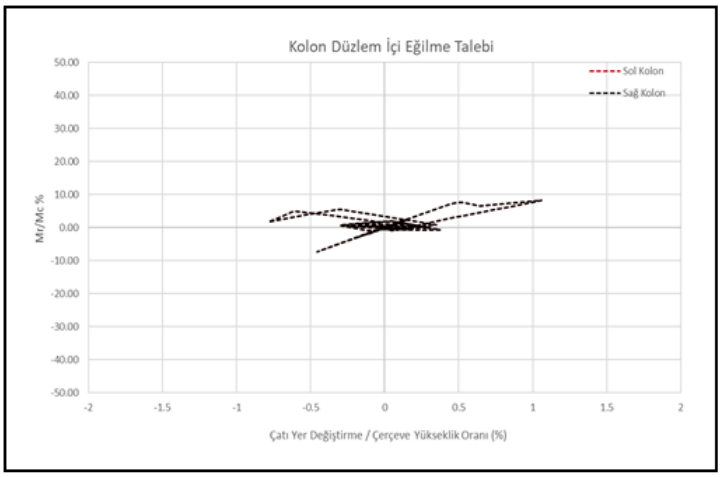
Şekil C1.270: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.271: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

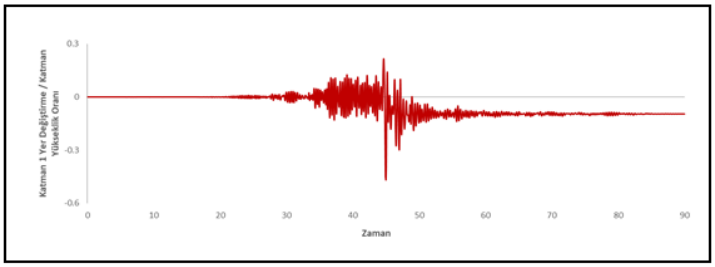


Şekil C1.272: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

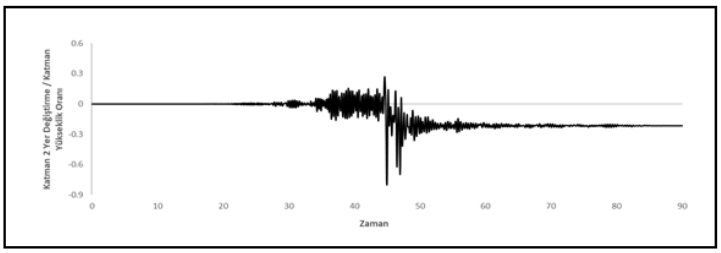


Şekil C1.273: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

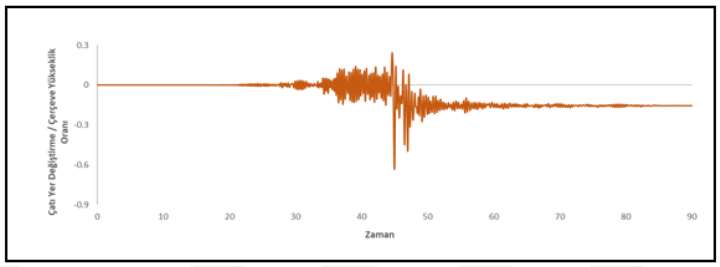
- **<u>RSN 1485-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



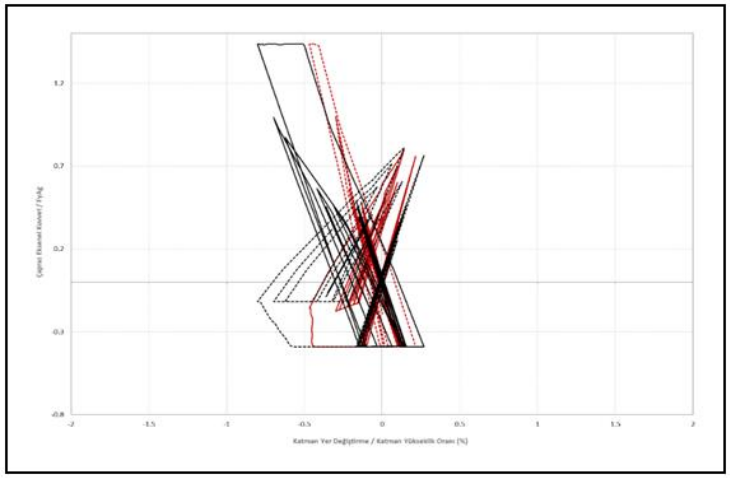
Şekil C1.274: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



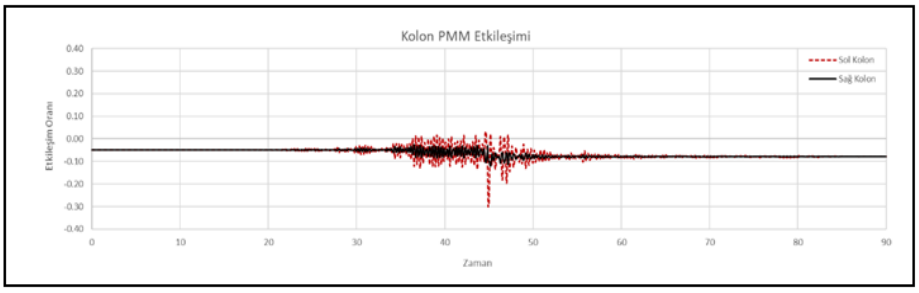
Şekil C1.275: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



