İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME ÇERÇEVELİ DOLGU DUVARLARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. A.Volkan AKKUZU

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME ÇERÇEVELİ DOLGU DUVARLARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. A.Volkan AKKUZU
501031003

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Ocak 2007

Tez Danışmanı: **Prof.Dr. Zeki HASGÜR**

Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Zekai CELEP**

Prof.Dr. Kaya ÖZGEN

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Dünyadaki önemli deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunan ve %95'i Birinci Derece Deprem Bölgesinde bulunan ülkemizde tarihsel dönemde çok büyük depremlerin meydana geldiği ve bunların önemli can ve mal kaybına neden olduğu açıktır. Son yıllarda yapılan analitik ve deneysel çalışmalarda depreme karşı dolgu duvarların yapılarda taşıyıcı sistem davranışını büyük ölçüde değiştirebildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da, 1999 Kocaeli depremi sırasında orta derecede hasar görmüş ve sonrasında güçlendirilmiş altı katlı betonarme bir binanın güçlendirme öncesi ve sonrası durumlarda farklı dolgu duvar sistemleri için, doğrusal olmayan dinamik analizi incelenmiştir.

Çalışmalarımda katkılarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof.Dr.Zeki HASGÜR'e ve Sayın Yard.Doç.Dr Beyza TAŞKIN'a, arkadaşlarım Ahmet Toker ve Emrah YILMAZ' a teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2006 A.Volkan AKKUZU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
TABLO LİSTESİ v
ŞEKİL LİSTESİ vı
SEMBOL LİSTESİ xı
ÖZET xıı
SUMMARY xv

1. GİRİŞ 1

2. DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELER 2

2.1. Dolgu Duvarlı Çerçeveler Üzerine Yapılan Çalışmalar
2.2. Dolgu Duvarların Özellikleri 4
2.2.1. Dolgu Duvarların Basınç Dayanımı 4
2.2.2. Derz Kalınlığının Etkisi 4
2.2.3. Tuğla ve Harç Dayanımının Etkisi 5
2.2.4. Tuğla Dolgu Duvar Elastisite Modülü 6
2.3. Dolgu Duvarların Yapılar Üzerindeki Etkileri 7
2.3.1. Yük Taşıma Kapasitesi 8
2.3.2. Rijitlik 8
2.3.3. Enerji Yutma Özelliği 10
2.4. Dolgu Duvarların Yapıya Olumlu Etkileri 11
2.5. Dolgu Duvarların Yapıya Olumsuz Etkileri 12
2.6. Dolgu Duvarların Deprem Etkisi Altında Davranışı ve Göçme Biçimleri 14
2.7. Dolgu Duvar Modelleri 17
2.7.1. Eşdeğer Sanal Çubuk Modeli 17
2.8. Boşlukların Etkisinin Hesaba Katılması 21

3. YAPI SİSTEMLERİNİN DİNAMİK ANALİZİ 23
3.1. Doğrusal Olmayan Sistemlerin Dinamik Analizi 24
3.2. Doğrusal Olmayan Sistemlerin Çözümlenmesinde Drain-2DX Programı 27
3.3 Drain-2DX Programında Yapı Sistemlerinin Analizi 29
3.4. Analiz Adımları ve Kabuller 29
3.5. Drain-2DX İle Yapısal Modelin Hazırlanması 32
3.5.1. 2 Nolu Eleman 33

3.5.2. 9 Nolu Eleman 35
4. ÖRNEK BETONARME YAPININ İNCELENMESİ 36
4.1 B08 Örnek Binasının Tanıtımı 36
4.2 Güçlendirme Öncesi ve Sonrası Yapının Malzeme Özellikleri 39
4.2.1. Betonarme Betonu 39
4.2.2.Donatı Çeliği 39
4.3. Kullanılan İvme Kayıtları 39

5. YAPININ GÜÇLENDİRME ÖNCESİ DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ 42
5.1. Sakarya DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 48
5.2 Yarımca KG Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 54
5.3. Yarımca DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 62
5.4. Yarımca DB(arttırılmış) Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 68
5.5. Bolu DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 73
6. YAPININ GÜÇLENDİRME SONRASI DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ 78
6.1. Güçlendirme Sonrası Sakarya DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 82
6.2 Güçlendirme Sonrası Yarımca KG Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 87
6.3. Güçlendirme Sonrası Yarımca DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 95
6.4. Güçlendirme Sonrası Yarımca DB(arttırılmış)Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 100
6.5. Güçlendirme Sonrası Yarımca DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz 105
7 .SONUÇLAR 110

KAYNAKLAR 125
EKLER
127
ÖZGEÇMİŞ 133

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.	Dolgu Duvarlarının Modele Yansıtılmasında Kullanılacak β Sayıları.....	23
Tablo 4.1.	Binanın Genel Bilgileri……..	37
Tablo 4.2.	Deprem Kayıtlarının Maksimum Genlikleri ve Analizdeki Deprem Süreleri……..	42
Tablo 5.1.	Güçlendirme Öncesi Mevcut Yapı Kolonlarına Ait Moment ve Eğrilik Değerleri……...	43
Tablo 5.2.	Güçlendirme Öncesi Yapının Serbest Titreşim Periyotları.....	48
Tablo 6.1.	Güçlendirme Sonrası Yapının Serbest Titreşim Periyotları.....	78
Tablo 7.1.	Güçlendirme öncesi ve sonrası durum için deprem kayıtlarına ait en üst kat yerdeğiştirmesi, talep taban kesme kuvveti ve talep taban devrilme momentinin değişimleri……...	111
Tablo 7.2.	Deprem kayıtları için duvarların taşıma gücünü kaybetme süreleri.	121

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1 :	Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı ilişkisi…….....	5
Şekil 2.2 :	Harç, tuğla ve duvar basınç dayanımları ilişkisi……..	6
Şekil 2.3 :	Rijitliğin dolgu duvar üzerine etkisinin analitik olarak modellenmesi……	9
Şekil 2.4 :	Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde rijitliğin değişimi.	10
Şekil 2.5 :	Çevrimler sırasında söndürülen enerji miktarı…….	11
Şekil 2.6 :	Söndürülen toplam enerji miktarı…….	11
Şekil 2.7 :	İki çerçevesinde dolgu duvarları bulunan çok katlı betonarme yapının kat planı……...	13
Şekil 2.8 :	Boşluklu dolgu duvarlı çerçeve……	13
Şekil 2.9 :	Yatay derzlere paralel etkiyen yükler altında yığma duvarlarda kırılma biçimleri……	15
Şekil 2.10 :	Dolgu duvarlarının göçme biçimleri……	16
Şekil 2.11 :	Dolgu duvarın çözümleme modelinde temsil edilmesi……	18
Şekil 2.12 :	Dolgu duvarlı çerçevenin iki ucu mafsallı çapraz eşdeğer sanal çubukla temsil edilmesi……	18
Şekil 2.13 :	Dolgu duvarlı çerçevede rijitliğin değişimi……..	20
Şekil 2.14 :	Dolgu duvarların uygulamada karşılaşılan tipleri……	22
Şekil 3.1 :	Doğrusal olmayan kuvvet-şekil değiştirme eğrisi……	25
Şekil 3.2 :	a) Elastoplastik, b) Çift doğrulu, c) Üç doğrulu, d) Clough, e) Başlangıca yönelik, f) Takeda, g) Roufaiel-Meyer, h) Bouc-Wen histeretik modelleri.....	26
Şekil 3.3 :	Drain-2DX program şeması…….	28
Şekil 3.4 :	2 nolu elemana ait eleman geometrisi ve moment-eğrilik bağıntısı……	34
Şekil 3.5 :	Eğilme momentinin a) sabit, b) değişken olduğu durumlara ait moment-dönme ve moment-eğilik bağıntıları……..	34
Şekil 3.6 :	Eksenel kuvvet taşıyan bağlantı elemanı……..	35
Şekil 3.7 :	Drain-2DX Eleman No:9 ile kuvvet-deformasyon ilişkisinin modellenmesi……	35
Şekil 4.1 :	Binanın zemin kat planı……	38
Şekil 4.2 :	Örnek binaya etkitilen Bolu kaydı D-B bileşeni (12 Kasım 1999)…….	40
Şekil 4.3 :	Örnek binaya etkitilen Yarımca kaydı K-G bileşeni (17 Ağustos 1999)…….	40
Şekil 4.4 :	Örnek binaya etkitilen Sakarya kaydı D-B bileşeni (17 Ağustos 1999)…….	40
Şekil 4.5 :	Örnek binaya etkitilen Yarımca kaydı D-B bileşeni (17 Ağustos 1999)…….	41
Şekil 4.5 :	Örnek binaya etkitilen Yarımca(arttırılmış) kaydı D-B bileşeni (17 Ağustos 1999)……	41
Şekil 4.6 :	Bolu depremine ait ivme karşılık spektrumları……	41

Şekil 5.1 :	Güçlendirilme öncesi duruma ait birleştirilmiş çerçeve……...	46
Şekil 5.2 :	Tüm çerçevelere ait mimari yerleşim planı……..	47
Şekil 5.3 :	Duvarlı ve Duvarsız duruma ait mod şekilleri…….	48
Şekil 5.4 :	Güçlendirme öncesi Sakarya DB yerdeğiştirme zarfı…….	49
Şekil 5.5 :	Güçlendirme öncesi Sakarya DB göreli kat ötelemeleri……..	49
Şekil 5.6 :	Sakarya DB en üst kat yerdeğiştirme değişimleri…….....	50
Şekil 5.7 :	Sakarya DB taban kesme kuvveti talebi değişimi……	51
Şekil 5.8 :	Sakarya DB talep taban devrilme momenti değişimi …….	52
Şekil 5.9 :	Sakarya DB taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……..	53
Şekil 5.10 :	Yarımca KG güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfı	54
Şekil 5.11 :	Yarımca KG güçlendirme öncesi duruma ait göreli kat ötelemeleri…….....	54
Şekil 5.12 :	Yarımca KG kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri…..	55
Şekil 5.13 :	Yarımca KG taban kesme kuvveti talebi değişimi……...	56
Şekil 5.14 :	Yarımca KG taban devrilme momenti talebi değişimi…….	57
Şekil 5.15 :	Yarımca KG taban kesme kuvvet talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……..	58
Şekil 5.16 :	Yarımca KG kaydı için Çerçeve 1 ve 2 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarsız durum)……...	59
Şekil 5.17 :	Yarımca KG kaydı için Çerçeve 1 ve 2 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarlı durum)…….	59
Şekil 5.18 :	Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarsız durum)……...	60
Şekil 5.19 :	Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarlı durum)…….	60
Şekil 5.20 :	Yarımca KG kaydı için Çerçeve 5 ve 6 da kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarsız durum)……...	61
Şekil 5.21 :	Yarımca KG kaydı için Çerçeve 5 ve 6 da kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarlı durum)…….	61
Şekil 5.22 :	Yarımca DB güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfı	63
Şekil 5.23 :	Yarımca DB güçlendirme öncesi duruma ait göreli kat ötelemeleri……	63
Şekil 5.24 :	Yarımca DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri…..	64
Şekil 5.25 :	Yarımca DB taban kesme kuvveti talebi değişimi……...	65
Şekil 5.26 :	Yarımca DB taban devrilme momenti talebi değişimi…….	66
Şekil 5.27 :	Yarımca DB taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……..	67
Şekil 5.28 :	Yarımca DB(arttırılmış) güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfı……	68
Şekil 5.29 :	Yarımca DB(arttırılmış) güçlendirme öncesi duruma ait göreli kat ötelemeleri……..	68
Şekil 5.30 :	Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri ……...	69
Şekil 5.31 :	Yarımca DB(arttırılmış) taban kesme kuvveti talebi değişimi….	70
Şekil 5.32 :	Yarımca DB(arttırılmış) taban devrilme momenti talebi değişimi……	71

Şekil 5.33 :	Yarımca DB(arttırılmış) taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……..	72
Şekil 5.34 :	Bolu DB güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfı…..	73
Şekil 5.35 :	Bolu DB güçlendirme öncesi duruma ait göreli kat ötelemeleri..	73
Şekil 5.36 :	Bolu DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri……	74
Şekil 5.37 :	Bolu DB taban devrilme momenti talebi değişimi……...	75
Şekil 5.38 :	Bolu DB taban devrilme momenti talebi değişimi……...	76
Şekil 5.39 :	Bolu DB taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……	77
Şekil 6.1 :	Perdelerin donatı düzeni……...	78
Şekil 6.2 :	Örnek B08 binasının güçlendirme sonrası zemin kat kalıp planı	79
Şekil 6.3 :	Duvarlı ve Duvarsız duruma ait mod şekilleri…….	80
Şekil 6.4 :	Perdelerin eklendiği çerçevenin Drain programında kullanılacak olan iki boyutlu görüntüsü……...	81
Şekil 6.5 :	Sakarya DB güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı	82
Şekil 6.6 :	Sakarya DB güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri……	82
Şekil 6.7 :	Güçlendirme sonrası Sakarya DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……..	83
Şekil 6.8 :	Güçlendirme sonrası Sakarya DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri…….	84
Şekil 6.9 :	Güçlendirme sonrası Sakarya DB kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri……..	85
Şekil 6.10 :	Güçlendirme sonrası Sakarya DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi -en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……..	86
Şekil 6.11 :	Yarımca KG güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı……..	87
Şekil 6.12 :	Yarımca KG güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri……	87
Şekil 6.13 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri…….	88
Şekil 6.14 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri…….	89
Şekil 6.15 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri……...	90
Şekil 6.16 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……..	91
Şekil 6.17 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 1 ve 2 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarsız durum)...	92
Şekil 6.18 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarlı durum)….	92
Şekil 6.19 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarsız durum)...	93
Şekil 6.20 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarlı durum)….	93
Şekil 6.21 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 5 ve 6 da kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarsız durum)...	94
Şekil 6.22 :	Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 5 ve 6 da kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarlı durum)….	94

Şekil 6.23 :	Yarımca DB güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı……..	95
Şekil 6.24 :	Yarımca DB güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri……	95
Şekil 6.25 :	Güçlendirme sonrası Yarımca DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri…….	96
Şekil 6.26 :	Güçlendirme sonrası Yarımca DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri…….	97
Şekil 6.27 :	Güçlendirme sonrası Yarımca DB kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri……..	98
Şekil 6.28 :	Güçlendirme sonrası Yarımca DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……...	99
Şekil 6.29 :	Yarımca DB(arttırılmış) güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı……	100
Şekil 6.30 :	Yarımca DB(arttrılmış) güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri……..	100
Şekil 6.31 :	Güçlendirme sonrası Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri……...	101
Şekil 6.32 :	Güçlendirme sonrası Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri……	102
Şekil 6.33 :	Güçlendirme sonrası Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri……	103
Şekil 6.34 :	Güçlendirme sonrası Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……	104
Şekil 6.35 :	Bolu DB güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı….	105
Şekil 6.36 :	Bolu DB güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri.	105
Şekil 6.37 :	Güçlendirme sonrası Bolu DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……..	106
Şekil 6.38 :	Güçlendirme sonrası Bolu DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri……..	107
Şekil 6.39 :	Güçlendirme sonrası Bolu DB kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri……...	108
Şekil 6.40 :	Güçlendirme sonrası Bolu DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri……	109
Şekil 7.1 :	Güçlendirme öncesi duvarsız çıplak çerçeveye göre periyotlardaki azalım (%)…….	114
Şekil 7.2 :	Güçlendirme sonrası duvarsız çıplak çerçeveye göre periyotlardaki azalım (%)…….	114
Şekil 7.3 :	Duvarsız durumdaki yerdeğiştirmelere göre üç deprem kaydı için yerdeğiştirmelerdeki azalım(%)……	115
Şekil 7.4 :	Güçlendirme öncesi duvarsız çıplak çerçeveye göre yerdeğiştirmelerdeki azalım (%)……..	116
Şekil 7.5 :	Güçlendirme sonrası duvarsız çıplak çerçeveye göre yerdeğiştirmelerdeki azalım (%)……..	116
Şekil 7.6 :	Üç deprem kaydı için taban kesme kuvveti taleplerinin duvarlı çerçeveye göre azalım(%)……	117
Şekil 7.7 :	Güçlendirme öncesi taban kesme kuvvetleri taleplerinin duvarlı çerçeveye göre ortalama yüzde değişimi…….	118
Şekil 7.8 :	Güçlendirme sonrası taban kesme kuvveti taleplerinin duvarlı	

	çerçeveye göre ortalama yüzde değişimi…….	118
Şekil 7.9 :	Üç deprem kaydı için taban devrilme taleplerinin duvarlı çerçeveye göre azalım(%)……	119
Şekil 7.10 :	Güçlendirme öncesi taban devrilme momenti taleplerinin duvarlı çerçeveye göre azalımı(%)……..	119
Şekil 7.11 :	Güçlendirme sonrası taban devrilme momenti taleplerinin duvarlı çerçeveye göre azalımı(%)……...	120
Şekil A.1 :	Güçlendirme öncesi Bolu DB duvarsız sistemde oluşan plastik mafsallar……...	128
Şekil A.2 :	Güçlendirme öncesi Yarımca DB ilk kat duvarlarının olmadığı sistem için plastik mafsalların oluşumu……...	130
Şekil A.3 :	Güçlendirme sonrası Bolu DB mimari durum için plastik mafsalların oluşumu…….	132