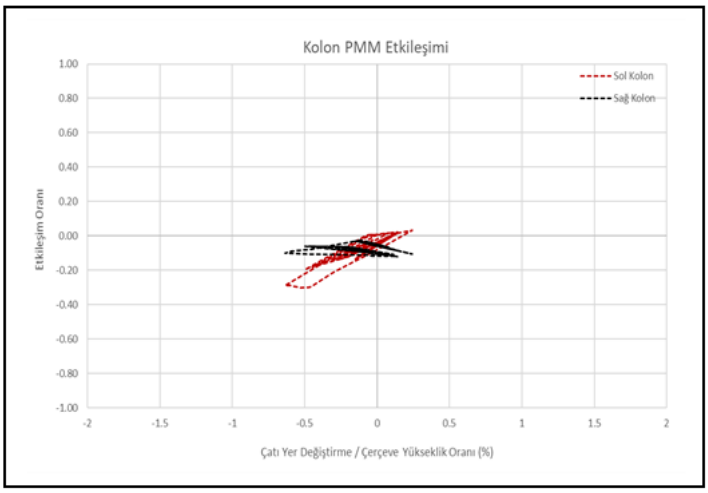
Şekil C1.276: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



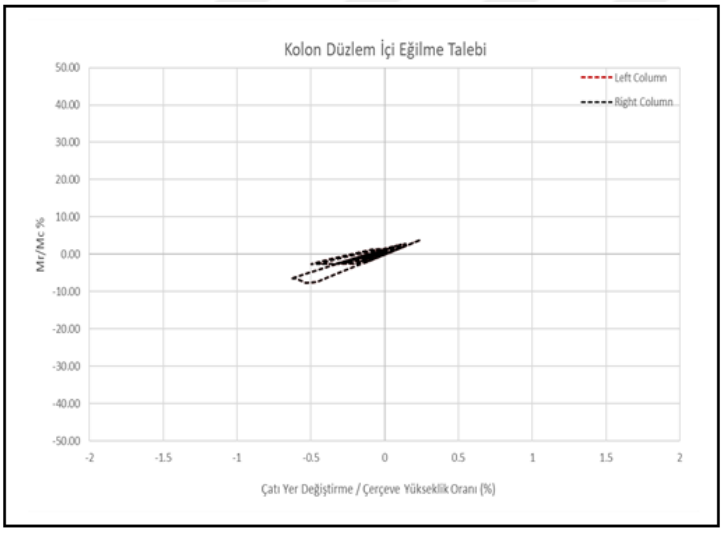
Şekil C1.277: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.278: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

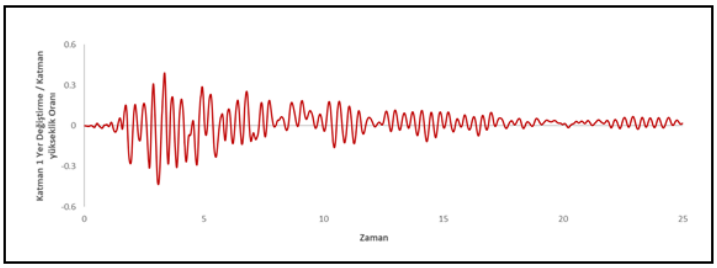


Şekil C1.279: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

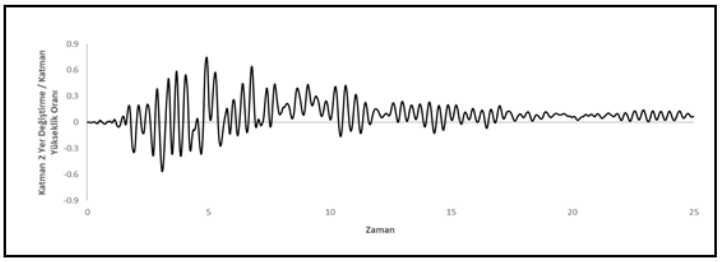


Şekil C1.280: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

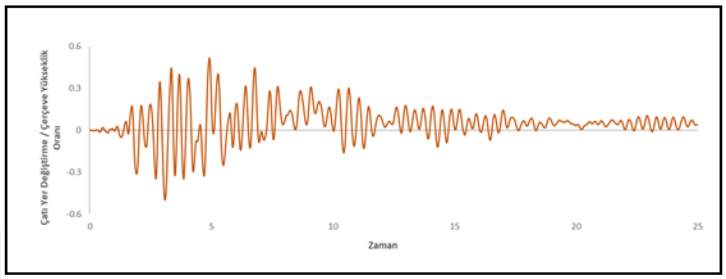
- **<u>RSN 68-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



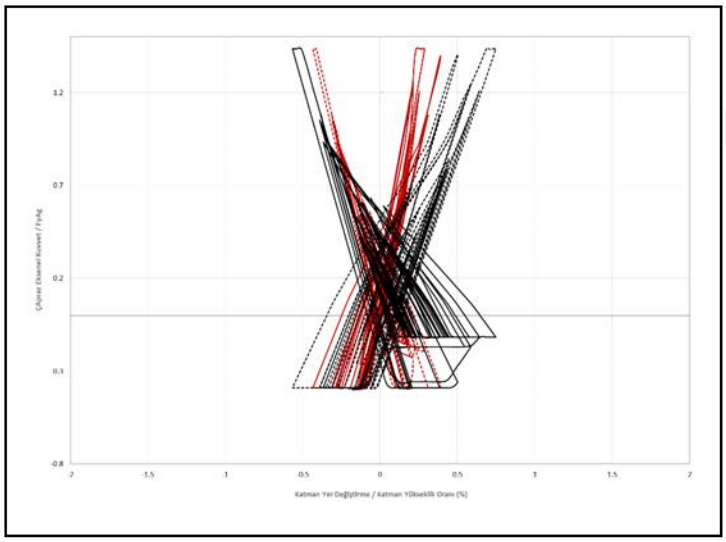
Şekil C1.281: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



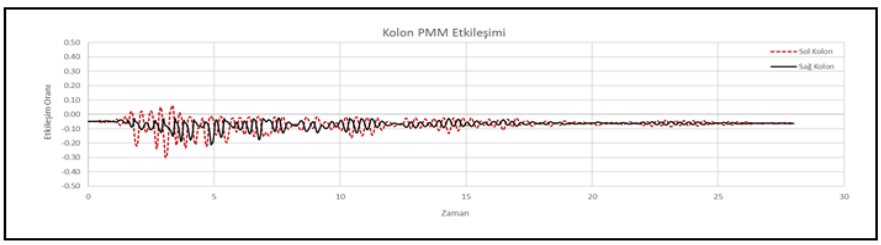
Şekil C1.282: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



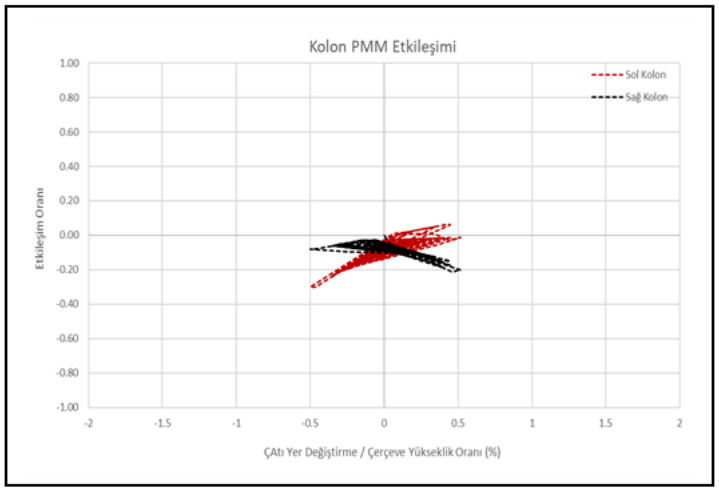
Şekil C1.283: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



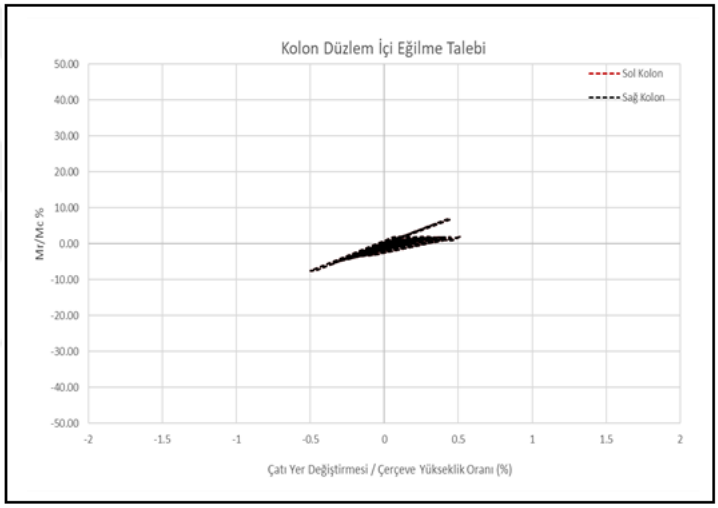
Şekil C1.284: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.285: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

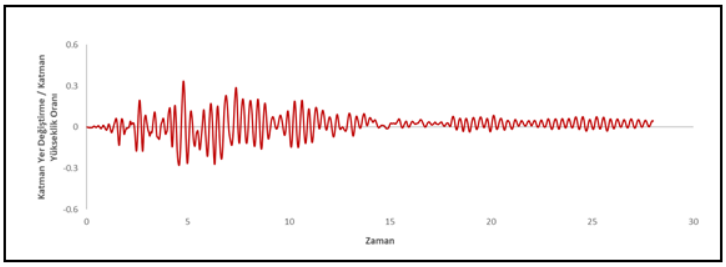


Şekil C1.286: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

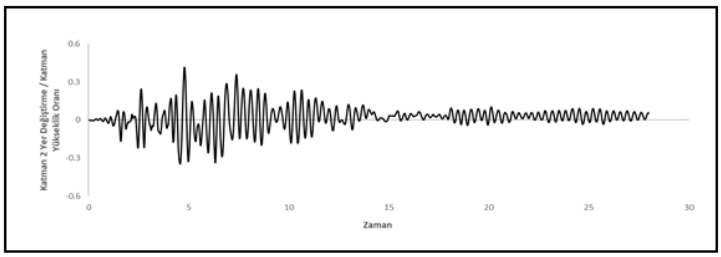


Şekil C1.287: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

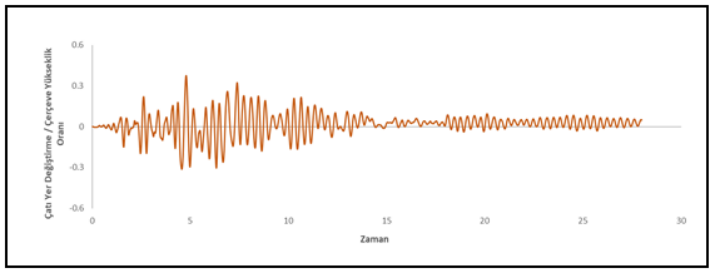
- **<u>RSN 68-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