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{f_m}$: Dolgu duvar prizma basınç dayanımı
$\mathbf{E_m}$: Dogu duvar başlangıç elastisite modülü
$\mathbf{k}$: Dolgu duvar prizma basınç dayanımı
$\mathbf{E}$: Beton elastisite modülü
$\mathbf{F}$: Enkesit alanı
$\mathbf{L_d}$: Eşdeğer sanal çubuğun boyu
Δ : Diyagonal çubuğun birim yerdeğiştirmesi
$\mathbf{V_d}$: Hesap kesme kuvveti
$\mathbf{h}$: Temiz kat yüksekliği
$\mathbf{M_Ü}$: Kolon üst uç momenti
$\mathbf{M_A}$: Kolon alt uç momenti
$\mathbf{E_i}$: Dolgu duvar elastisite modülü
$\mathbf{w}$: Pandül çubuğun etkin genişliği
$\lambda\mathbf{h}$: Duvardan çerçeveye olan bağıl rijitlik
$\mathbf{t}$: Dolgu duvar kalınlığı
$\boldsymbol{\theta}$: Elemanda oluşan dönme
$\mathbf{E_c}$: Kolonun elastisite modülü
$\mathbf{I_c}$: Kolon atalet momenti
$\mathbf{l}$: Kirişin uzunluğu
$\mathbf{G_p}$, $\mathbf{G_f}$: Dolgu duvarın ve çerçevenin kayma modülü
$\mathbf{H_S}$: Dolgu duvarın çatlama anındaki kesme mukavemetini
$\mathbf{H_U}$: Tüm sistemin kesmeye göre taşıma gücünü
$\mathbf{h_P}$: Çatlamamış dolgu duvar yüksekliği
$\mathbf{K_İ}$: Dolgu duvarlı çerçevenin ilk rijitliği
$\mathbf{K_e}$: Dolgu duvarlı çerçevenin etkili rijitliğini
$\mathbf{K_C}$: Dolgu duvarlı çerçevenin, taşıma gücüne ulaştığı andaki rijitliği
$\mathbf{a}$: İvme
$\mathbf{a}_{\boldsymbol{eff}}$: Etkin yer ivmesi
$\mathbf{F_{cr}}$: Çatlama anında elemana etkiyen kuvvet
$\mathbf{F_{e,max}}$: Elastik durumda etkiyen en büyük kuvvet
$\mathbf{F_{p,max}}$: Plastik durumda etkiyen en büyük kuvvet
$\mathbf{F_u}$: Taşıma gücü durumunda elemana etkiyen kuvvet
$\mathbf{F_y}$: Akma anında elemana etkiyen kuvvet
$\mathbf{M}$: Elemanın eğilme momenti
$\mathbf{M_y^+}$: Elemanın pozitif akma momenti
$\mathbf{M_y^-}$: Elemanın negatif akma momenti
$\mathbf{M(t)}$: t anında elemandaki eğilme momenti
$\mathbf{M_{max}}$: Yapıda oluşan en büyük devrilme momenti
$\mathbf{N}$: Elemandaki normal kuvvet
$\mathbf{S}_{\boldsymbol{a}}$: İvme spektrumu
$\mathbf{T}$: Titreşim periyodu
$\mathbf{U_{e,max}}$: Elastik durumdaki en büyük yerdeğiştirme

$\mathbf{U_{p,max}}$: Plastik durumdaki en büyük yerdeğiştirme
$\mathbf{u(t)}$: Zamana bağlı yerdeğiştirme
$\mathbf{u_{cr}}$, $\mathbf{D_{cr}}$: Çatlama anındaki yerdeğiştirme
$\mathbf{u_{max}}$: Yapının en üst katında oluşan en büyük yerdeğiştirme
$\mathbf{u_u}$, $\mathbf{D_u}$: Taşıma gücü durumundaki yerdeğiştirme
$\mathbf{u_y}$, $\mathbf{D_y}$: Akma anındaki yerdeğiştirme
$\ddot{\mathbf{u}}_{\mathbf{g}}\mathbf{(t)}$: Yer ivmesi
$\mathbf{V_{max}}$: Yapıda oluşan en büyük taban kesme kuvveti
$\boldsymbol{\alpha}$: Gerilme pekleşmesi oranı
$\boldsymbol{\alpha}$: Sönüme etki eden kütle faktörü
$\boldsymbol{\beta}$: Sönüme etki eden rijitlik faktörü
$\Delta\mathbf{M}$: Elemandaki moment değişimi
$\Delta\mathbf{t}$: Süre değişimi
$\{f_D\}$: Sönüm kuvveti vektörü
$\{f_I\}$: Eylemsizlik kuvveti vektörü
$\{f_S\}$: İç kuvvet vektörü
$\{\mathbf{u}\}$: Yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{u}}\}$: Hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{u}}\}$: İvme vektörü
$\{\boldsymbol{P(t)}\}$: Dış yük vektörü
$\mathbf{M_b}$: Dengeli duruma karşı gelen moment
$\mathbf{M_y}$: Akma momenti
$\mathbf{M_u}$: Basit eğilme momenti

ÖZET

Kullanılan hesap yöntemlerinde bölme duvarlarının etkileri ihmal edilmesine rağmen, yapı sistemlerinin davranışını, yanal rijitliklerinde ve yük taşıma kapasitelerinde neden oldukları artışlar nedeni ile önemli derecede etkilemektedirler. Bu nedenle de bu tez kapsamında dolgu duvarlarının, betonarme düzlem çerçevelerin doğrusal olmayan davranışlarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde orta derecede hasar görmüş ve sonrasında güçlendirilmiş altı katlı betonarme bir yapının doğrusal olmayan dinamik analizle farklı dolgu duvar sistemleri için yapıya olan etkileri araştırılmıştır. Drain-2DX programı kullanılarak yürütülen analiz, Kocaeli depremi ile 12 Kasım 1999 Düzce depremi sırasında kaydedilen 5 adet güçlü hareket kaydından oluşan bir deprem grubu ele alınarak gerçekleştirilmiştir.

Birinci bölümde, yapılan tez çalışmasının genel amacı ortaya konmuş ve dolgu duvarlar hakkında bir giriş yapılmıştır.

İkinci bölümde, dolgu duvarların yapının yatay yükler altındaki davranışına etkisinin anlaşılmasına yönelik çalışmalar, dolgu duvarların özellikleri, dolgu duvarların yapılar üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri ile analiz sırasında kullanılan eşdeğer sanal çubuk modeli hakkında bilgi verilmektedir.

Üçüncü bölümde, dinamik analiz hakkında ve bu çalışmada kullanılacak olan doğrusal olmayan dinamik analiz ile ilgili bilgi verilmiştir. Doğrusal olmayan sistemlerin çözümünde kullanılan programlardan biri olan Drain-2DX'in çalışma prensibi hakkında bilgi verilmiş, bünyesinde barındırdığı eleman modellerinden betonarme kolon-kirişler ve dolgu duvarlar için tez kapsamında kullanılmakta olanlar, detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, ele alınan B08 yapısının taşıyıcı sistemi hakkında, binada kullanılmış olan malzemeler ve kullanılan ivme kayıtları ile ilgili olarak genel bir bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, yapının güçlendirme öncesi dört farklı dolgu duvar sistemi için, Sakarya DB, Yarımca KG, Yarımca DB, Yarımca DB(arttırılmış) ve Bolu DB deprem kayıtlarının yapıya etkitilmesi ile dinamik analizi yapılmış ve periyot, yerdeğiştirmeler, talep taban kesme kuvvetleri, talep taban devrilme momentleri, talep taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirmesi ve plastik mafsalların oluşumuna ait şekiller her bir deprem kaydı için ayrı ayrı verilmiştir.

Altıncı bölümde ise yapının güçlendirme sonrası bir önceki bölümde incelenen aynı dolgu duvar sistemleri için yeniden dinamik analizi yapılmış ve yukarıda belirtilen her bir deprem kaydı için belirlenen şekiller tekrar çizilmiştir.

Yedinci bölümde, yapılan doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda elde edilen veriler yapının güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası farklı dolgu duvar sistemleri için değerlendirmeleri yapılmış ve sonuçları sıralanmıştır.

SUMMARY

In general, analysis methods neglect the effect of infill walls; however, infill walls have significant effects such as icreasing both the lateral stiffness and load carrying capacity of the system. Therefore, in this thesis surveying the nonlinear behavior of infilled frames is aimed.

The infill walls influence the dynamic characteristics like fundamental period and mode shape of the structure. And also infill walls stiffness decreases the fundamental period, top-storey displacements and relative displacements. The influence of the infill walls depends on the number of frames that are infilled and the location of the infill walls in structure.

Drain-2DX is an open-code computer program which allows the users to write new codes and develop the program according to their goal. Drain-2DX, designed for the analyses of two dimensional frame systems, has a broad capability in the aspect of including several types of analysis. Non-linear dynamic analyses of the different types of infill walls are carried out to illustrate the structural performance of a six story RC building in Yalova, which has experienced moderate damage during the August 17, 1999 Kocaeli Earthquake and strengthened afterwards. Analyses, which are realized by the use of Drain-2DX computer program, are performed considering an earthquake ensemble composed of 5 strong motions that are recorded during the above-mentioned Kocaeli and November 12, 1999 Düzce Earthquakes.

Envelopes for generalized and relative displacements and time variations of top-story displacements, base-shear and overturning moment are determined and successfully compared for each case. Occurrence of plastic hinges and their locations are calculated and plotted on a structural scheme. As a conclusion, in this study, an attempt has been made to define modeling of infill walls and to indicate the influence of infill walls during the earthquake by using dynamic non-linear analysis program Drain-2DX.

1.GİRİŞ

Yurdumuzda özellikle yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde çok katlı yapıların giderek daha geniş uygulama alanı bulması, bu yapı sistemlerinin daha gerçekçi, yeterli güvenlikte ve ekonomik olarak tasarımının önemini arttırmaktadır. Ülkemizin dünyanın önemli deprem kuşaklarından birinin üzerinde olması, yapıların projelendirilirken ve inşası sırasında deprem etkisinin göz önüne alınması gerektiğini apaçık ortaya koymaktadır.

Ülkemizde bu yaklaşıma göre oluşturulan ve kısaca deprem yönetmeliği olarak bilinen Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik esaslarınca yapıların, hafif şiddetteki depremlerde herhangi bir hasar görmemeleri, orta şiddetteki depremlerde can kaybına neden olmayacak şekilde onarılabilir derecede hasar görmeleri, ağır şiddetteki depremlerde ise onarılamayacak derecede hasar görmekle beraber herhangi bir can kaybına neden olmayacak şekilde kısmen veya tamamen göçmelerinin engellenmesi hedeflenmiştir. Ama 1975 ve daha eski tarihli deprem yönetmeliklerine göre tasarımı yapılmış pek çok betonarme binanın, 17 Ağustos 1999 depreminde ağır hasar gördüğü ya da tamamen yıkıldığı bir gerçektir. Birçok ülke ve Türkiye'de de yürürlükte olan mevcut deprem yönetmeliklerinde dolgu duvarların yapının taşıyıcı sistem üzerindeki etkileri ihmal edilmiştir. Tasarım aşamasında dolgu duvarları sadece yapı ağırlıklarının belirlenmesinde dış yük olarak ele alınıp, sistem analizlerinde döşeme, kiriş ve kolonlardan oluşan çerçeve dikkate alınmaktadır. Ancak deprem sırasında binalarda oluşan hasarlar üzerinde yapılan gözlem ve araştırmalarda, duvarlarda büyük kalıcı şekil değiştirmelerin oluştuğu görülmüştür. Bu kalıcı şekil değiştirmelerin oluşumu ve çerçeve sistemi ile etkileşimi, son yıllarda yapılan deneysel ve analitik çalışmaların sonucunda, dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranış özelliklerini büyük ölçüde değiştirdiği ve taşıyıcı sistem analizlerinde dolgu duvarlarında etkisinin göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermiştir.

2. DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELER

2.1. Dolgu Duvarlı Çerçeveler Üzerine Yapılan Çalışmalar

Dolgu duvarlı çerçeveler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak dolgu duvarlı çerçevelerden çeşitli numuneler seçilerek devirli yanal yükleme testlerinin yapıldığı ve çerçevelerin hareketlerinin incelenerek bazı yaklaşık sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Benjamin ve Williams 1957 ve 1958 yıllarında yaptıkları çalışmalarda, iç kısmı betonarme malzeme ile doldurulmuş tek katlı düzlemsel betonarme çerçeve sistemlerin yatay yükler altındaki kırılma davranışlarını deneysel olarak izlemişlerdir[14]. Araştırmalarında yükleme durumları, malzeme özellikleri, dolgu kalınlığı ve donatısı, çekme ve basınç elemanlarının enkesit alanları ve donatıları gibi değişkenlerin, dolgulu çerçeve sistemin kırılma yükü ve kırılma olmadan önceki davranışı üzerindeki etkilerini belirleyen yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Yükleme ile yer değiştirmeler arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerde, dolgu duvarın davranışını elastik bölge, çatlama bölgesi, kırılma öncesi bölge olarak üç bölgede göstermişlerdir. Bu bölge sınırları için elde ettikleri yük-deformasyon eğrilerinin yaklaşık olarak üç doğru çizgi ile ifade edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Stafford Smith 1962, 1966 ve 1967 yıllarında yaptığı çalışmalarda basınç çubuğu yöntemi üzerinde çalışmıştır [5]. Hem deneysel hem de analitik çalışmalarında, dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışını belirlemek amacıyla çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarında dolgu duvarların çerçevelerin yatay rijitlik ve dayanımının yalnızca boyutlara ve fiziksel özelliklere bağlı olmadığını, ayrıca dolgu ve etrafındaki çerçeve ile olan temas yüzeyine de bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Temas yüzeyi uzunluğunun dolgu ve çerçevenin bağıl rijitlikleri ile değiştiğini belirterek dolgu duvar davranışını belirleyen göreli rijitlik kavramını tanımlamıştır.

Ersoy ve arkadaşları [7] 1971 yılında yaptıkları araştırmalarda, dolgu duvarlı çerçevelerin davranış ve mukavemetini incelemek amacıyla, değişik yükler altında dokuz adet betonarme dolgulu çerçeve üzerinde deney yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda, dolgulu çerçevelerin yük taşıma kapasitesi ve rijitliğine birinci derecede tesir edeceği düşünülen çerçeve açıklığının çerçeve yüksekliğine oranı, dolgu kalınlığı, dolgu ile çerçeve arasında aderansın varlığı ve çerçeveye etki eden yatay yükün düşey yüke oranı gibi değişkenler dikkate alınmıştır.

Meli ve Bazan 1980 yılında kagir duvarlı yapıların deprem hesabı için tekrarlayan yükler altında lineer olmayan davranış modellerini formül etmişlerdir [24]. Tarif edilen modeller farklı şiddetteki yükler altında analiz edilerek, sonuçları elastik davranış ile karşılaştırılmıştır. Kargir duvarların lineer ve çatlama sonrası dönemdeki davranışı modellenmiştir. Bu yaklaşımda çerçeve ve dolgu arasındaki ayrılma ve kayma sebebiyle, yatay rijitlikteki azalmayı göz önüne almak gerekmektedir. Çerçevenin ayrılma ve kaymasından sonra dolgu duvarın esas olarak bir basınç çubuğu şeklinde çalıştığı sonucuna varılmıştır.

Bertero ve Brokken 1981 yılında dinamik yükleme altında bir dizi deney yapmışlardır [23]. Tek açıklıklı dört katlı dolgulu çerçeveler seçilip, dolgudaki boşlukların etkisi ve dolgu duvar ile çerçeve arasındaki bağlantılar incelenmiştir. Deprem davranışını temsil eden tersinir yükler altında 18 numuneyi incelemişler ve 4 tip dolgu kullanmışlardır. Çalışmada sonunda, kullanılan dolgunun tipi ne olursa olsun, boş çerçeveye eklenen dolgu duvarın sistemin rijitliğini önemli ölçüde arttırdığı, yatay rijitlik ve dayanıma etki eden yükün etki biçimine bağlı olduğunu, tüm numunelerde hasarların ilk katlarda yoğunlaştığını, boş çerçeveye dolgunun eklenmesinin sistemin dinamik özelliklerini etkilediğini, maksimum yerdeğiştirmeleri %56-85 oranında azalttığı sonuçlarına varmışlardır.

Zarnic ve Tomasevic [12] yaptığı çalışmalarda ise dolgu duvarların yapılar üzerine yararlı ve zararlı etkileri olduğunu saptamışlardır. Bu nedenle de yapının inşası ve hesap aşaması için iki metot önermişlerdir. Bunlardan ilki dolgu duvarların, ikinci derece yapı elemanı olarak kabul edilmesi gerektiği ve yeterli miktarda derzler sayesinde sistemden koparılmasıdır. Böylece deprem esnasında yapının serbest deformasyonu sağlanmış olur. İkincisi ise dolgu duvarlar yapının önemli parçaları olarak inşa edilirlerse, hesap aşamasında dolgu duvarlar ve çerçeveler arasındaki değişik kuvvet dağılımı uygun bir şekilde göz önüne alınmalıdır.

2.2. Dolgu Duvarların Özellikleri

2.2.1. Dolgu Duvarların Basınç Dayanımı

Dolgu duvarlar yapay taşlardan (tuğla, beton briket gibi) meydana gelmiştir ve basınç dayanımları başta tuğla ya da beton briket ve harcın basınç ve çekme dayanımları olmak üzere, harcın yapay taşa yapışma dayanımına, duvar işçiliğine, derz kalınlığına, yapay taş birimlerinin boyutlarına, kullanılan harcın tazeliğine, yapay taşın su emme kapasitesine bağlıdır. Belirtilen faktörlerin çoğu yapı tasarımı aşamasında bilinmemektedir ve sayısal olarak da modelleme içerisine yansıtılamamaktadır.

Harç ve tuğladan oluşan malzemelerin elastik oldukları ve aralarında tam bir aderans bulunduğu varsayılmaktadır. Düşey yükler altında tuğla ve harçta oluşan deformasyonlar karşılaştırılmak istenirse, harç tuğlaya göre daha elastik bir malzeme olduğu için yatay yönde daha çok uzayacaktır. Diğer bir ifade ile tuğla ile harç arasındaki tam aderans sonucu tuğlada çekme, harçta ise basınç gerilmesi ve harçta yatay kısalma, tuğlada yatay uzama olacaktır.

2.2.2. Derz Kalınlığının Etkisi

Derzlerin ince ya da kalın oluşu ya da tuğla yüksekliğinin derz kalınlığına oranının büyük ya da küçük oluşu, daha kalın ya da ince tuğla kullanılması tuğla duvar dayanımını etkilemektedir [14]. Derzleri incelterek duvar basınç dayanımında teorik olarak önemli bir artış sağlanmamaktadır. Buna karşılık derzlerin kalınlaştırılması ile duvar basınç dayanımında teorik olarak daha büyük azalmalar olmaktadır. Tuğla derinliği ile derzlerin kalınlığı arasındaki oranın duvarın taşıma gücü üzerinde önemli etkisi olduğu yapılan çalışmalarla da kanıtlanmıştır. Derz kalınlığı değiştirilerek yapılan deneylerde derz kalınlığının azalması ile basınç dayanımının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir.