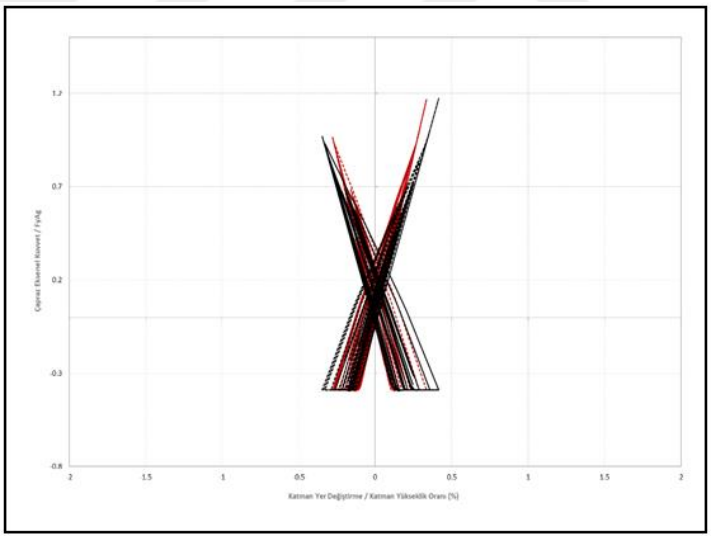
Şekil C1.288: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



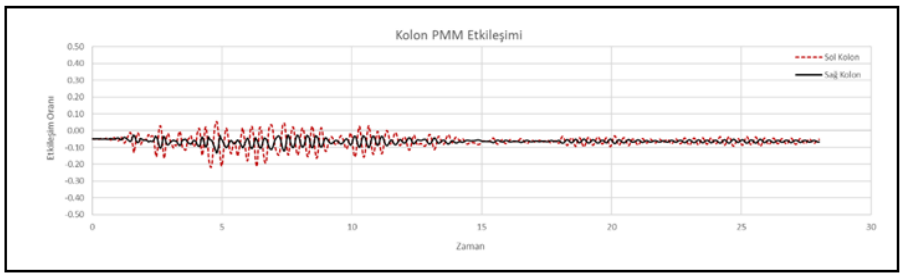
Şekil C1.289: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



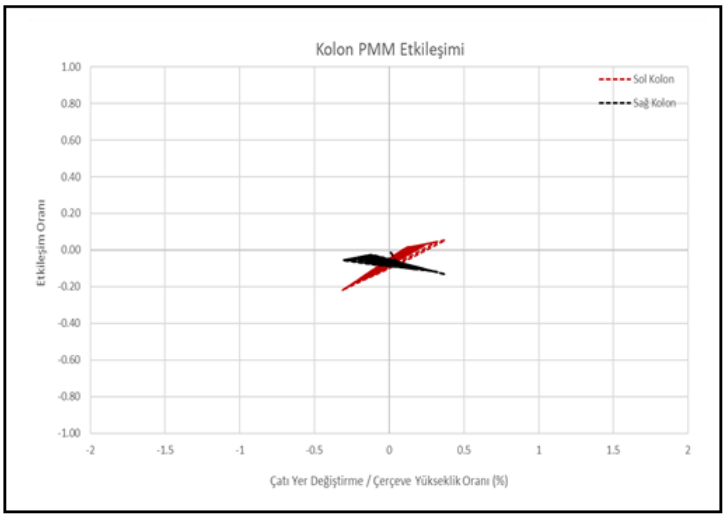
Şekil C1.290: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



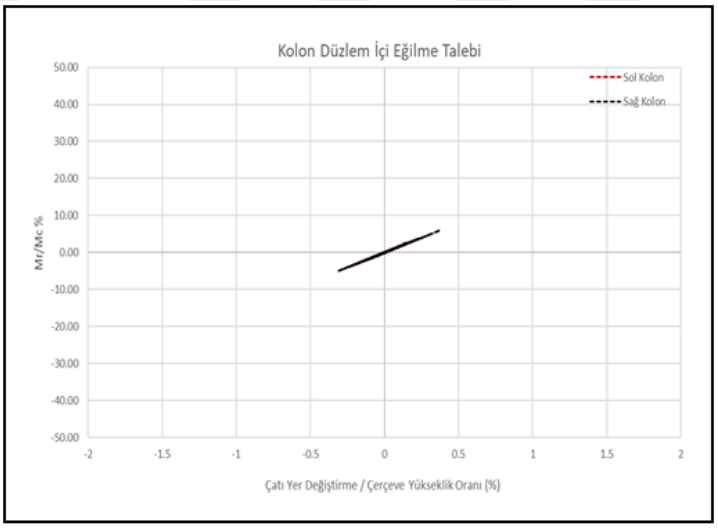
Şekil C1.300: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.301: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

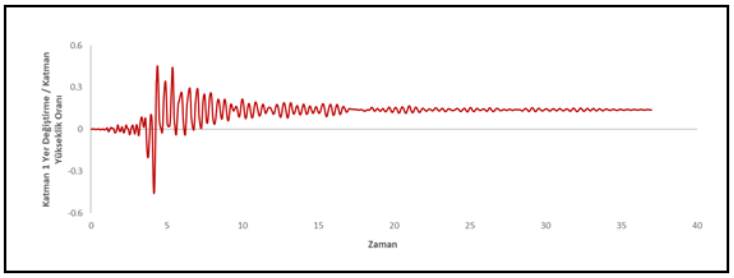


Şekil C1.302: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

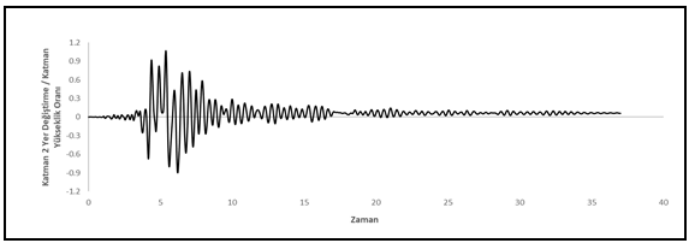


Şekil C1.303: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

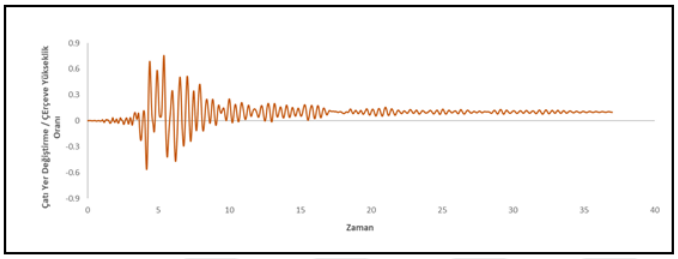
- **<u>RSN 125-0 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