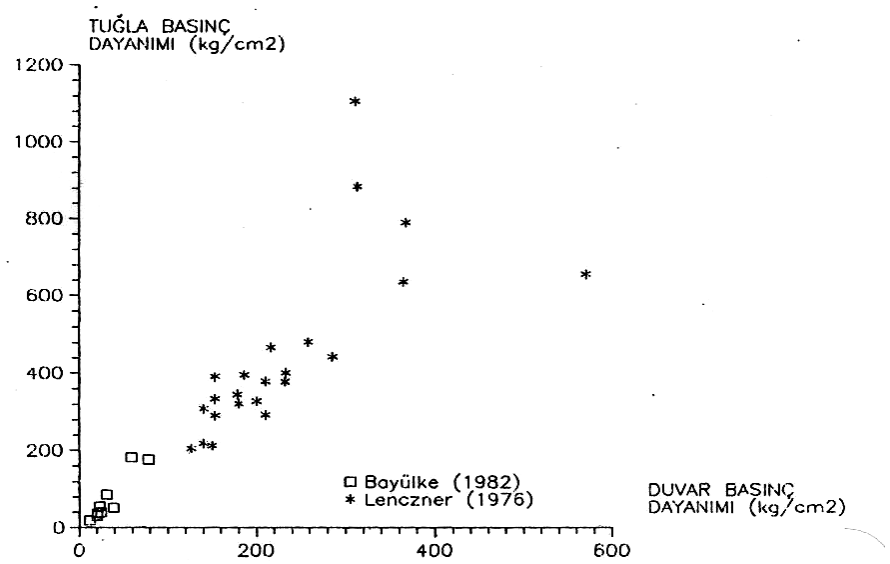
Sonuç olarak tuğla duvarlarda derz kalınlıklarının 1.0 cm civarında olması ya da derz kalınlığına göre tuğla ya da briket derinliğinin yüksek oluşu duvarın basınç dayanımını yükseltmektedir.

2.2.3. Tuğla ve Harç Dayanımının Etkisi

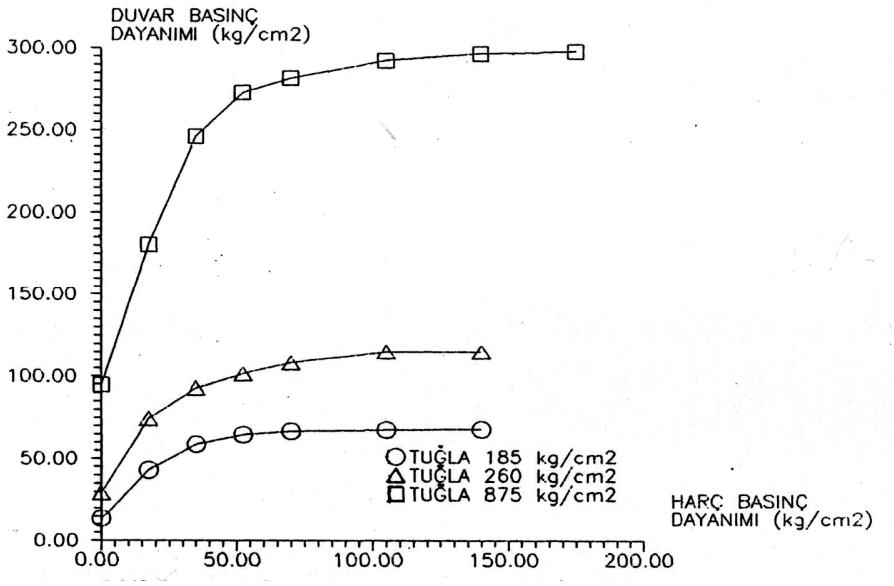
Tuğla duvarların basınç dayanımı pratik olarak kullanılan tuğla ya da başka cins malzemenin basınç dayanımının bir yüzdesi olarak alınmaktadır ve bu yüzde 0.25-0.50 arasında değişmektedir. Bu oran kullanılan tuğlanın ve bağlayıcı harcın basınç dayanımı, harç ile tuğla arasındaki aderans gibi özelliklere bağlı olarak değişmektedir.

Lenczner tuğla ile tuğla duvar basınç dayanımı arasında Şekil 2.1'de ki ilişkiyi vermektedir [24]. Bu eğri deneysel sonuçlardan çıkarılmıştır. Grafikten de anlaşılabileceği gibi duvarda yüksek dayanımlı tuğla kullanılması ile tuğla duvar dayanımında aynı oranda bir artış olmamaktadır.

Foster tarafından tuğla ve tuğla duvar basınç dayanımları arasındaki bir başka ilişki tanımlanmıştır [24]. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi harç dayanımının birkaç kat arttırılması tuğla duvar dayanımında % 25-30 kadar bir artış sağlamaktadır. Aynı tuğla ile birkaç kat daha yüksek dayanımlı harç kullanılması duvar dayanımında önemli bir artış sağlayamamaktadır. Buna karşılık aynı harç ile daha yüksek dayanımlı tuğla kullanılması duvar basınç dayanımında çok daha önemli artışlar sağlamaktadır. Sonuç olarak duvarın basınç dayanımın arttırılması için daha yüksek basınç dayanımlı tuğla kullanılması gerekmektedir.



Şekil 2.1 Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı ilişkisi



Şekil 2.2 Harç, tuğla ve duvar basınç dayanımları ilişkisi

Tuğlalarda yüksek su emme kapasitesinin bulunması da tuğla duvarın basınç dayanımını önemli ölçüde azaltır. Tuğla harcın suyunu emerek hidrasyon için yeterli su bırakmamakta ve harç gerektiği gibi sertleşmemektedir. Bu aynı zamanda harç ile tuğla arasındaki aderansı da azaltmaktadır.

2.2.4. Tuğla Dolgu Duvar Elastisite Modülü

Dolgu duvar davranışının çerçeve sistemlere olan etkisi incelenirken, dolgu duvar rijitliğini etkileyen duvar elastisite modülünün önemi büyüktür. Dolgu duvar homojen bir eleman olmadığı için yatayda, düşeyde veya çaprazdaki elastisite modülü de birbirinden farklılıklar göstermektedir.

Tuğla elemanlardan oluşmuş olan dolgu duvarın elastisite modülü,

- Tuğla yüksekliğine,
- Tuğla basınç dayanımına,
- Harç tabakası yüksekliğine,
- Harç tabakası basınç dayanımına

bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca dolgu duvar elastisite modülü dolgu duvarın sıvalı veya sıvasız durumları için de farklı değerler almaktadır. Sıva kalınlığı da dolgu

duvar elastisite modülünü değiştirmektedir. E_m basınç altındaki duvarın elastisite modülü, f_m duvarın basınç dayanımı olmak üzere

$$E_m=700\ f_m \tag{2.1}$$

eşitliği kullanılabilir. Yukarıdaki eşitlikle belirlenen elastisite modülü genellikle düşük gerilme seviyelerine karşı gelir ve artan gerilmelerle birlikte elastisite modülü azalır. Bazı durumlarda gerilme-şekil değiştirme diyagramının eğimi önce azalan sonra artan değerler almaktadır. Bu süreçte oluşan dalgalanma, duvarı oluşturan malzemelerin dayanım özelliklerine bağlıdır. Zayıf harç başlangıçta düşük elastisite modülüne sahiptir. Bu nedenle duvarın gerilme-şekildeğiştirme diyagramının orijini civarında elastisite modülünün düşük olmasına neden olur. Harç kırılınca tuğlayla bir bütün haline gelir, böylece duvar yüksek elastisite modülüne ve daha dik gerilme-şekil değiştirme diyagramına sahip olur.

2.3. Dolgu Duvarların Yapılar Üzerindeki Etkileri

Yatay yük etkisi altındaki yapı sistemlerinde, dolgu duvar çerçeve etkileşimini ihmal etmek tasarımcıyı her zaman güvenli tarafta bırakmayabilir. Dolgu duvarların çerçevelerle etkileşimi yapının yatay yükler altındaki davranışını olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Dolgu duvarlar,

- Yük taşıma kapasitesi,
- Rijitlik,
- Süneklik,
- Enerji yutma kapasitesi

gibi başlıca kavramlar bakımından yapı sistemlerinin davranışını olumlu ve/veya olumsuz yönde etkilemektedir.

2.3.1. Yük Taşıma Kapasitesi

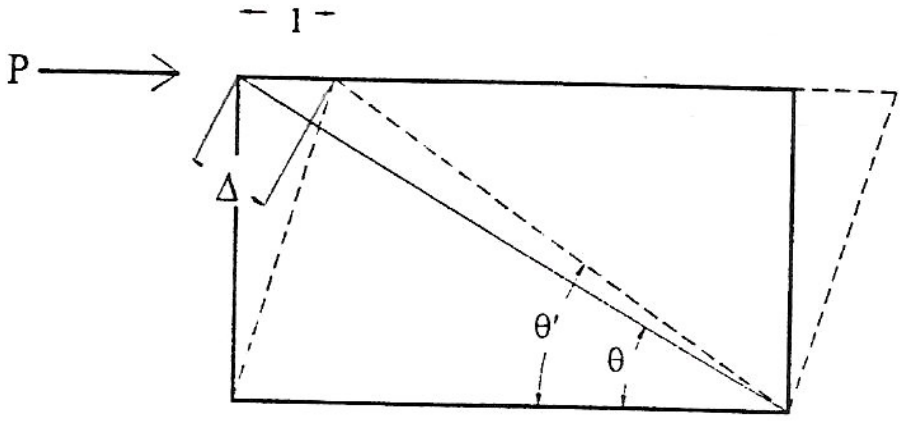
Komposit çerçevelerin rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve sünekliğinin belirlenmesi amacı ile yapılan araştırmalarda, seçilen örnek yapılara deprem yüklerini temsil etmek üzere tekrarlı ve yön değiştiren yükler etkitilmiştir ve basit çerçevelerle kıyaslaması yapılmıştır.

Govindan ve ekibi [9], deneysel çalışmalarını tek açıklıklı ve 7 katlı, birbirleri ile aynı özelliklere sahip iki betonarme çerçeve örneği üzerinde yapmışlardır. Deney numuneleri 1/4 ölçeğinde hazırlanmış ve çerçevelerden biri tuğla duvar ile doldurulmuştur. Aynı zamanda talep taban kesme kuvvetleri de formüller yardımı ile hesaplanmıştır. Test süresince yapılan ölçümler incelendiğinde, her iki çerçevenin de teorik olarak hesaplanan değerlerden daha büyük yüklere dayanabildikleri görülmüştür. Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin, basit çerçeveninkinin yaklaşık 2 katı olduğu tespit edilmiştir. Yatay yük taşıma kapasitelerinde görülen bu büyük farkın nedeninin dolgu duvarların katkısı olduğu açıktır.

Negro ve Verzeletti [10], dolgu duvarlı ve duvarsız betonarme yapıların davranışını, yaptıkları 1/1 ölçekli deneylerde incelemişlerdir. Deney numunesi olarak, planda her iki doğrultuda 2 açıklığı olan 4 katlı betonarme yapı hazırlamışlardır. Deneylerde ayrıca en alt katta (zemin katında) duvarların olmaması ile oluşturulan yumuşak katlı betonarme yapının davranışı da incelenmiştir. Deneyler sonucunda, dolgu duvarlı yapının yatay yük taşıma kapasitesinin, duvarsız betonarme yapıya oranla 1.5 kat daha fazla olduğu, yumuşak katlı betonarme yapı ile duvarsız betonarme yapının yatay yük taşıma kapasitelerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

2.3.2. Rijitlik

Dolgu duvarlı bir çerçevenin yatay rijitliği, tepe noktasının birim yerdeğiştirme yapması için gereken kuvvet olarak tanımlanabilir. Tanımı verilen böyle bir çerçevenin yatay rijitliğini hesaplamak için Şekil 2.3' deki mekanik modeli göz önüne alalım. Bu modelde dolgu duvarı diyagonal çubuk ile temsil edilmektedir.



Şekil 2.3 Rijitliğin dolgu duvar üzerine etkisinin analitik olarak modellenmesi

$\theta = \theta'$ olduğu kabul edilirse dolgu duvarın yatay rijitliğini temsil eden diyagonal çubuktaki kısalma

$$\Delta = \cos\theta \tag{2.2}$$

olacaktır. Diyagonal çubuğun birim uzama rijitliği k, E elastisite modülü, F enkesit alanı ve L_d çubuğun boyu olmak üzere aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$k = \frac{EF}{L_d} \tag{2.3}$$

Buna göre sistemin birim yerdeğiştirme yapması için diyagonal çubuğa uygulanması gereken eksenel kuvvet, (2.2) ve (2.3) eşitliklerinden,

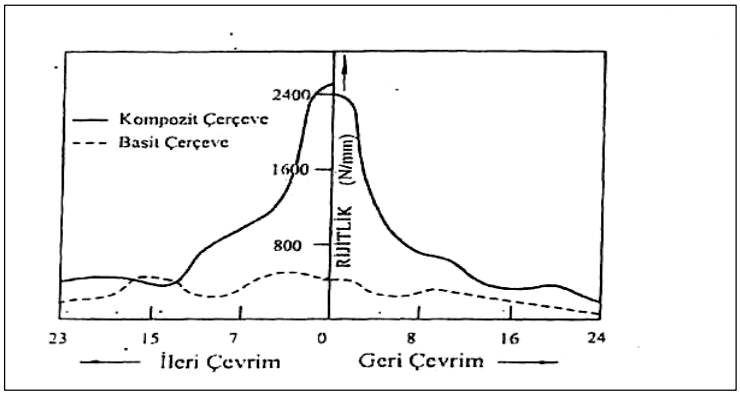
$$k.\Delta = \frac{EF}{L_d}.\cos\theta \tag{2.4}$$

şeklindedir. Bu kuvvet değerinin yatay bileşeni, dolgu duvarın, çerçevenin yatay rijitliğine katkısını verir:

$$K_l = \frac{E.F}{L_d}.\cos^2\theta \qquad (2.5)$$

Santhakumar tekrarlı yükler altında, çıplak çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveden oluşan 7 katlı iki ayrı sistem üzerinde deneysel çalışma yapmıştır [9]. Yüklemede çevrim sayısıyla beraber, yatay rijitlikte belirgin bir azalma görülmektedir. Yatay rijitlik ilk çevrimde 2500 N/mm iken son çevrimde 220 N/mm değerine düşmüştür. Çıplak çerçeveden oluşan sistemin servis yükü 36 kN'dur. Bu yük altında dolgu duvarlı çerçevenin rijitliği, çıplak çerçeveninkinin 2,67 katı kadardır. Dolgu duvarlı çerçevenin servis yükü ise 73 kN'dur. Bu yükte dolgu duvarlı çerçevenin rijitliği, çıplak çerçevenin servis yükünde sahip olduğu rijitlik kadardır. Bu yüzden dolgu duvarlı çerçeveler servis yüklerinden daha büyük yükler altında rijitliklerinde bir azalma olmaksızın kullanılabilirler.

Govindan ve ekibi üzerinde çalıştıkları duvarsız betonarme ve duvarlı betonarme çerçevelerin, tekrarlı yükler altında rijitliklerinin değişimi Şekil 2.4'de gösterilmiştir [9]. Şekil 2.4'den de anlaşıldığı gibi yüklemenin başlangıç safhalarında (ilk çatlamanın oluşumundan önce) duvarlı betonarme çerçeve duvarsız betonarme çerçeveden 5 kat daha rijittir.

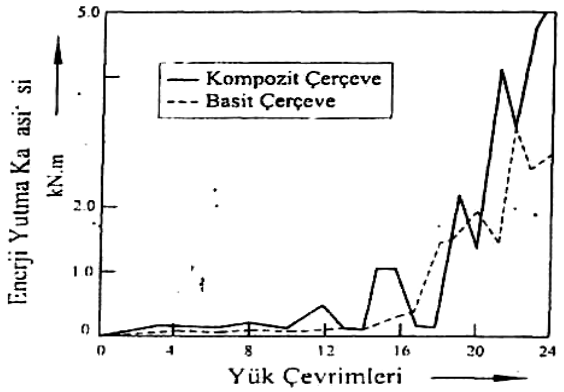


Şekil 2.4 Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde rijitliğin değişimi

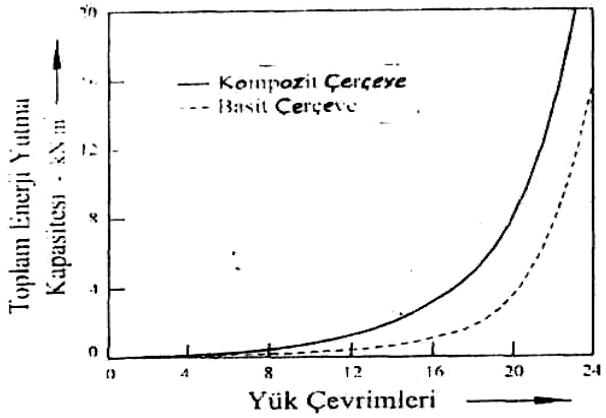
2.3.3. Enerji Yutma Özelliği

Enerji yutma özelliği(sönümü), sisteme uygulanan yükleme sırasında yük-yerdeğiştirme diyagramında eğrilerin altında kalan olarak tanımlanabilir. Dolgu duvarlı çerçevenin dayanımı, çıplak çerçevenin dayanımından daha büyük olduğundan sönüm kapasitesi daha yüksektir.

Santhakumar'ın yaptığı çalışma sonucunda yük çevrimleri sırasında bulunan enerji yutma özellikleri(sönmeleri) Şekil 2.5'de gösterilmiştir [9]. Toplam enerji sönümleri ise Şekil 2.6'da karşılaştırılmıştır. Dolgu Duvarlı çerçevenin toplam sönüm kapasitesi çıplak çerçevenin 1.5 katı kadardır.



Şekil 2.5 Çevrimler sırasında söndürülen enerji miktarı



Şekil 2.6 Söndürülen toplam enerji miktarı

2.4. Dolgu Duvarların Yapıya Olumlu Etkileri

Zarnic ve Tomasevic sadece boş çerçeveden ve dolgu duvarlı çerçeveden oluşan bir çok sistem üzerinde yaptıkları deneylerde, dolgu duvarlı çerçevelerin yatay dayanımının ve rijitliğinin çıplak çerçeveye göre daha fazla olduğunu gözlemlemişleridir [13]. Çıplak çerçevenin kesme taşıma gücü 151 kN ve ortalama rijitliği 12 kN/mm iken, dolgu duvarlı çerçevede bu büyüklükler 349 kN ve 354 kN/mm değerine ulaşmaktadır. Ayrıca birçok durumda dolgu duvarlı çerçevenin

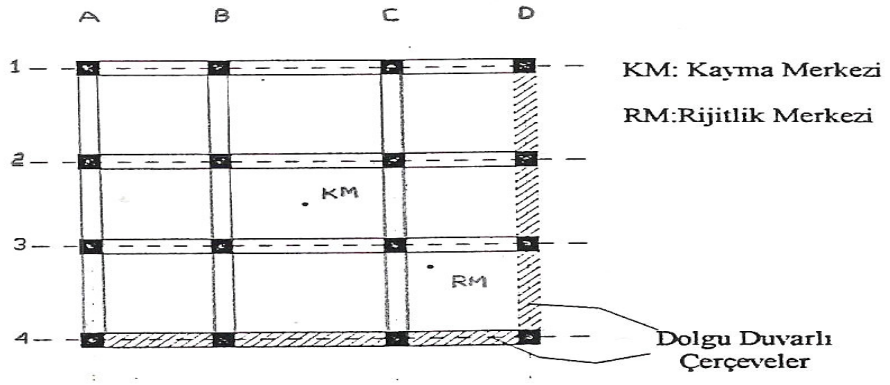
kesme dayanımına erişildiğinde okunan yerdeğiştirmelerin, çıplak çerçevenin yerdeğiştirmesinin 1/4'ü kadar olduğu görülmüştür.