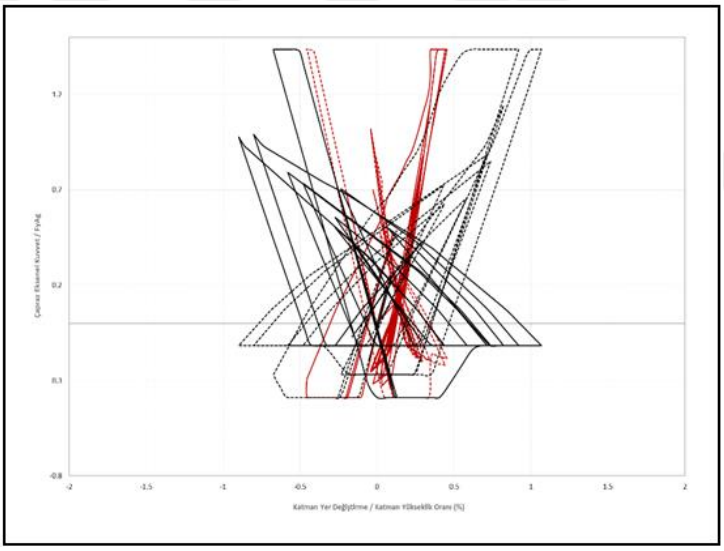
Şekil C1.304: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



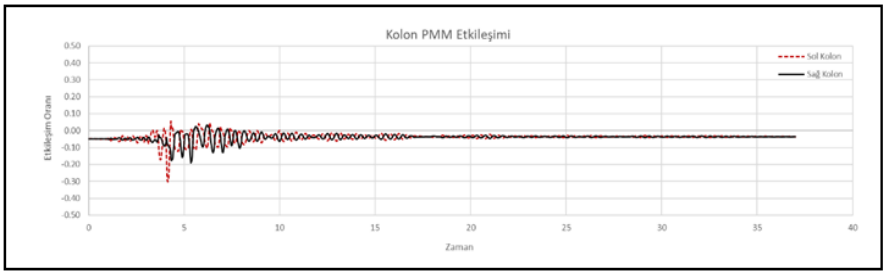
Şekil C1.305: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



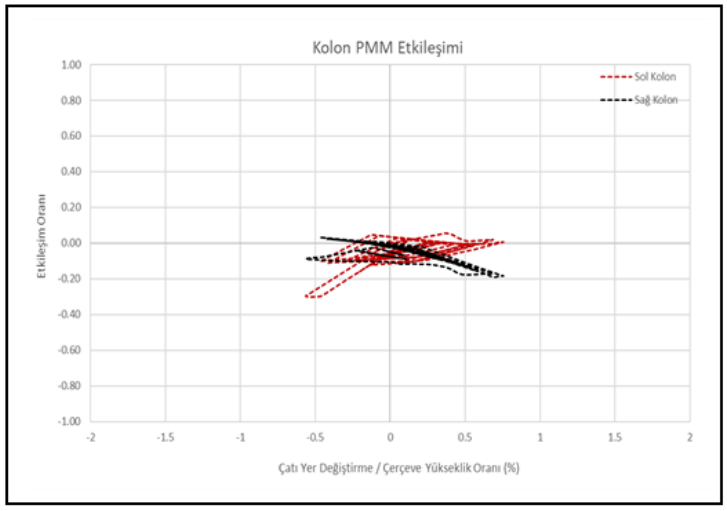
Şekil C1.306: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



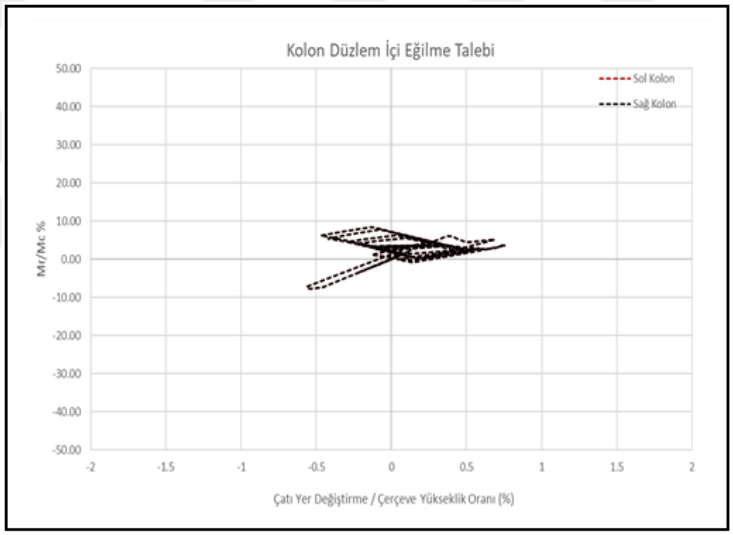
Şekil C1.307: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.308: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.

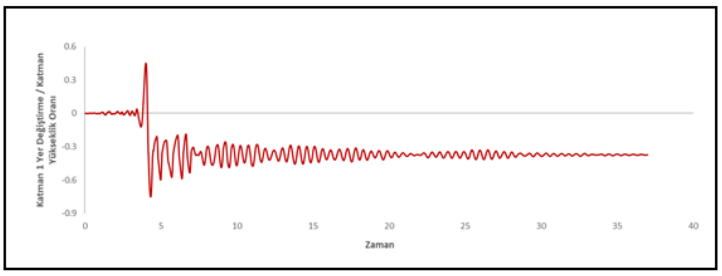


Şekil C1.309: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.