Genel olarak dolgu duvarların yapının yatay rijitliğini arttırarak, yatay yerdeğiştirmeleri küçülttüğü ve yapıda oluşabilecek ikinci mertebe etkileri azalttığı söylenebilir. Dolgu duvarlar yapı sisteminin rijitliğini arttırdığı için, sistemin periyodu azalmakta ve dolayısı ile deprem sırasındaki yapının dinamik davranışını değiştirmektedir. Ayrıca dolgu duvarları harç derzlerinde oluşan sürtünme gerilmeleri yardımıyla yapının enerji yutma (sönüm) kapasitesini de arttırırlar. Bu sayede hasarın ilk önce taşıyıcı olmayan dolgu duvarlarında meydana gelmesini sağlayarak, taşıyıcı çerçeveyi bir bakıma korurlar.

2.5. Dolgu Duvarların Yapıya Olumsuz Etkileri

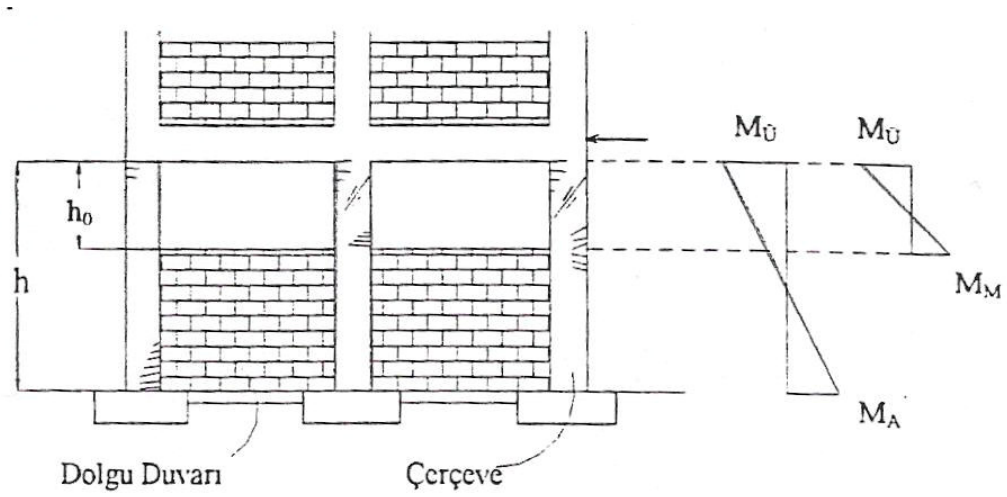
Yapılarda mekanları, hacimleri bölmek için inşa edilen dolgu duvarların sadece yatay yük taşıma kapasitesinde artışa sebep olduğu, dolayısıyla dinamik etkiler altındaki davranışı olumlu yönde etkilediği yaygın bir düşüncedir. Hesaba katılmadıkları durumlarda, görece daha zayıf olmalarına karşın, dolgu duvarları bulundukları çerçeveyi rijitleştirerek çerçevenin beklenenden farklı bir yük taşımasına neden olurlar.

İlk örnek olarak, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi çok katlı simetrik çerçeveli bir betonarme yapıda kenardaki iki çerçeve boyunca dolgu duvarı olan bir sistem ele alırsak, dolgu duvarları ihmal edildiği takdirde çerçevelerin simetrikliğinden dolayı, her aksın birbirine çok yakın deprem yüklerine maruz kalacağı söylenebilir. Ama gerçekte dolgu duvarları 4 ve D çerçevelerinin diğer çerçevelere göre daha rijit olmasına neden olurlar. Sonuç olarak 4 ve D çerçevelerine gelen yükler artarak yapının periyodu azalır. Ama yapının rijitlik merkezinin değişmesinden dolayı, kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki uzaklık artacak, eksantrisite nedeniyle yapıda, hesaplarda öngörülmeyen burulma etkileri oluşacaktır.



Şekil 2.7 İki çerçevesinde dolgu duvarları bulunan çok katlı betonarme yapının kat planı

İkinci bir örnek olarak Şekil 2.8'deki gibi pencere boşluğu bırakmak için kolonun belirli bir yüksekliğine kadar inşa edilen dolgu duvarları gösterilebilir. Bu sistemde dolgu duvarları çerçeveyi rijitleştirerek çerçevenin daha fazla yük almasına neden olur. Eğer dolgu duvarların çerçeveye olan etkisi hesaba katılmaz ise, plastik mafsalların kolonun alt veya üst ucunda genellikle kirişin kolona saplandığı bölgede oluşması beklenir. Dolgu duvarları kirişte oluşacak mafsallaşmayı önleyecek, orta ve sağdaki kolonu rijitleştirerek mafsalların kolon üst ucunda veya dolgu duvarın üstüne yakın bir yerde oluşmasına sebep olacaktır ve bu da kolon kesme kuvvetlerinde önemli bir artış meydana getirecektir.



Şekil 2.8 Boşluklu dolgu duvarlı çerçeve

Hesap kesme kuvveti V_d , h temiz kat yüksekliği, $M_Ü$ kolon üst uç momenti, M_A kolon alt uç momenti olmak üzere,

$$V_D = \frac{M_A + M_Ü}{h} \tag{2.6}$$

ifadesi ile hesaplanır. Şekil 2.8'deki gibi dolgu duvarları olan bir çerçevede oluşacak olan kesme kuvveti yukarıda verilen formül ile hesaplanan değerden büyüktür. Bu durumda asıl kolon kesme kuvveti, h_0 pencere yüksekliği olmak üzere aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanır:

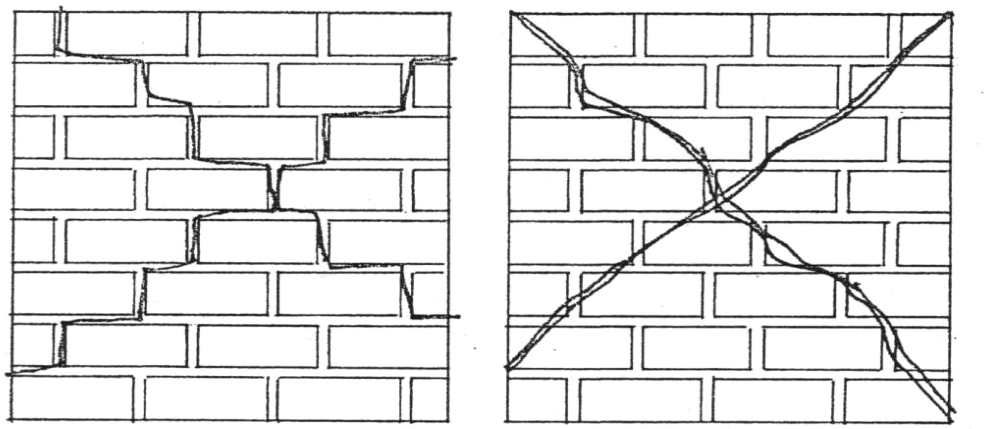
$$V_D^{'} = \frac{M_Ü + M_A}{h_0} \tag{2.7}$$

Bu ifade plastik mafsalların kolon üst ucunda ve dolgu duvarın üst ucunda oluşmasına karşı gelir. Eğer kolon yüksek kesme kuvveti değerine göre tasarlanmışsa kesme taşıma gücünün sona ermesiyle kolonda göçme olabilir. Fakat hesapta göz önünde tutulan yüksek süneklik sayesinde kolon bu kesme kuvveti değerine dayanabilir.

2.6. Dolgu Duvarların Deprem Kuvveti Altında Davranışı ve Göçme Biçimleri

Betonarme çerçeveli dolgu duvarlı yapı tiplerinin deprem esnasındaki davranışları incelendiğinde bazı temel davranış biçimleri belirlenebilir.

Betonarme yapılarda deprem hasarı sıva çatlaklarıyla başlar. İlk sıva çatlakları sıva kalınlığının az olduğu bölgelere rastlar. Daha sonra, kiriş-duvar ve kolon-duvar birleşim derzlerinde yine sıva çatlakları görülür. Binalarda hasar, bu tür sıva çatlakları düzeyinde ise, genellikle yapının betonarme taşıyıcı elemanlarında (kolon ve kirişlerde) hasar bulunmamaktadır. İki eksenli gerilme altındaki duvar elemanının kırılması harç ve tuğla dayanımına ve düşey yükler ile yatay yükler arasındaki orana bağlı olarak, eğer harç tuğladan daha zayıf ise derzlerde yatay kesme ya da diyagonal çekme biçiminde olmaktadır. Eğer tuğlanın basınç dayanımı harçtan az ise kırılma yine diyagonal çekme biçiminde ancak çatlakların tuğlaların içinden geçmesi şeklinde olmaktadır. Şekil 2.9 bu iki durumu göstermektedir.



Şekil 2.9 Yatay derzlere paralel etkiyen yükler altında yığma duvarlarda kırılma biçimleri

Daha şiddetli depremlerde, dolgu duvarın tuğla ya da daha zayıf mukavemetli boşluklu briket olmasına da bağlı olarak, dolgu duvar hasarı başlamaktadır. Duvar düzlemine karşıdan bakıldığında, daha çok derzleri izleyen kırıklı X biçiminde derin çatlaklar görülür. Dolgu duvar hasarının daha ileri aşamasında ise, duvarlar taşıyıcı elamanlardan ayrılır ve tuğla ya da briket parçaları kopup düşmeye başlar. Genellikle dolgu duvarların iyice parçalanıp iri parçalar halinde dökülmeye başlaması ile, özellikle kolon-kiriş birleşimlerine yakın bölgelerde kirişlerde ve kolonlarda mafsallaşmalar görülür. Çok yüksek duvarlarda, dolgu duvar ayrıca betonarme hatıl ile çerçeveye bağlanmamış ise duvar düzlemine dik atalet kuvvetleri ile yana yıkılmalar da meydana gelebilir [25].

Dolgu duvarların çeşitli göçme biçimleri vardır:

a)Yükseklik / genişlik oranının büyük değerler aldığı dolgu duvarlı çerçevelerde meydana gelen eğilme-çekme kırılması: Çerçevedeki dolgu duvarda göçme, eğilme ve buna bağlı olarak çekme kolonundaki çeliğin akması sonucu meydana gelebilir. Bu şartlarda çerçeve konsol gibi çalışır ve sünek bir göçme beklenebilir.

b) Dolgu duvarın yüklü olan en az bir köşesinin kırılması şeklinde ortaya çıkan köşe kırılması: Genellikle, güçlü elemanlı ancak zayıf birleşimli çerçevelerle çevrelenmiş zayıf elemanlarla oluşturulmuş dolgu duvarlı sistemlerde meydana gelmektedir.

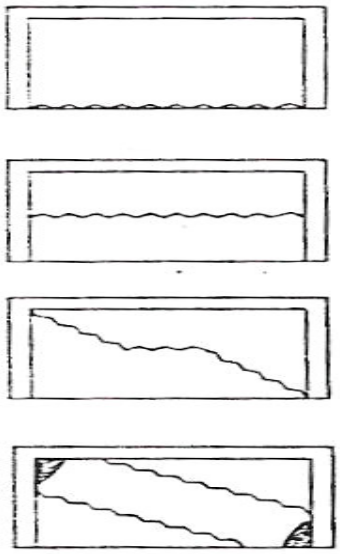
c) Dolgu duvarın kendi içinde yatay şekilde kaymasıyla oluşan kayma kırılması: Dolgu duvarda kullanılan harç tabakasının kayma gerilmelerine karşı dayanımını kaybetmesi sonucunda kayma kırılması meydana gelmektedir. Bu şekilde kırılma kuvvetli çerçeve, zayıf harç tabakası kullanılan dolgu duvarlı sistemlerde ortaya çıkmaktadır.

d) Dolgu duvarın yüklü iki köşesi doğrultusunda çatlamaların başlamasıyla oluşan çapraz çatlama: Genellikle zayıf çerçeve ya da zayıf düğüm noktalarına sahip olan çerçevelerin daha rijit dolgu duvarlarla doldurulması sonucunda oluşmaktadır.

e) Duvarın basınç bölgesindeki çaprazda dolgu duvarın orta bölgesinin kırılması şeklinde ortaya çıkan çapraz kırılma: Bu tip göçme, rölatif olarak daha narin olan duvarın düzlem dışı burkulmasıyla meydana gelmektedir.

f)Dolgu duvarda önemli bir hasar olmadan çerçevede plastik mafsalların oluşması durumunda karşılaşılan çerçeve göçmesi: Rijit dolgu duvarla doldurulmuş zayıf çerçeve sistemlerde bu tip göçme meydana gelebilmektedir.

Dolgu duvarların göçme şekilleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Dolgu duvarlarının göçme biçimleri

Birçok durumda göçme, yukarıda tanımı verilen olasılıkların birbirini izlemesi ile olur. Örneğin kolonların kesme ve eğilme kırılmaları, duvarın kayma dayanımının

veya basınç bölgesinde oluşan sanal diyagonal basınç çubuğunun dayanımının sona ermesinden sonra meydana gelmektedir. Dolgu duvarlı bir çerçevenin dayanımını bulmak için, yukarıda sayılan göçme biçimlerinin kombinasyonları ele alınarak, hesaplanan en küçük değer kullanılmalıdır.

2.7. Dolgu Duvar Modelleri:

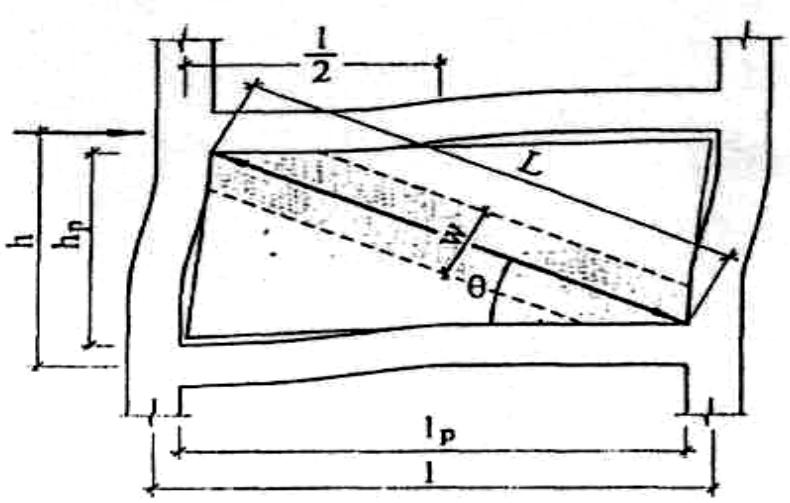
Dolgu duvarları modellenirken çerçeve sistemine etkisinin doğru şekilde yansıtılabilmesi için iki temel kabul yapılmaktadır;

- Dolgu duvarı oluşturan tuğla elemanlar arasında boşluklar olmamalı, bu elemanlar birbirlerine harç vasıtasıyla kenetlenmelidir.
- Yük aktarımının tam yapılabilmesi için çerçeve sistem ve dolgu duvar bağlantısı iyi yapılmalıdır.

Modellemede iki temel yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi dolgu duvarların sonlu eleman kullanılarak hesaba etkitildiği mikro modelleme, diğeri ise dolgu duvarın bir bütün yapı elemanı olarak hesaba yansıtıldığı makro modellemedir. Bu çalışmada dolgu duvarların modellenmesinde, dolgu duvar özelliklerinin eşdeğer sanal çubukla idealleştirilen bir makro modelleme kullanılmıştır.

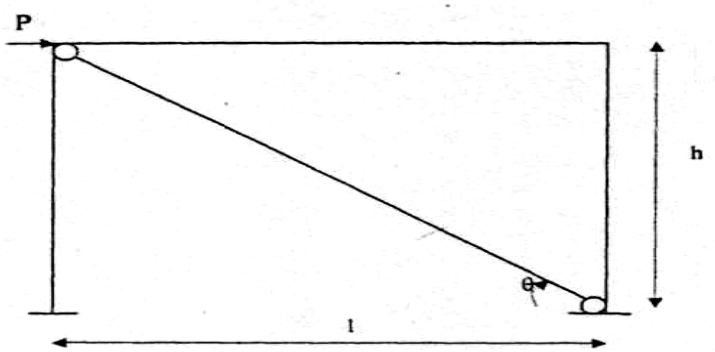
2.7.1. Eşdeğer Sanal Çubuk Modeli

Çerçeve sistem ve dolgu duvar etkileşiminde sisteme etkiyen yatay kuvvetin küçük değerleri için, betonarme çerçeve ve dolgu duvar bir perde duvar gibi birlikte hareket edeceklerdir. Sistemde yatay yerdeğiştirmeler arttıkça**,** çerçeve eğilme modunda hareket etmek isterken dolgu duvar buna engel olmaktadır. Çerçeve elemanları eğilmeye çalışırken dolgu duvarları kaymaya çalışacaktır; bir başka deyişle çerçeve elemanları eğilme şekil değiştirmeleri yaparken, dolgu duvarları kayma şekil değiştirmeleri yapacaktır. Artan yükler altında çerçeve ve dolgu duvar birleşiminde açılmalar meydana gelmektedir. Bu açılmalar ilk başta çekme çaprazındaki karşılıklı iki köşe civarında başlamakta ve yük seviyesi arttıkça genişlemektedir. Dolgu duvarda basınç kuvvetlerinin etkin olduğu çapraz basınç bölgesinin oluştuğu gözlenmektedir. Bu bölge Şekil 2.11'de taralı alan ile gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Dolgu duvarın çözümleme modelinde temsil edilmesi.

Basınç etkisindeki bu bölge, dış yükler etkisindeki çerçeve sistemlerin çözümlemesinde bir eşdeğer sanal çubuk ile temsil edilmiştir. Bu çalışmada dolgu duvarların çerçeve sistemlerin davranışına etkisi iki ucu mafsallı çapraz eşdeğer sanal çubukla temsil edilmiştir, Şekil 2.12.



Şekil 2.12 Dolgu duvarlı çerçevenin iki ucu mafsallı çapraz eşdeğer sanal çubukla temsil edilmesi.