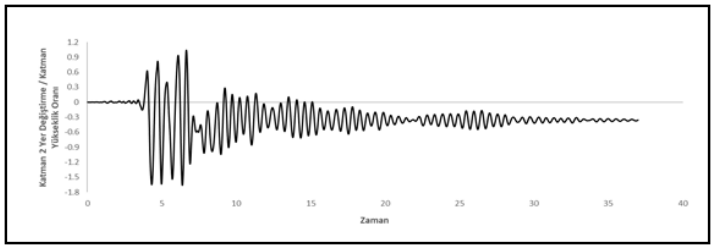


Şekil C1.310: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

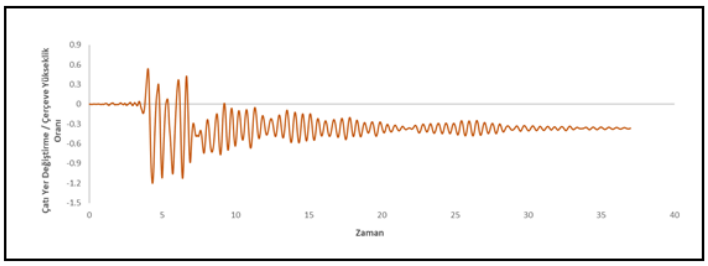
- **<u>RSN 125-90 Deprem Kaydı Sonuçları</u>**



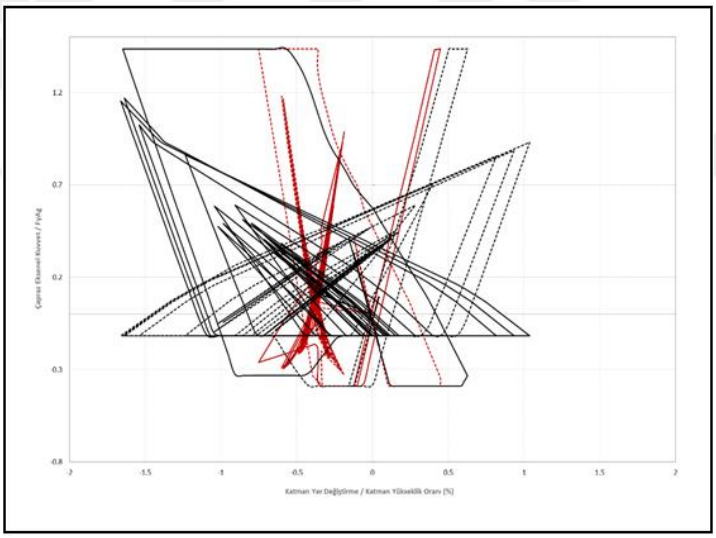
Şekil C1.311: Zaman – katman 1 yer değiştirme oranı (%).



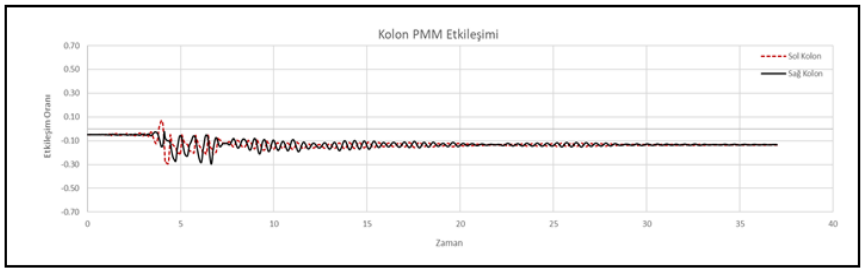
Şekil C1.312: Zaman – katman 2 yer değiştirme oranı (%).



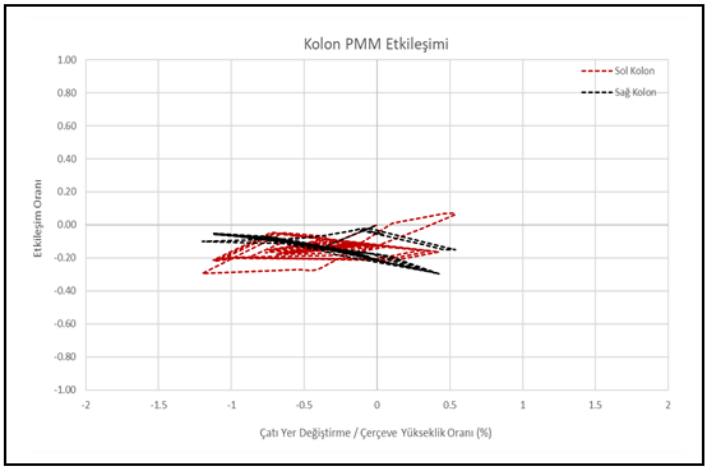
Şekil C1.313: Zaman – çerçeve yer değiştirme oranı (%).



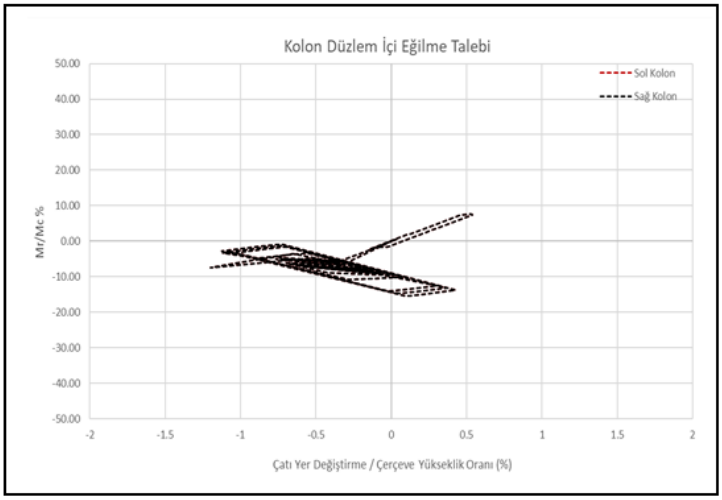
Şekil C1.314: Katman yer değiştirme oranı (%) – çapraz eksenel kuvvet oranı.