Smith ve Mainstone yaptıkları çalışmalarda, bu diyagonal pandül çubuğun efektif genişliğinin öncelikle çerçeve ve dolgu duvarlarının rölatif rijitliklerine göre değiştiğini göstermişlerdir [14]. Aynı kalınlıktaki dolgu duvar için pandül çubuğun efektif genişliği, kolon rijitliği ve dolgu duvarının yükseklik/genişlik oranı ile doğru,

dolgu duvarının elastisite modülü ve yük seviyesi ile ters orantılıdır. Mainstone önce 'λh' ifadesini vererek, bu ifadeye göre diyagonal pandül çubuğun efektif genişiliği w'yi tanımlamış, bu efektif genişliğe bağlı olarak dolgu duvarlar için bir düzlem içi rijitlik tarif etmiştir:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_i \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot E_c \cdot I_c \cdot h_i}} \tag{2.8}$$

$$w = 0.175 \cdot (\lambda h)^{-0.4} \cdot \sqrt{h^2 + l^2} \tag{2.9}$$

$$K = \frac{E_i \cdot w \cdot t \cdot \cos^2 \theta}{\sqrt{h^2 + l^2}} \tag{2.10}$$

Bu bağıntılarda,

E_i: dolgu duvarın elastisite modülü,

t : dolgu duvar kalınlığı,

θ: eşdeğer sanal çubuğun yatayla yaptığı açı,

E_c : kolonun elastisite modülü,

I_c : kolon atalet momenti,

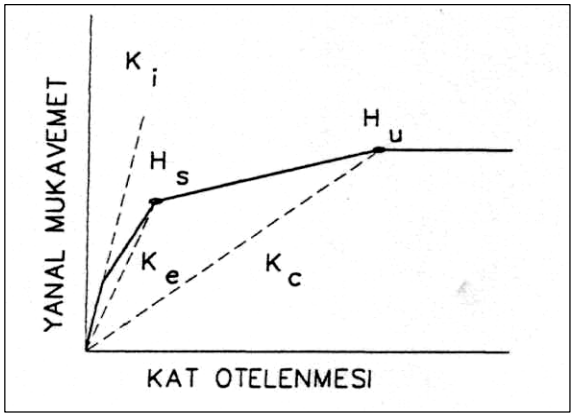
h : kolonun yüksekliği,

l: kirişin uzunluğu

şeklindedir. Dolgu duvarın yatay rijitliği K, G_i dolgu duvarının kayma modülü olmak üzere aşağıdaki ifade ile kabaca hesaplanabilir:

$$K = \frac{G_i \cdot l_i \cdot t}{h_i} \tag{2.11}$$

Yatay yükün artmasıyla birlikte dolgu duvarlarının rijitliklerinde azalma olacaktır. Zarnic yaptığı deneysel ve kuramsal çalışmalarda, yüklemenin kritik anlarındaki başlangıç, çatlama ve göçme rijitliklerini ideal bir zarf ile tarif etmiştir ve bu değişim Şekil 2.13'de verilmiştir [11].



Şekil 2.13 Dolgu duvarlı çerçevede rijitliğin değişimi

İdealleştirilmiş grafikteki parametreler;

H_S ; dolgu duvarın çatlama anındaki kesme mukavemetini,

H_U ;dolgu duvarlı çerçevenin kayma dayanımını,

K_I ; dolgu duvarlı çerçevenin başlangıç rijitliğini,

K_e ; dolgu duvarlı çerçevenin efektif rijitliğini,

K_C ; dolgu duvarlı çerçevenin, kayma dayanımına ulaştığı zamanki rijitliğini

ifade etmektedir. Dolgu duvarların başlangıç rijitliği, sadece elastik yerdeğiştirmelerin olduğu çok küçük bir bölge için geçerlidir. Dolgu duvarı ile çerçevenin kesiştiği yerlerdeki ilk çatlaklar ve ayrılmalardan sonra rijitlikte azalma görülür. Bu sebeple dolgu duvarlı çerçevenin elastik bölge dışındaki davranışının da incelenmesi gerekir. Zarnic dolgu duvarlı çerçevenin doğrusal olmayan davranışını incelerken elastik yerdeğiştirmelerin olduğu bölgeyi ihmal ederek, yeni bir efektif rijitlik K_e tanımlamıştır. Dolgu duvarlı çerçevenin bu efektif yatay rijitliği, perde duvarın yatay rijitliği gibi modellenmiştir. Bu değer, küçük çatlakların duvar boyunca yayıldığı andaki kayma modülü G_p 'nin bir fonksiyonudur. Dolgu duvarlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda kayma modülü aşağıdaki gibi tarif edilmiştir.

$$G_p = \frac{12}{\frac{F_i}{h_i \cdot K_{ei}} - \frac{1}{E_i}\left(\frac{h_i}{l_i}\right)^2} \tag{2.12}$$

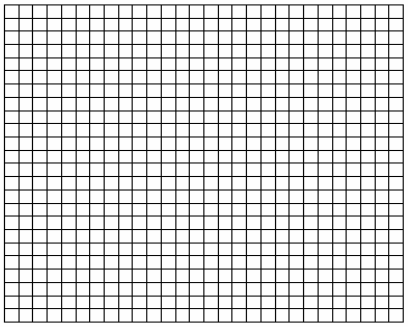
Bu eşitlikte K_{ei} değeri dolgu duvarlı çerçevenin kayma dayanımının %30 una ulaşıldığı andaki dolgu duvar rijitliğine karşı gelmektedir.

Son olarak, dolgu duvarlarında büyük çatlaklar ve kayma yerdeğiştirmeleri bulunan sistemin yatay rijitliği tanımlanmıştır. Bu durumda sistemin yatay rijitliği, çatlakları olmayan dolgu duvarın yerine, bir ucu dolgu duvarının bir kenarının yüksekliğinin 2/3'ünden bağlı, diğer ucu dolgu duvarının kolonun alt ucu ile kesiştiği yerden bağlı diyagonal pandül çubuk ve çerçeveden oluşan sistemin yatay rijitliği gibi hesaplanır.

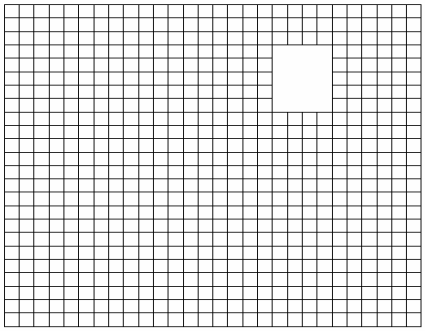
2.8. Boşlukların Etkisinin Hesaba Katılması

Bir yapıda, dolgu duvarlarındaki boşluklar, mimari ve işlevsel istekler nedeniyle çeşitli tiplerde ve değişen boyutlarda bulunabilmektedir. Bu boşluklu dolgu duvarlarının yapının yatay rijitliğine katkısını belirlemek için, boşluksuz dolgu duvar esas alınarak, uygulamada çok rastlanan 5 adet boşluklu duvar tipinin boşluksuz duvara oranla sağlayabildiği yatay rijitlik oranları verilecektir.

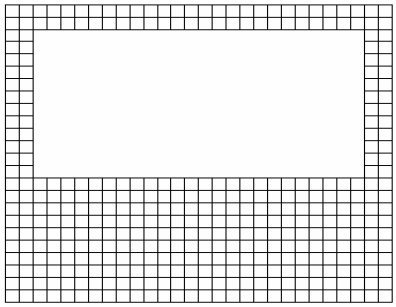
Bu hesaplamada 13,0 cm kalınlığındaki dolgu duvarları esas alınmış, çözümlemede duvarların dipten ankastre olarak mesnetlendiği bir mekanik model kurulmuş ve üst uçtaki düğüm noktalarına toplam 1 kN olan yatay yükler yayılı olarak etkitilmesiyle sonuçlar elde edilmiştir. Dolgu duvarlarının alt ucundaki düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri tutulmuş, diğer düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri ise serbest bırakılmıştır. Yükleme sonucunda boşluklu dolgu duvarlarının üst sağ ve sol uçlarının yaptıkları yerdeğiştirmeler, dolu dolgu duvarının yerdeğiştirmelerine bölünerek boşluk bulunduran dolgu duvarının yatay rijitliğinin, dolu dolgu duvarının yatay rijitliğine oranı olarak tanımlanan β sayıları bulunmuştur. Daha sonra β sayıları dolgu duvarlarının mekanik modele yansıtılması sırasında kullanılmak üzere düzenlenmiştir. Dolgu duvarlarındaki boşlukların yatay rijitlikte neden olduğu azalma, yapılarda en çok rastlanan 5 boşluk tipleri aşağıda Şekil 2.14'de verilmiştir.



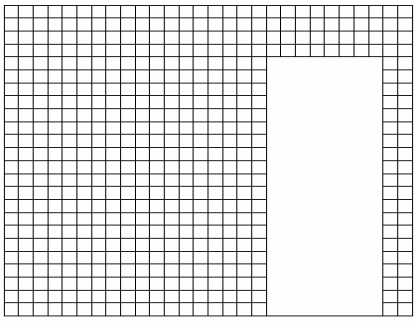
Dolu Dolgu Duvar-**D1**



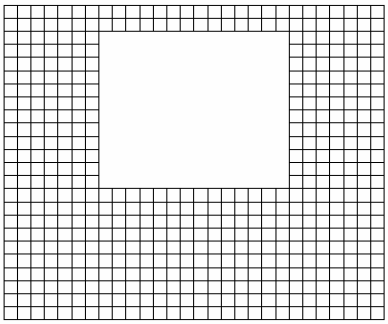
Küçük Pencere Boşluklu Duvar-**D2**



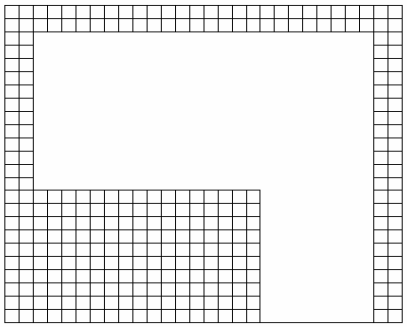
Büyük Pencere Boşluklu Duvar-**D3**



Kapı Boşluklu Duvar-**D4**



Pencere Boşluklu Duvar-**D5**



Kapı+Pencere Boşluklu Duvar-**D6**

Şekil 2.14 Dolgu duvarların uygulamada karşılaşılan tipleri

Buna göre, boşlukların dolgu duvarlarının yatay rijitlikte neden olduğu azalma Tablo 2.1'de verilen β sayıları ile hesaba katılacaktır.

Tablo 2.1 Dolgu Duvarlarının Modele Yansıtılmasında Kullanılacak β Sayıları

Duvar Tipi	**D1**	**D2**	**D3**	**D4**	**D5**	**D6**
β	1	0,9	0	0,5	0,2	0

3. YAPI SİSTEMLERİNİN DİNAMİK ANALİZİ

Dinamik analizi, zamana bağlı değişen yükler altında taşıyıcı sistemde oluşan gerilmelerin ve yerdeğiştirmelerin, değişen sistem karakteristiklerini de gözönüne alarak incelenmesi olarak tanımlayabiliriz. Dinamik çözüm ile statik çözüm arasındaki en önemli farklar, dinamik çözümün, statik çözüm gibi tek bir çözümden ibaret olmayıp, zamana bağlı bir çözüm ailesinden meydana gelmesi ve dinamik yerdeğiştirme sırasında eylemsizlik kuvvetlerinin oluşmasıdır. Bir sisteme etkiyen yük, dinamik özelliğe sahipse, zamana bağlı olarak meydana gelecek yerdeğiştirmeler, ivmeleri ve eylemsizlik kuvvetlerini ortaya çıkarırlar. Böyle bir durumda yapı iki tür yükün etkisi altında düşünülebilir. Bunlardan ilki harekete sebep olan dış yük, ikincisi ise hareketin ivmelenmesine karşı koyan eylemsizlik kuvvetleridir. Yapının kesitlerinde ise bu iki etkiye karşı koyacak kesit tesirleri ve hareketi sönümleyici kuvvetler meydana gelir. Bu nedenlerden ötürü iç kuvvetlerin ve sönüm kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için daha önce eylemsizlik kuvvetlerinin belirlenmiş olması gerekir. Ancak eylemsizlik kuvvetleri ise yerdeğiştirmelere, dolayısıyla da iç kuvvetlere bağlıdır. İç kuvvetlerin hesap edilebilmesi için öncelikle atalet kuvvetlerinin belirlenmesi gerekir. Bu birbirine bağımlılık şeklinde ortaya çıkan durumu çözebilmek için matematiksel bir modelin oluşturulması gerekir. Bu sebeple, sistemin hareketini tanımlamak için yazılan ve zamanla değişen dış yük ile buna karşı koyan sistem karşı koyma kuvvetleri arasındaki kuvvetler dengesini ifade eden bir diferansiyel denklem kurulmuştur. Bu diferansiyel denklem uygun sınır ve başlangıç koşulları altında çözümlenebilir [19]:

$$\{f_I\}+\{f_D\}+\{f_S\}=\{P(t)\} \tag{3.1}$$

(3.1) ifadesinde $\{f_I\}=[M]\{\ddot{u}\}$ eylemsizlik kuvvetleri, $\{f_D\}=[C]\{\dot{u}\}$ sönüm kuvvetleri, $\{f_S\}=[K]\{u\}$ iç kuvvetleri göstermek üzere hareket denklemi

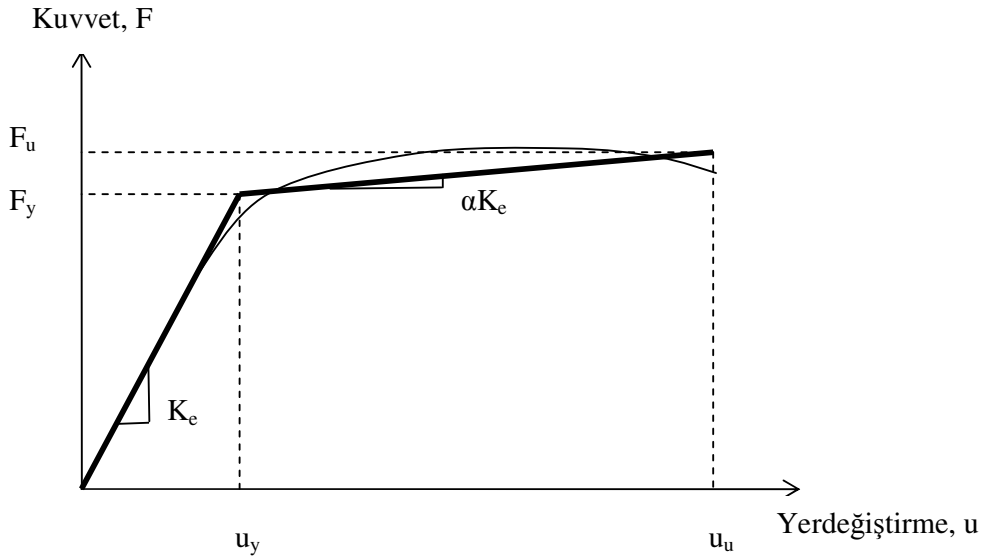
$$[M]\{\ddot{u}\}+[C]\{\dot{u}\}+[K]\{u\}=\{P(t)\} \quad (3.2)$$

ile yazılabilir. Burada [M] kütle matrisi, [C] rijitik matrisi, [K] sönüm matrisi, $\{P(t)\}$ ise dış yük vektörüdür.

Dinamik analizi doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin dinamik analizi olmak üzere iki kısma ayırabiliriz. Doğrusal sistemlerde iç kuvvet-şekil değiştirme arasındaki ilişkinin doğrusal olarak değiştiği ve malzeme davranışının da doğrusal olduğu kabul edilir. Sisteme etkiyen dış yüklere karşı oluşan iç kuvvetlerle (f_S), sistemde meydana gelen yerdeğiştirmeler (u) arasında, $\{f_S\}=[k].\{u\}$ ilişkisi vardır. Yük boşalması ve ters yükleme durumlarında da sistem doğrusal davranışını korur. Bu çalışmada doğrusal olmayan sistemlerin dinamik analizi üzerinde durulduğundan bu konuda daha geniş bilgi verilecektir.

3.1. Doğrusal Olmayan Sistemlerin Dinamik Analizi

Tasarım aşamasında yapılan hesaplamalarda sistemi oluşturan elemanların davranışları, özellikle hesap kolaylığı bakımından genel olarak doğrusal ve elastik olarak kabul edilir. Yapının dış yükler etkisinde yer ve şekil değiştirmeleri arttıkça, başlangıçta kabulü yapılan bu doğrusal davranış geçerliliğini yitirir. Deprem kuvvetleri gibi tekrarlı yüklemeler altında elemanlar, elastik sınırlarını aşarak kalıcı plastik deformasyonlar yapmaya başlar. Böyle durumlarda kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi doğrusallığını kaybederek Şekil 3.1'deki duruma gelir. Doğrusal kısmın ötesindeki gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin hesaba katılmasıyla analiz doğrusal olmayan inelastik analiz haline dönüşür. Yüklemelerin ilk aşamalarında malzemenin elastik davranmasından dolayı doğrusal olmayan analiz her zaman doğrusal analizi de içine alır.