Şekil C1.315: Zaman – kolon elemanı PMM etkileşimi.



Şekil C1.316: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı PMM etkileşimi.



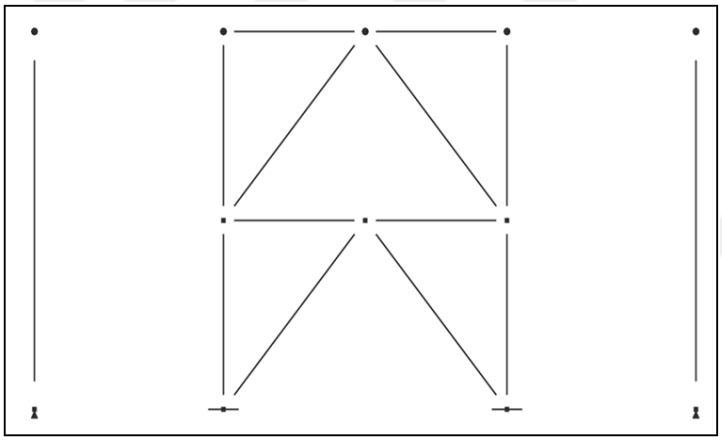
Şekil C1.317: Çerçeve yer değiştirme oranı (%) – kolon elemanı düzlem içi eğilme momenti talebi.

Ek D: Perform 3D Modelleme Adımları

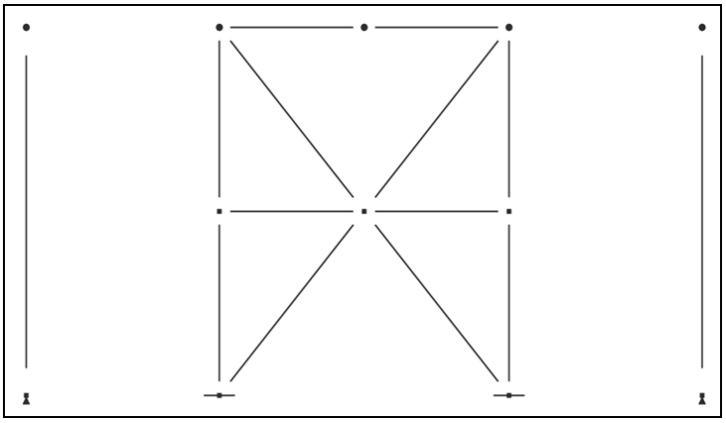
Bu bölümde tez kapsamında yapılan analiz modellerinin Perform 3D programında nasıl tariflendiği anlatılmaktadır. Kolon, kiriş ve çapraz elemanlarının modellerken dikkat edilmesi gereken durumlar üzerinde durulmaktadır.

Bölüm 3.2'de sunulan hem ters V çapraz konfigürasyonu için hem de iki katta X çapraz konfigürasyonu için dikkate alınan analiz modelleri Perform 3D programında iki boyutlu olarak dikkate alınmıştır. Modelleme işlemi sırasında stabilite kolonları da dikkate alınmıştır. Stabilite kolonlarının gerekli düşey yüklemeleri de kolon üst uçlarına tanımlanmıştır.

Aşağıda hem ters V çapraz konfigürasyonu için hem de iki katta X çapraz konfigürasyonu için ili boyutlu Perform 3D analiz modeli görselleri sunulmuştur.

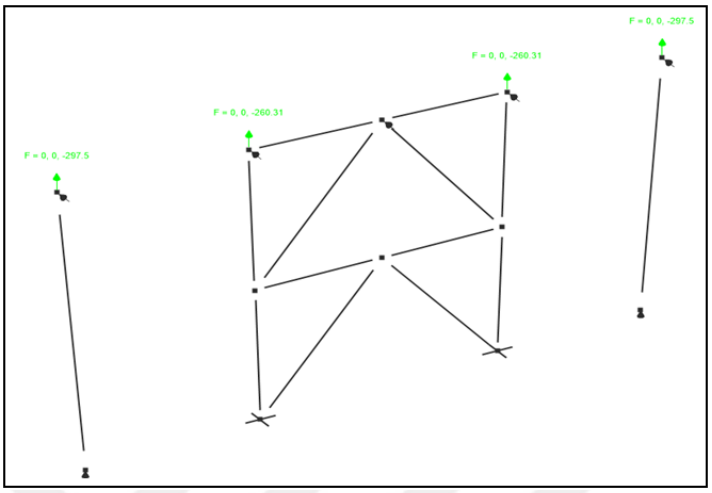


Şekil D1.1: Ters v çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sisteminin iki boyutlu perform 3d analiz modeli.

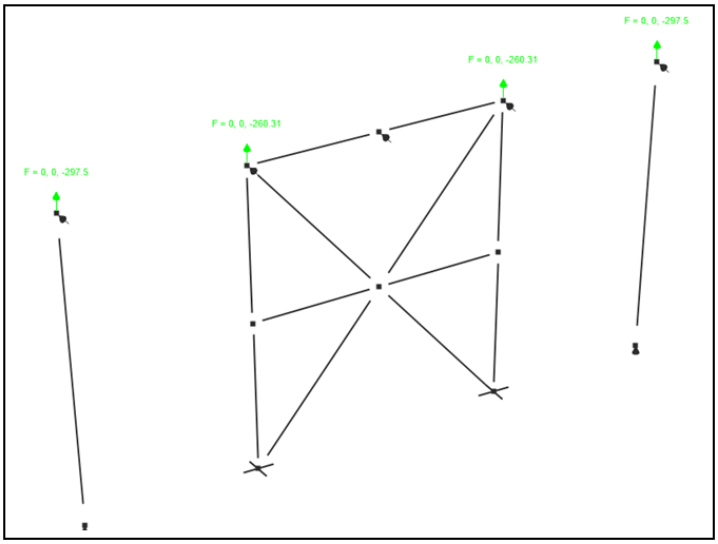


Şekil D1.2: İki katta x çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sisteminin iki boyutlu perform 3d analiz modeli.