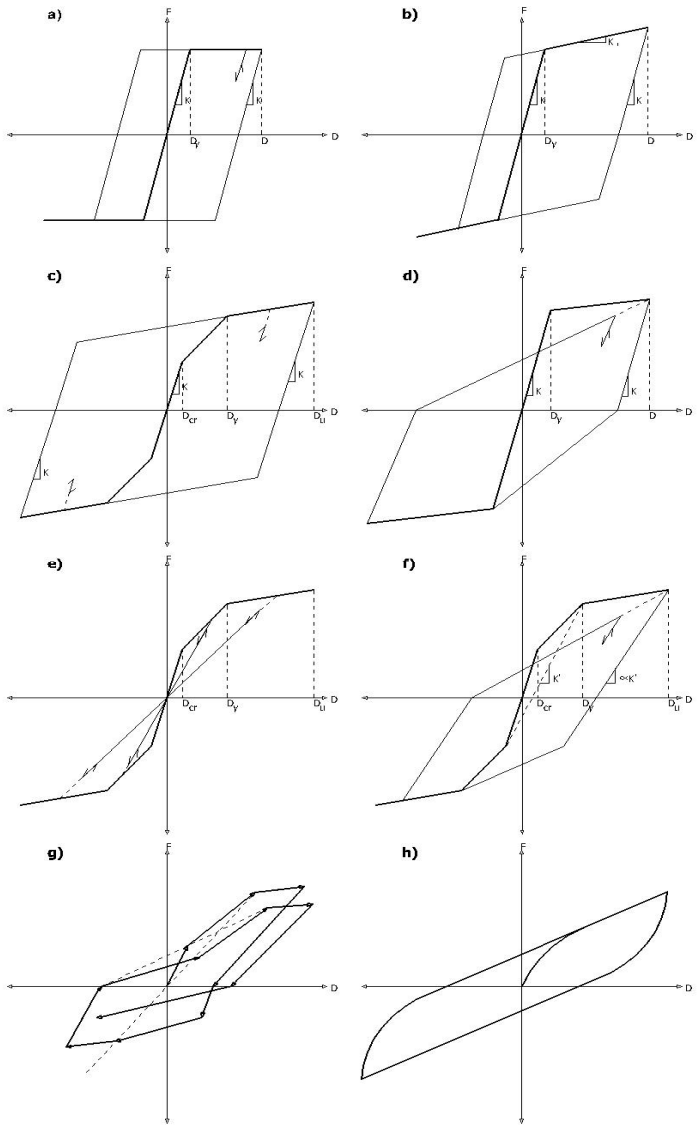
Şekil 3.1 Doğrusal olmayan kuvvet-şekil değiştirme eğrisi

Yapısal bir elemanın, tekrarlı yüklemeler altındaki kuvvet-yerdeğiştirme bağıntısındaki elastik olmayan malzeme davranışı dikkate alındığında, histeresik ve çevrimsel bir sistem davranışı ile karşılaşılır. Bu davranış biçimi esas alınarak, bir dizi yapısal kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, etkiyen yükün de tersinir karakteristiklerini kapsayacak şekilde modellenmiştir. Genelleştirilmiş biçimiyle "Histeretik Model" olarak adlandırılan bu ilişkiler, sistemi oluşturan elemanların yükleme, boşalma ve yeniden yükleme altında, karşı gelen yerdeğiştirme zarflarını matematik olarak ifade etmektedir. Doğrusal olmayan analizde kullanılmak üzere araştırmacılar tarafından hazırlanan çeşitli histeresis modelleri vardır. En temel modeller, elastoplastik model, çift doğrulu (bilinear), üç doğrulu (trilinear), rijitliği azalan (stiffness degradating-Clough hysteresis), başlangıca yönelik (Origin-Oriented), Takeda, Roufaiel-Meyer vb. çok parçalı doğrular ile oluşturulan ana iskelet eğrileri kullanılarak temsil edilen histeretik modeller ile, ampirik matematiksel fonksiyonlar yardımıyla oluşturulan Bouc-Wen türündeki yumuşak (smooth) histeretik modellerdir. Modellere ait kuvvet-deformasyon değişimleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Bu çalışmada çift doğrulu ve üç doğrulu modellemeler kullanıldığında sadece bu iki model hakkında bilgi verilecektir.

Çift doğrulu modelde gerilme pekleşmesi özelliği hesaba katılır. Akmadan sonra kesitte oluşacak rijitlik akmadan önceki kısmın rijitliği cinsinden ifade edilir. Bu

model elastoplastik modelden daha gerçekçidir, fakat akmadan sonraki yük boşalımı ve ters yükleme durumlarında gerçekleşecek rijitlik azalımı davranışını içermez.

Üç doğrulu modelde çift doğrulu modelden farklı olarak kesitteki çatlama da dikkate alınır. Bu yüzden değişim çatlama öncesi, çatlama sonrası ve akma sonrasını ifade eden üç doğru şeklindedir. Bu modelde gerçekleşen yük boşalması çatlamamış kesitin rijitliğine eşit şekilde oluşur.



Şekil 3.2 a) Elastoplastik, b) Çift doğrulu, c) Üç doğrulu, d) Clough, e) Başlangıca yönelik, f) Takeda, g) Roufaiel-Meyer, h) Bouc-Wen histeretik modelleri

Doğrusal olmayan dinamik analizde çözümün yapılacağı hareket denkleminin kurulabilmesi için her zaman adımında elemanın rijitliğinin belirlenmesi gerekir. Bunun için, uygulanan dış yükün zamanla değişmesinden dolayı oluşan iç kuvvet değişimlerinin eleman davranışına yapacağı etki hesaplanır. Bu durum şöyle de ifade edilebilir: Bir t zamanında elemanda oluşan M(t) momenti, yüklemenin yönüne göre M_y^+ (pozitif) ve M_y^- (negatif) akma momentleriyle kıyaslanır. Δt zaman artımında oluşacak moment değişimi ΔM ile gösterilirse, eleman için:

$M_y^- < \mathrm{M(t)} < M_y^+$

durumunda eleman davranışı doğrusal,

$\mathrm{M(t)} \geq M_y^+$ ve $\Delta \mathrm{M} > 0$

$\mathrm{M(t)} \leq M_y^-$ ve $\Delta \mathrm{M} < 0$

durumunda eleman davranışı doğrusal değil,

$\mathrm{M(t)} \geq M_y^+$ ve $\Delta \mathrm{M} < 0$

$\mathrm{M(t)} \leq M_y^-$ ve $\Delta \mathrm{M} > 0$

durumunda ise yüklemede boşalma başlamıştır denilebilir [22]. Elemanın t anında etkiyen dış yüklere karşı göstereceği davranış bu şekilde belirlendikten sonra elemanın rijitlik ve buna bağlı olarak sönüm matrisleri yeniden oluşturulur ve hareket denklemi kurulur. Hareket denklemi kurulduktan sonra çözüme geçilir.

Doğrusal olmayan sistemler dinamik yükler altında sabit bir davranış göstermediğinden uygulanan her yüke karşın sistemin karşılığının ayrı ayrı hesaplanması gerekir.

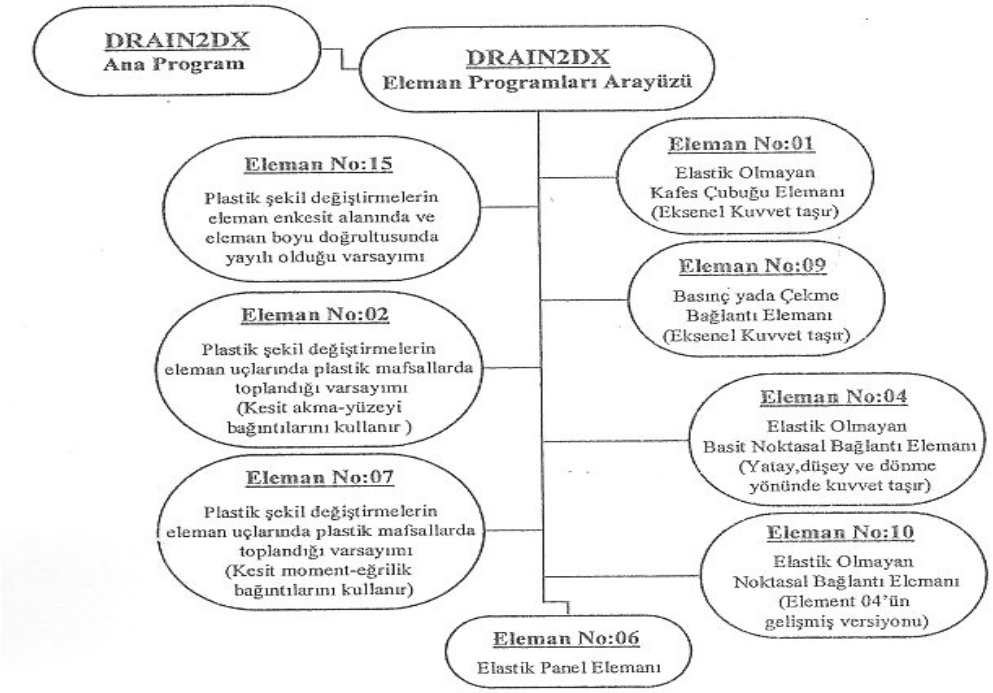
3.2. Doğrusal Olmayan Sistemlerin Çözümlenmesinde Drain-2DX Programı

Drain-2DX bilgisayar yazılımı California Üniversitesi, Berkeley tarafından geliştirilen Fortran tabanlı ve doğrusal olmayan dinamik çözümleme yapabilme kapasiteli bir analiz programıdır [16]. Program, düğüm noktalarında birbirine bağlı doğrusal olmayan elemanlardan oluşan ve iki boyutlu düzlem olarak modellenen yapı üzerinde düşey yük çözümlemesinin yanı sıra doğrusal olmayan statik ve dinamik analizi de gerçekleştirebilmektedir. Program, alt programlar ile sürekli

olarak desteklenmektedir, dolayısıyla da sürekli olarak güncellenip yeni modeller tanıtılabilmektedir.

Drain-2DX programı, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi, verileri yöneten ve analizleri kontrol eden bir ana program ile eleman bazındaki detayları kontrol eden ve her bir eleman için ayrı kapsamalarda yazılmış olan alt eleman programlarından meydana gelmektedir. Ana program ile eleman programları arasındaki bilgi alışverişi, her eleman tipi için aynı olan bir arayüz aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Ana program, bu ara yüzden iletilen bilgiler dışında elemanlar hakkında hiçbir bilgiye sahip değildir. Bu sayede yeni eleman programları yazılarak Drain-2DX programı amaca göre geliştirilebilmektedir.

Programa bilgi girişi, basit metin editörleri ile kullanım kılavuzunda belirtilen düzende, sistem bilgilerini içeren verilerin bir dosyaya yazılması ve bu dosyanın Drain.Inp. adıyla saklanması ile yapılmaktadır. Daha sonra DRAIN2DX'in "EXE" uzantılı programı çalıştırılarak, Drain.Inp dosyasının okutulması sağlanmakta, sistem verilerinin program tarafından okunması ile analizler gerçekleştirilmektedir. Analiz sona erdiğinde sonuçları içeren çeşitli metin dosyaları üretilmekte ve bu dosyalar metin editörleri kullanılarak okunabilmektedir. İstenilirse bu dosyalar Msexcel türü programlara aktarılarak grafik haline getirilebilmektedir.



Şekil 3.3 Drain-2DX program şeması

3.3. Drain-2DX Programında Yapı Sistemlerinin Analizi

Bir yapı sisteminin çözümü, program analiz oturumlarından oluşur. Herhangi bir analiz oturumunda, istenilen sayıda analiz kısımları tanımlanabilir. Bu analiz kısımları, statik yük artımları ya da belirli bir zaman dahilinde uygulanan dinamik yüklemeler olabilir. Analiz kısımları uygulanma sırasına göre ardışık olarak numaralandırılır ve başlangıç durumu sıfır değerini alır. Statik ve dinamik yüklemeler ardı ardına uygulanabilir, fakat lineer statik analiz kısmının başlangıcında sistem başlangıç durumu kullanılmalıdır.

Drain-2DX programında, malzeme akma ya da elastik olmayan yük boşaltımı gibi nedenlerden dolayı sistem rijitliğinde önemli değişimlerin meydana gelmesi "olay" adı altında tanımlanmıştır. Statik analizler, "olay-olay stratejisi" adını alan ve rijitlik değişimlerini esas alan bir yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Ancak istenildiğinde, analiz süresinden tasarruf etmek amacı ile rijitlik değişimi çok küçük olan çok rijit sistemlerin analizinde bir anahtar kod ile bu özellik kaldırılabilmektedir. Olay-olay stratejisinde her bir rijitlik değişiminde sistem rijitlik matrisi yeniden oluşturulmaktadır.

Olay-olay stratejisinde, malzemelerin belirli bir tolerans kadar daha büyük değerde akmalarını sağlayan "akma toleransı değeri" büyük önem kazanmaktadır. Eğer çok küçük akma toleransı tanımlanmış ise en kritik elemandaki en kritik dilimin akması sağlanmış olur. Bu da her bir elemandaki her bir dilimin farklı zamanlarda akmasına ve rijitlik matrisinin tekrar tekrar yenilenmesine neden olmaktadır. Bu şekilde daha detaylı ve doğru hesap yapılmış olunurken analiz süresi uzamaktadır. Büyük akma toleransları tanımlanması halinde ise birçok elemandaki birçok dilimin daha büyük ve yakın değerlere akması sağlanarak rijitlik matrisinin yenilenme sayısı azaltılmakta ve analiz süresi kısaltılmaktadır. Ancak işlemin doğruluk payı azalmaktadır.

3.4. Analiz Adımları ve Kabuller

Doğrusal olmayan analizde rijitlik azaltımlı çözüm stratejisi kullanılır. Drain programı doğrusal olmayan bir analiz problemini çözmek için her zaman adımında ayrı bir çözüm yapar. Her adım sonunda çeşitli yüklemelerden dolayı ortaya çıkan kuvvetlerin sistem davranışını değiştirip değiştirmediği kontrol edilir ve gerekirse her

adım için rijitlik yeniden hesaplanır. Bu sayede istenilen doğrusal olmayan davranış analizi sistemde çözülmüş olur.

Statik bir analizde yük bir dizi adımda uygulanır. Her adım içinde program bir sonraki rijitlik değişiminin ortaya çıktığı anda bitecek bir yük alt adım aralığı seçer. Sonra yapının rijitliği düzeltilir ve diğer alt adımda bir analiz daha gerçekleştirilir. Analiz tüm yükler uygulandığında ya da istenilen yerdeğiştirmeye ulaşıldığında sona erer.

Dinamik analizde zaman adımı sabit ya da değişken olarak tanımlanabilir. Eğer zaman adımı değişken olarak tanımlanırsa, adım genişliğini kontrol etmek için üst ve alt hata toleransları tanımlanmalıdır. Program her zaman adımında bir hata ölçümü hesaplar. Bu ölçüm herhangi bir adımda üst sınırı aşarsa, zaman adımı düşürülür ve adım tekrarlanır. Eğer ölçüm bazı adımlarda alt tolerans sınırından küçük çıkarsa, zaman adımı bir sonraki adımda arttırılır ve zaman adımı azaltma ve arttırma faktörleri tanımlanabilir. Bu değerler genellikle 0.5 ile 2.0 arasında değişmektedir. Dinamik analiz için zaman adımı içinde rijitlik azaltım hesaplamaları(her zaman adımı alt adımlara bölünebilir) ve her zaman adımı sonunda enerji dengesini ve/veya eşitliğini geliştirmek için doğruluk hesapları yapmak diğer alternatifler içerisinde yer almaktadır.

Drain-2DX programı kapsamındaki diğer analiz tipleri aşağıda verilmiştir.

- Yerçekimi(Gravity):Birleştirilen eleman yükleri ve düğüm noktaları için statik analiz. Programın şu an için kullanılan versiyonunda yapı ancak lineer olarak tanımlanabilmektedir.
- Statik(Static):Sadece düğüm noktalarının yükleri için lineer olmayan statik analiz.
- Statik Denge Haline Getir(Restore to Static State):Dinamik analiz sonucunda yapı genellikle hala hareketlidir ve bu yüzden statik dengede değildir. Bu analiz yapıyı statik denge durumunda yeniden düzenlemeyi sağlar.
- Mod Biçimleri ve Periyotları(Mode Shapes and Periods):Başlangıç durumunda ya da daha sonraki bir durumda mod şekillerini ve periyotlarını hesaplar.

- Tepki Spektrumu(Response Spectrum):Sistemin başlangıç durumundaki mod şekillerini ve periyotlarını kullanarak tanımlanan X ve/veya Y tepki spektrumu için lineer analiz.
- Yeni Yer İvme Kaydı(New Ground Acceleration):X,Y ve R yönü yer ivme kayıtlarına göre lineer olmayan dinamik analiz.
- Yer İvme Kaydına Devam(Resume Ground Acceleration):Bir önceki yer ivmesi analizine ek bir süre için devam etmek. Eğer istenilirse mod şekilleri ve periyotları iki analiz arasında hesaplanabilir.
- Yeni Yer Deplasman Kaydı(New Ground Displacement):Farklı mesnetlerde farklı hareketler içeren X,Y ve/veya R yönünde tanımlanan yerdeğiştirme kayıtlarına göre lineer olmayan dinamik analiz.
- Yer Deplasman Kaydına Devam(Resume Ground Displacement):Bir önceki yer deplasman analizinde ek bir süre için devam etmek.
- Yeni Dinamik Kuvvet Kaydı(New Dynamic Force):Düğüm noktalarında tanımlanan X,Y ve/veya R şeklindeki kuvvet kayıtlarına göre lineer olmayan dinamik analiz.
- Dinamik Kuvvet Kaydına Devam(Resume Dynamic Force):Bir önceki dinamik kuvvet analizine ek bir süre için devam etmek. Eğer istenirse mod şekilleri ve periyotları iki analiz arasında hesaplanabilir.
- Yeni Başlangıç Hızı(New Initial Velocity):Tanımlanan başlangıç düğüm noktası hızlarına göre lineer olmayan dinamik analiz. Bu analiz etkisini ya da enerji yutma kapasitesini hesaplamak için kullanılabilir.
- Başlangıç Hızı Analizine Devam(Resume Initial Velocity):Bir önceki başlangıç hızı analizine ek bir süre için devam etmek. Eğer istenirse mod şekilleri ve periyotları iki analiz arasında hesaplanabilir.

Yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışını temsil eden model, gerilme pekleşmesi oranı, doğrusal kısımdaki ve yük boşalım durumundaki rijitlik değerleri gibi ilgili parametrelerin yapısal modelin hazırlanması kısmında belirtilmesiyle ortaya konulur.

P-Δ etkileri istendiği taktirde hesaba katılabilir. Bu işlem, her eleman için rijitlik matrisine geometrik rijitlik matrisini ekleyerek sistem karşılıklarının hesaplanmasıyla yapılır. Doğrusal olmayan statik analizde her rijitlik azalımı durumunda, geometrik rijitlik matrisi değişir. Dinamik analiz için bu durum isteğe bağlı olarak değişebilir ya da alternatif olarak sabit kalabilir.

Enerji dengesi hesapları statik ve dinamik analizlerin her ikisi için de gerçekleştirilebilir. Düğüm noktaları üzerindeki dış işi, elemanlar üzerindeki statik elastik-plastik işi, kinetik enerji ile viskoz sönüm işini hesaplar. Eğer belirli bir şekilde enerji dengesizliği varsa analiz sonuçları büyük olasılıkla geçersizdir.

Dengelenmemiş yüklerden(denge hatası)kaynaklanan hatalar programda dikkate alınır. En güvenilir ve en kolay kullanıldığı için statik analizde rijitlik azaltımlı çözüm stratejisi kullanılır. Eğer tüm elemanlar çok doğrulu lineer hareket-şekil değiştirme bağıntılarına sahip ise, küçük sapma toleransları tanımlanmışsa ve eleman geometrik rijitliği hızlı değişmiyorsa çözüm denge durumuna yakın kalacak ve küçük dengelenmemiş yük durumları oluşacaktır. Bununla birlikte eğer bazı elemanlar eğrisel davranışa sahipse, büyük sapma toleransına izin verilmişse veya eleman eksenel kuvvetleri dolayısıyla geometrik rijitlikleri hızlı değişmekteyse önemli dengesizlikler oluşabilir. Program her yük adımının sonunda dengesizliği hesaplar ve bunları bir sonraki adımda uygular, fakat dengesiz duruma yinelemez. Eğer sonuçlar bir analizin sonunda belirgin bir dengelenmemiş yük gösteriyorsa ya analiz daha geniş bir yük adımında tekrar edilir ya da sıfır yüke sahip yalancı bir statik analiz(dengesizlikleri tekrarlamak amacıyla)eklenir.