Her iki analiz modeli için aynı açıklık ve aynı yük kabulleri dikkate alındığından dolayı iki analiz modeli için aynı yüklemeler dikkate alınmıştır. Bu yüklemeler Perform 3D'de aşağıda gösterildiği gibi tariflenmiştir.



Şekil D1.3: Ters v çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sisteminin düşey yükleme tarifi.



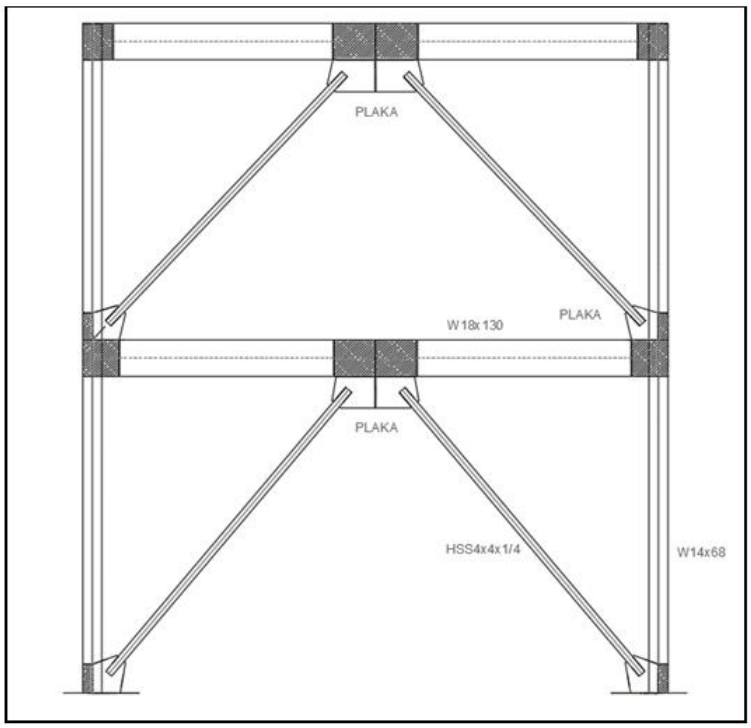
Şekil D1.4: İki katta x çapraz konfigürasyonuna sahip çok katmanlı eş merkezli çaprazlı çerçeve sisteminin düşey yükleme tarifi.

Tanımlamaları yapılan ilgili düşey yüklemeleri analiz için aşağıda gösterildiği gibi bir düşey yükleme durumu oluşturulur. Bu yüklemede tanımlanan düşey yükler ile kolon, kiriş ve çapraz elemanının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde dikkate alınacak başlangıç yüklemesi durumu oluşturulmuştur.

Düşey yükleme tanımlanmasından sonra sismik yükleme tanımlanması yapılacaktır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için dikkate alınan 22 çift deprem kaydı aşağıda gösterildiği gibi programa tanımlanmıştır. Burada depremin toplam süresi ve ilgili deprem kaydının kaç adım olduğu girilmektedir. Daha sonra bölüm 3.3'te gösterilen ilgili deprem kayıtları ölçek faktörleri ilgili kısımlara tanımlanmıştır.

İlgili kolon, kiriş ve çapraz elemanları için kesit tanımlaması yapılır. Daha sonra hesaplanan akma uzaması ve basınç kısalması değerleri kolon ve kiriş elemanları için PMM mafsalı tanımlanarak, çapraz elemanı için ise burkulma etkili eleman tanımlanmasında dikkate alınarak ilgili bileşen (component) ataması gerçekleştirilir.

Perform 3D analiz programında çelik yapı tasarımda mutlaka rijit bölge tanımlaması yapılacaktır. Rijit bölge tanımlaması kolon-kiriş birleşim bölgeleri, çapraz plakası bölgeleri ve taban plakası bölgelerinde tayin edilecektir. Rijit bölge tariflemeleri aşağıda gösterilen şekildekiler gibi yapılacaktır. Rijit bölge tarifi ters V çapraz konfigürasyonuna sahip analiz modeli için Şekil 7.4.1'de taralı alan olarak gösterilmiştir.



Şekil D1.5: Rijit bölge tanımlanması.

Hasar durumlarında bölüm 4.6'da tanımlandığı gibi ilgili şekil değiştirme, dayanım, kat kayması, deplasman ve kesit tesirlerinin kapasite kontrolleri yapılmaktadır. Burada "Deformation" limit durumu tipi seçerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda akma, burkulma ve dönme etkileri altındaki kolon, kiriş ve çapraz elemanlarda şekil değiştirmeleri tespit edebilmek için ilgili limit durumu tanımlanmıştır.

Bölüm 4.8'de tanımlaması yapılan Rayleigh Sönüm Modeli tarifi bu bölümde yapılmaktadır. Kütlesi ve başlangıç rijitliği dikkate alınarak tariflenen Rayleigh sönüm modeli hem kütle hem de rijitlik için kabul edilen α ve β katsayı çarpanları ile tarif edilecektir. Perform 3D kullanıcı kılavuzu bölüm 18.2'de anlatıldığı gibi yapının periyot değerleri uyarınca tariflenen sönüm modeli %3 alınmıştır. İlgili sönüm modeli tarifi aşağıda gösterildiği gibi dikkate alınmıştır.