3.5. Drain-2DX ile Yapısal Modelin Hazırlanması

Programa giriş verisi hazırlanırken, öncelikle yapı sistemi tanımlanır. Düğüm noktaları ve koordinatları girildikten sonra elemanların uçları bu düğüm noktaları ile tanımlanacağı için elemanlar ile ilgili herhangi bir uzunluk tanımlaması yapılmaz. Her düğüm noktası X ve Y global eksenlerinde öteleme ve Z ekseni etrafında dönme şeklinde üç adet serbestliğe sahiptir. Eğer bir düğüm noktası mesnetli ya da diğer bir düğüm noktasına bağlı ise program bilgi girişi sırasında bunlar ilgili kısımlara girilir. Yapının kütleleri düğüm noktalarında yığılı olarak düşünülür ve kat kütleleri o katta bulunan düğüm noktası sayısına bölünür ve kütle matrisi de buna göre düzenlenir.

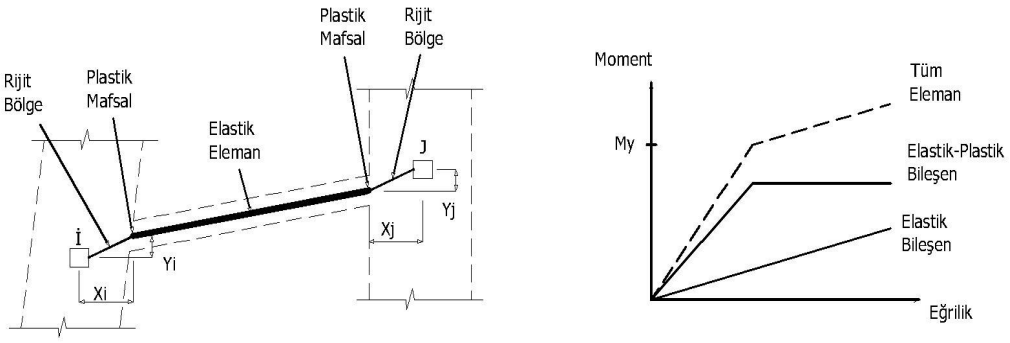
Yapıyı meydana getiren elemanların özellikleri her eleman tipine uygun olarak belirlenir, seçilen elemana ait rijitlik ve akma kesiti değerleri, P-Δ etkisinin göz önüne alınıp alınmaması gibi tercihler yapılır. Daha sonra eleman tipine göre akma kesiti, rijitlik, rijit uç bölüm, elastisite modülü, eylemsizlik momenti, sönüme etki edecek rijitlik faktörü (β), gerilme pekleşme oranı, akma şekil değiştirmesi, akma momentleri, enkesit alanları, plastik mafsal yerleri ve rijit uç kısım değerleri girilir. Her elemana ait özellikler tanımlandıktan sonra uç düğüm noktaları, elemanlara ait özelliklerin tanımlandığı grup numaraları tarif edilir. Bu çalışmada yapıdaki kiriş ve kolonlar için iki numaralı eleman, çerçeveleri birbirine bağlayan ve çerçeveler arasındaki yük aktarımını sağlayan elemanlar ve duvarların modellenmesi için dokuz nolu eleman kullanılmıştır.

Yapı modellendikten sonra sonuçlar kısmında düğüm noktalarına ait yerdeğiştirme zarfları, iç kuvvet zarfları, düğüm noktalarına ait yerdeğiştirme, elemanlara ait iç kuvvetler, dönme değerleri ve uç yerdeğiştirmesi-zaman serileri gibi değerler elde edilebilir. Yapıya ait özelliklerin ve ilgilenilen yapısal karşılıkların belirtilmesinden sonra yapılması düşünülen statik veya dinamik analiz işlemine ait parametreler ve yükleme bilgileri tanımlanır.

3.6.1. 2 Nolu Eleman:

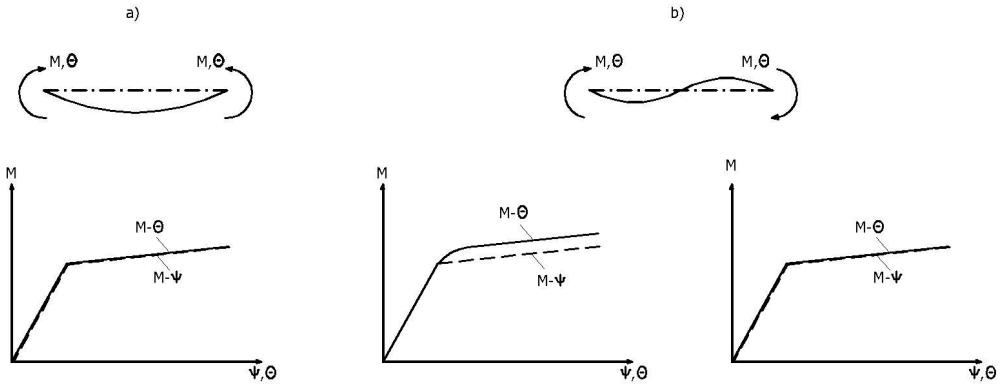
İki numaralı eleman elastik bir kirş, bu kirişin uçlarında gelişen iki rijit-plastik mafsal ve isteğe bağlı olarak tanımlanabilen rijit uç kısımlardan meydana gelir.(Şekil 3.4)

Akma sadece plastik mafsallarda oluşur ve mafsal akma momentleri elemanın her iki ucunda pozitif ve negatif eğilme durumları için ayrı ayrı tanımlanabilir. Normal kuvvet ve eğilme momenti etileşimi sonucu akma yüzeyleri tanımlanarak hesaba katılabilir. Ama plastik mafsalların sadece eğilme durumunda oluştuğu, elastik olmayan şekil değiştirme durumunda oluşmadıkları varsayılmaktadır.



Şekil 3.4 2 nolu elemana ait eleman geometrisi ve moment-eğrilik bağıntısı

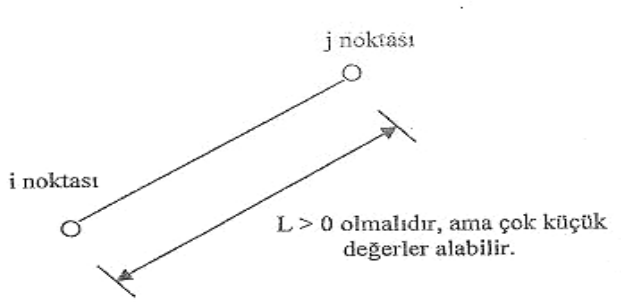
Gerilme pekleşmesinin eğilme durumundaki etkisi, elemanın Şekil 3.4'de gösterildiği gibi birbirine paralel elastik ve elastik olmayan bileşenlerden oluştuğu kabulüne göre modellenmesiyle ifade edilir. Sabit moment altında oluşan plastik mafsallar elastik olmayan bileşende yer alır. Elastik bileşendeki momentlerin artmaya devam etmesi gerilme pekleşmesini ifade eder. Bunu açıklamak için eğilme momentinin sabit ve değişken olduğu durumlarda oluşacak moment-eğrilik ve moment-dönme bağıntıları Şekil 3.5'de verilmiştir. Eğer kiriş üzerindeki eğilme momenti sabitse, bu durumda eğrilik ve dönme değerleri birbiriyle orantılı olarak değişeceği için moment-dönme bağıntısı moment-eğrilik bağıntısı ile Şekil 3.5(a) da gösterildiği gibi aynı olacaktır. Eğer eğilme momenti Şekil 3.5(b) de gösterildiği gibi değişkense, bu durumda eğrilik ve dönme arasındaki oransal değişim ortadan kalkacağı için moment-eğrilik ve moment-dönme bağıntıları mevcut kiriş için aynı olmayacaktır.



Şekil 3.5 Eğilme momentinin a) sabit, b) değişken olduğu durumlara ait moment-dönme ve moment-eğilik bağıntıları

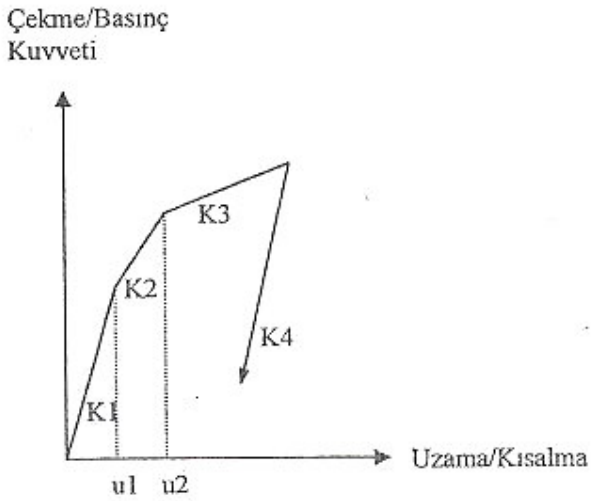
3.6.2. 9 Nolu Eleman:

Modeli Şekil 3.6'da görülen basınç/çekme bağlantı elemanı sadece eksenel kuvvet taşıyan bir elemandır. Sadece basınç ya da sadece çekme durumlarında çalışacak şekilde tanımlanabilmektedir. Eğer basınç çubuğu olarak tanımlanırsa çekme durumunda yük almamaktadır. Bu özelliği ile dolgu duvarların modellenmesinde kullanılabilmektedir. Çubuk boyu sıfırdan büyük olmalıdır, fakat çok küçük değerler alabilmektedir. Eleman üzerinde elastik ve elastik olmayan yük boşalım şekli tanımlanabilir.



Şekil3.6 Eksenel kuvvet taşıyan bağlantı elemanı

Eleman davranışı Şekil 3.7'de görüldüğü gibi K1,K2,K3 ve K4 eğimleri ile birlikte u1 ve u2 uzama/kısalma sınır değerlerinin tanımlanması ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.7 Drain-2DX Eleman No:9 ile kuvvet-deformasyon ilişkisinin modellenmesi

4.ÖRNEK BETONARME YAPININ İNCELENMESİ

4.1. B08 Örnek Binasının Tanıtımı

İnceleme konusu olan bina, Yalova'da 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde orta derecede hasar görmüş ve daha sonrada güçlendirilmiş 6 çerçeveden oluşan bir yapıdır. Yapılan güçlendirilme projelerinden ve hazırlanan raporlardan yararlanılarak hesaplar yapılmıştır.

Bina zemin ve 5 normal kattan oluşmaktadır. Binanın taşıyıcı sistemi simetrik olup, taşıyıcı sistem kolon, kiris ve normal döşemeden oluşmaktadır. Taşıyıcı sistemi oluşturan çerçeveler süreklilik göstermektedir. Döşeme kalınlıkları 12 cm'dir. Kiriş boyutları tüm katlarda 25/60 olarak verilmiştir. Kolon boyutları tüm katlarda aynı olup 30/60, 30/65 ve 20/140'lık elemanlar kullanılmıştır. Kat yükseklikleri döşeme üstünden döşeme üstüne, zemin kat hariç 2,8 m yükseklikte olup zemin kat yüksekliği 4.2 m'dir. Statik ve betonarme hesaplarda güçlendirme öncesi yapıda, yapı malzemesi kalitesi olarak C8 betonu ve beton çeliği sınıfı olarak S220 kullanılmıştır. Güçlendirme öncesi yapıya ait zemin kat kalıp planı Şekil 4.1'de verilmiştir.

Taşıyıcı sistemde yapı davranışını olumsuz yönde etkileyebilecek, hesap öncesi görülebilecek türden planda ve düşey düzlemde düzensizlik durumları bulunmaktadır. Güçlendirme çalışmaları için hazırlanan rapordan, binanın 17 Ağustos 1999 depremi ve sonrasında yerinde incelendiği ve 1975 deprem yönetmeliğine göre projelendirilen binada yapısal ve yapısal olmayan kılcal çatlakların mevcut bulunduğu anlaşılmıştır. Ayrıca korozyona maruz kalmış kolon ve kirişler mevcuttur. Binanın beton kalitesi, deprem bölgelerinde kullanılabilecek olanın altındadır.

İnceleme konusu olan binada, duvarlar iki ucu mafsallı çubuk eleman olarak temsil edilmiştir. Binanın dış akslarında büyük pencere boşlukları, kapı gibi boşluklar olduğundan dolayı bu akslarda bulunan duvarların rijitlikleri Bölüm 2.8'de bahsedilen β katsayıları ile çarpılmıştır.

Duvarlar düşey boşluklu tuğla olarak kabul edilmiştir. Yapılan analizlerde kullanılan eşdeğer sanal çubuklarda, kalınlıklar t=130 mm (boşluklu tuğla kalınlığı), genişlik

w=0,25d ve uzunluk köşegen uzunluğu(d) olarak kabul edilmiştir. Duvarların elastisite modülü;

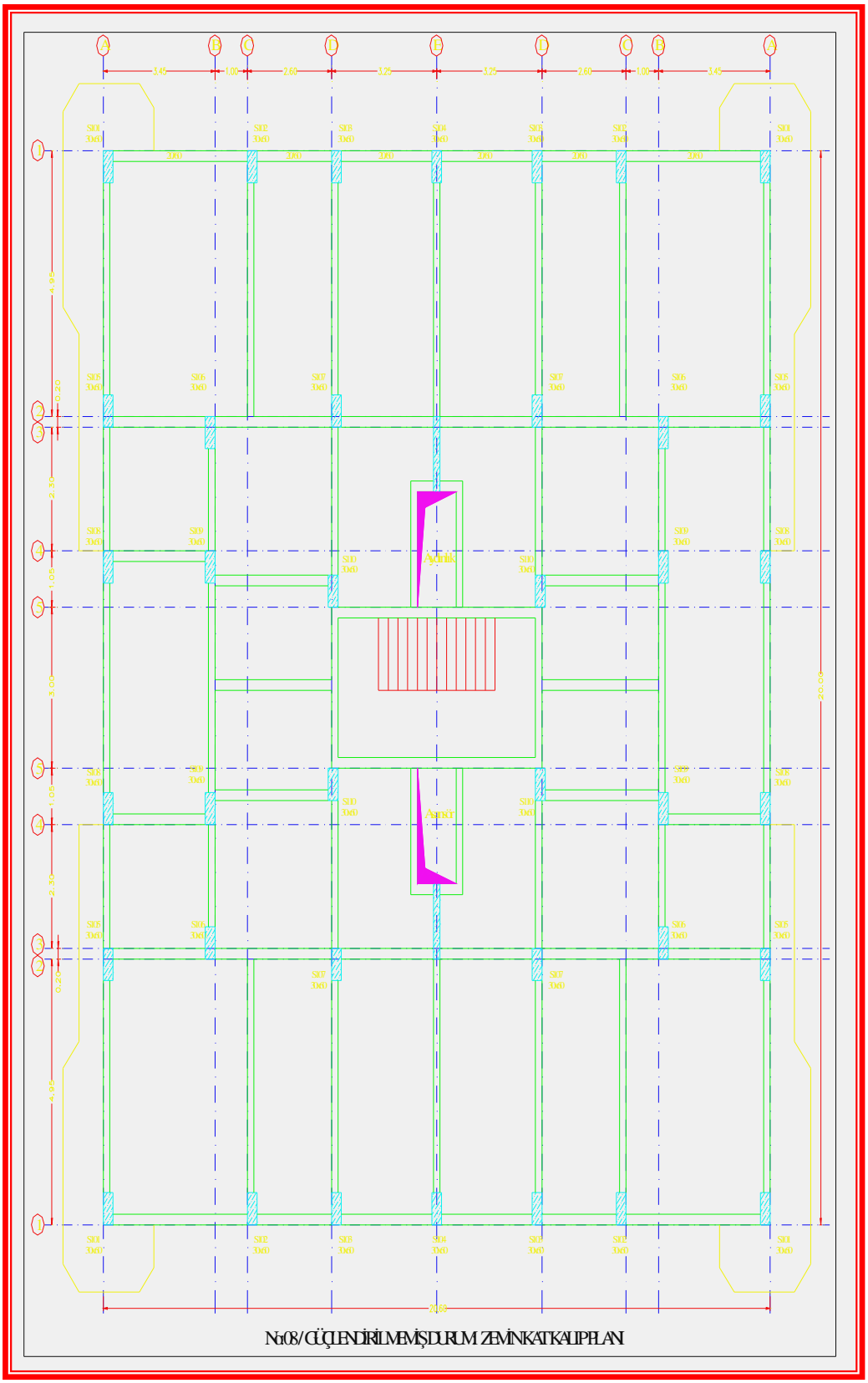
$$E = 3250 \cdot (f_{ck})^{0,5} + 14000 \qquad (4.1)$$

bağıntısına göre hesaplanmıştır.

Bina ile ilgili olarak güçlendirme öncesi ve sonrası genel bilgileri Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1 Binanın Genel Bilgileri

No	**Açıklamalar**		**Bilgileri**					
1	Adresi		Yalova-Belediye Blokları / C					
2	Kat Adedi		Zemin + 5 Normal Kat					
3	Bina Toplam Alani (m^2)		412					
4	Zemin Durumu		Z3					
5	Beton Kalitesi (Mpa)	Mevcut Beton	C8					
		Yeni Beton	C30					
6	Elastisite Modulü (Mpa)	Mevcut Beton	23192					
		Yeni Beton	32000					
		Duvar	3000					
7	Duvar Basınç Dayanımı f'_m (Mpa)		1.5					
8	Kat Ağırlıkları (kN)		Zemin	1.Kat	2.Kat	3.Kat	4.Kat	5.Kat
			3500	4500	4500	4500	4500	5500
9	Kat Yükseklikleri (m)		4.2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
10	Tabandan Yükseklikler (m)		4.2	7.0	9.8	12.6	15.4	18.2



Şekil 4.1 Binanın zemin kat planı

4.2. Güçlendirme Öncesi ve Sonrası Yapının Malzeme Özellikleri

4.2.1.Betonarme Betonu

İncelemesi yapılan binada kullanılan betonun cinsini ve kalitesini belirlemeye yönelik olarak, hem binadan alınan numuneler üzerinde deneyler yapılmış, hem de sahada tahribatsız deney yöntemleri ile ölçümler alınmıştır. Betonun Elastisite Modülü TS500'de verilen

$$E = 3250(f_{ck})^{0.5} + 14000 \quad (\text{N/mm}^2) \tag{4.2}$$

formülü ile belirlenmiştir.

Mevcut sistem elemanları: BS8 (f_{ck}=8Mpa , E=23192 N/mm^2)

Güçlendirme elemanları :BS30 (f_{ck}=30Mpa , E=32000 N/mm^2)

4.2.2. Donatı Çeliği

Mevcut sistem elemanları: S220 (f_{yk}=220 Mpa)

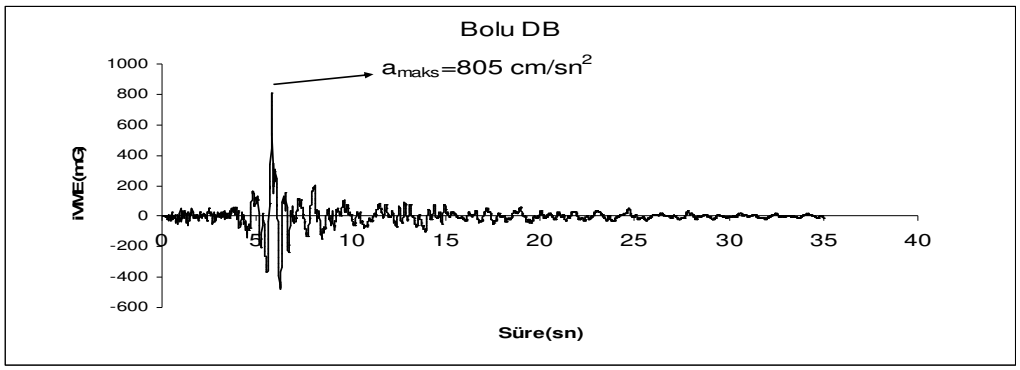
Güçlendirme elemanları :S420 (f_{yk}=420 Mpa)

4.3. Kullanılan İvme Kayıtları

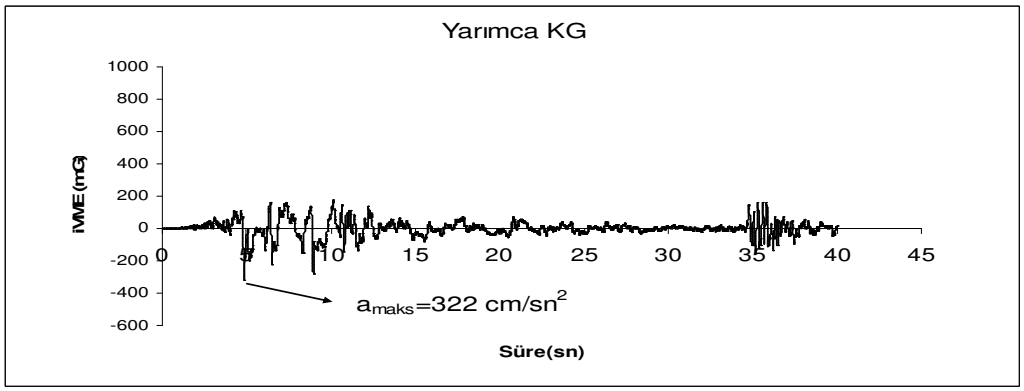
12 Kasım 1999 Düzce depremin merkez üssüne en yakın kayıt istasyonları Düzce (7 km-Kuzey), Adapazarı (60 km-Batı), Bolu (41 km-Doğu) ve Mudurnu'da (37 km-Güney) bulunmaktadır. Ölçülen maksimum yer ivmeleri Düzce'de 513 mG (DB), Bolu'da 805 mG (DB), Adapazarı'nda 24 mG (DB) ve Mudurnu'da 120 mG (DB)'dir. Bolu ve Adapazarı istasyonlarında ölçülen maksimum ivmeler kıyaslandığında önemli bir fark olduğu görülür. Kandilli Rasathanesi'nde yapılan çözümlemelere göre deprem kırılan fayın batı ucunda başlamış ve doğuya doğru yayılmıştır. Bu yüzden, kırılan fayın batısında yeralan Adapazarı'nda fayın doğusunda bulunan Bolu'ya göre daha düşük ivme değerleri ortaya çıkmıştır.

Analizde 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin 407 cm/sn^2 maksimum genliğindeki Sakarya kaydının D-B bileşeni, maksimum genliği 322 cm/sn^2 olan Yarımca kaydının K-G bileşeni, maksimum genliği 230 cm/sn^2 olan Yarımca kaydının D-B

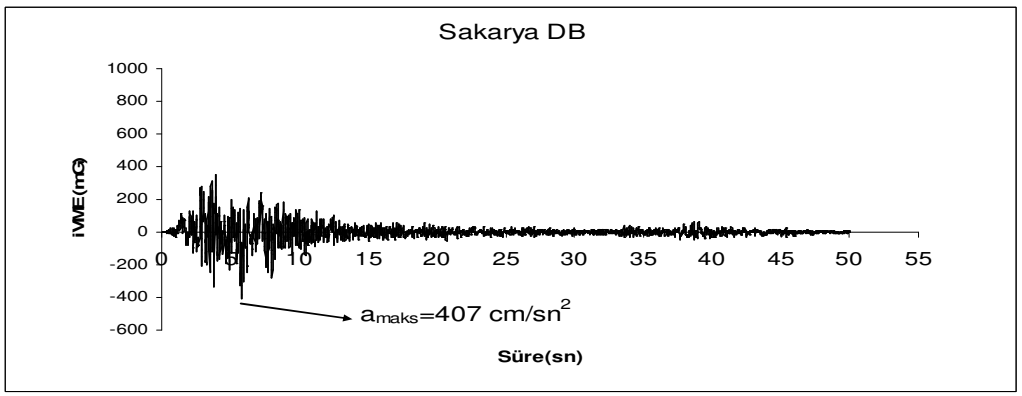
bileşeni, Yarımca D-B kaydının maksimum genliğinin 407/230=1,71 oranında arttırılarak frekans değişimini, efektif ivme değişimini ve açığa çıkan enerji miktarı değişimini incelemek amacı ile maksimum genliğinin 407 cm/sn^2 yükseltilen bileşeni ve 12 Kasım 1999 Düzce depreminin 805 cm/sn^2 maksimum genliğindeki D-B bileşeni inceleme için kullanılmıştır. Bu deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafikleri Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



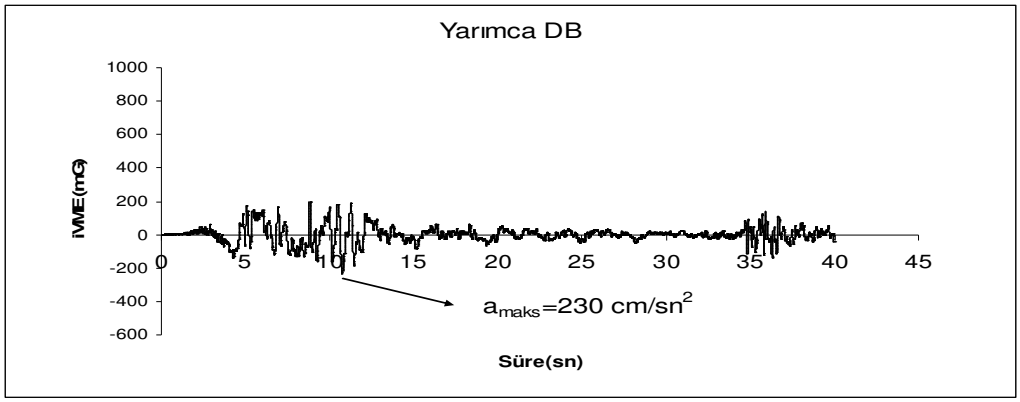
Şekil 4.2 Örnek binaya etkitilen Bolu kaydı D-B bileşeni (12 Kasım 1999)



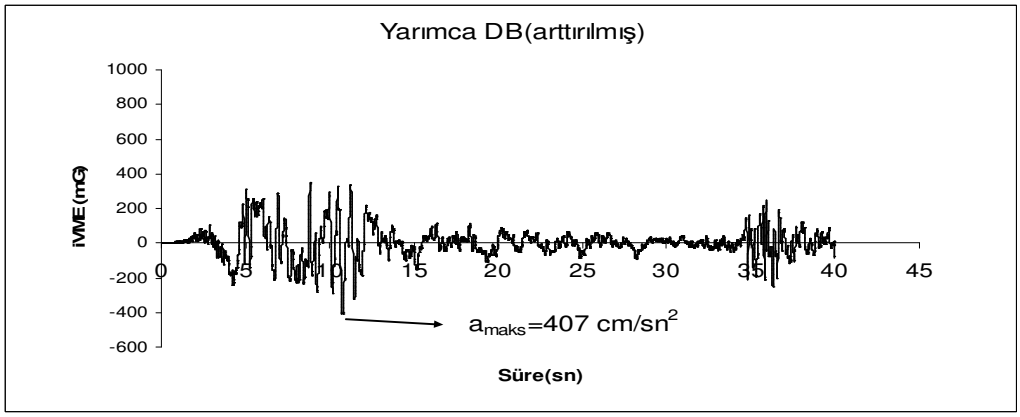
Şekil 4.3 Örnek binaya etkitilen Yarımca kaydı K-G bileşeni (17 Ağustos 1999)



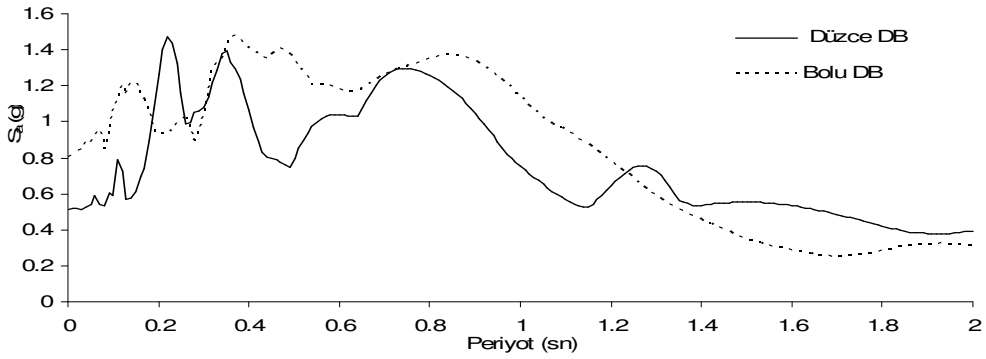
Şekil 4.4 Örnek binaya etkitilen Sakarya kaydı D-B bileşeni (17 Ağustos 1999)



Şekil 4.5 Örnek binaya etkitilen Yarımca kaydı D-B bileşeni (17 Ağustos 1999)



Şekil 4.6 Örnek binaya etkitilen Yarımca(arttırılmış) kaydı D-B bileşeni (17 Ağustos 1999)



Şekil 4.7 Bolu depremine ait ivme karşılık spektrumları

Tablo 4.2 Deprem Kayıtlarının Maksimum Genlikleri ve Analizdeki Deprem Süreleri

Deprem Kaydı	Sakarya DB	Yarımca KG	Yarımca DB	Yarımca DB(arttırılmış)	Bolu DB
a_{maks}(cm/sn^2)	407	322	230	407	805
Analizdeki Deprem Süresi(sn)	50	40	40	40	35

5. YAPININ GÜÇLENDİRME ÖNCESİ DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ

Yapı Drain-2DX programı için iki boyutlu olarak modellenmiştir. Bu yüzden yapıyı oluşturan çerçeveler bağlantı elemanlarıyla birbirlerine bağlanarak sözde büyük bir çerçeve oluşturur. Bu bağlantı elemanlarının çerçeveler arası kuvvet aktarımını herhangi bir deformasyon yapmadan gerçekleştirmesi için akma rijitlikleri oldukça yüksek tutulmuş, böylece bağlantı elemanlarının elastik davranması istenmiştir. Bunun için Drain-2DX kullanım kılavuzunda tanımlanan 9. tip bağlantı elemanı istenilen davranışı gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Ayrıca dolgu duvarları da 9. tip eleman kullanılarak sisteme olan etkisi dikkate alınmıştır.

Yapıdaki kiriş ve kolonlar Drain-2DX kullanım kılavuzundaki 2. tip kiriş-kolon eleman şeklinde tanımlanmışlardır. Bu tanımlamaya göre her elemanın rijitliğinin, elastisite modülünün, enkesit alanının tanımlandığı bir rijitlik numarası ile pozitif (M_y^+) ve negatif (M_y^-) akma momentlerinin tanımlandığı bir akma kesiti numarası vardır. Bu kesitlere ait değerler Tablo 5.1'de gösterilmiştir. Bu tabloda M_y taşıma gücü momentini, M_u dengeli duruma karşı gelen momenti, M_b ise basit eğilme momentini göstermektedir.

Tablo 5.1 Güçlendirme Öncesi Mevcut Yapı Kolonlarına Ait Moment ve Eğrilik Değerleri

Kolon No	b(m)	h(m)	Normal Kuvvet (kN)	M_y(kN)	M_b(kN)	M_u(kN)
S1/S6	0,3	0,6	864	79,4	65,6	79,4
S2/3/4/5/9	0,3	0,6	652	78,7	79,3	79,4
S7	0,3	0,6	957	81,2	61,8	81,2
S8	0,3	0,7	895	41,8	19,5	41,8
S10	0,3	0,6	794	81,2	75,4	81,2
S11	0,3	0,65	893	84,8	75,4	84,8

Yapının bütün elemanları için akma sonrası gerilme pekleşme oranı 0.03 alınmıştır. Böylelikle yapı, doğrusal elastik olan ilk kısmı akma durumuna kadar K rijitliğine sahip, ikinci kısmı ise akmadan sonra rijitliği α.K şeklinde olan ve yük boşalmasının başlangıçtaki rijitliği koruyacak şekilde oluştuğu çift doğrulu (Bilinear) model esas alınarak çözümlenmiştir. Elemanlarda P-Δ etkisi ve eğilme momenti-normal kuvvet etkileşimi ihmal edilmiştir.

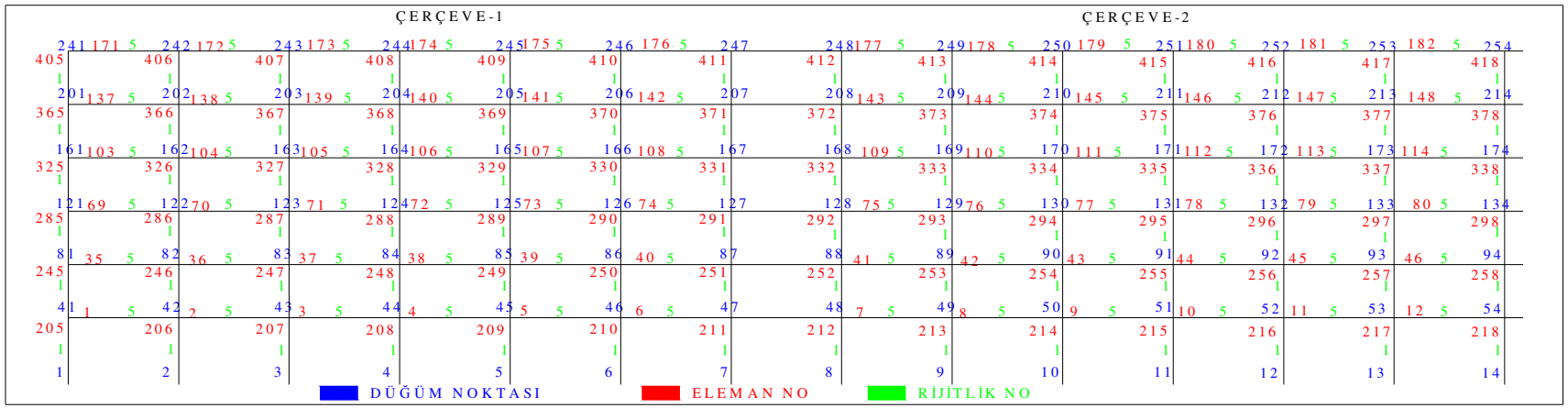
Her katın ağırlığı çerçevelerin o kattaki düğümlerine eşit olarak paylaştırılmıştır. Buna göre en üst kattaki ve diğer katlardaki ağırlıklar katlardaki 40 tane düğüm noktasına dağıtılmıştır. Sönüme etki eden α ve β katsayıları sırasıyla 0.25 ve 0.005 alınmıştır. Düğüm noktalarına X ve Y yönünde öteleme, Z ekseni etrafında dönme yapacak şekilde üç serbestlik verilmiştir. Her kattaki düğüm noktaları, o kattaki ilk düğüm noktasına bulundukları eksen yönündeki öteleme bakımından bağlıdır. Bu eksene dik olan ve yatay düzlemde bulunan diğer eksen yönündeki öteleme ve düşey eksen etrafındaki dönme bakımından ise bağımsızdır.

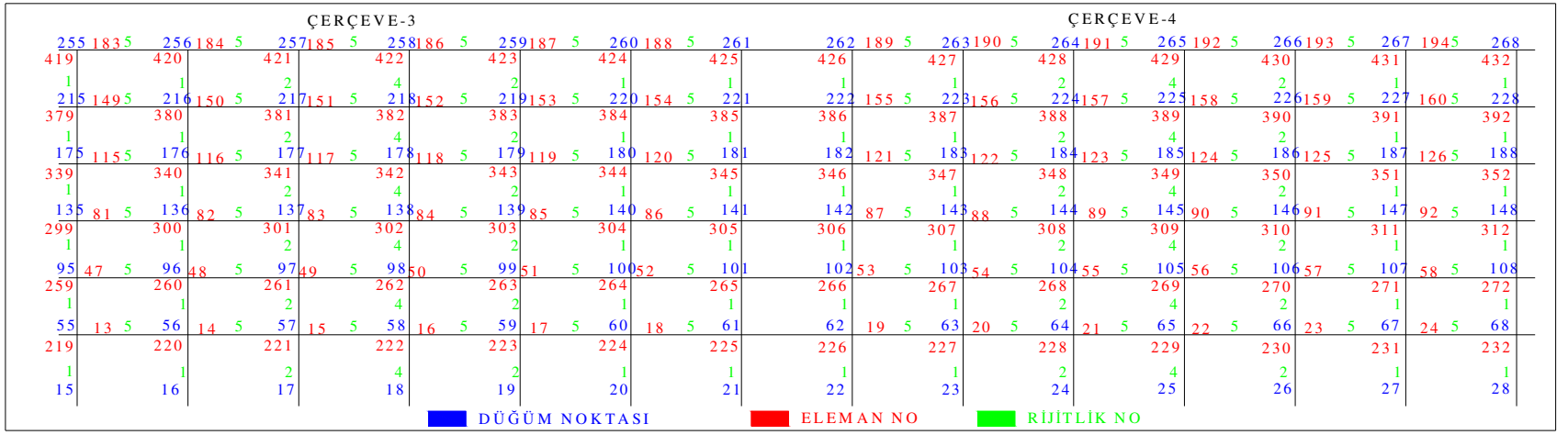
Dinamik analizde her adımda rijitlik hesaplaması yapacak şekilde sabit zaman adımlı çözüm tercih edilmiştir. Zaman adımı 0.002 sn. olarak alınmış, her zaman adımında rijitlik hesabı için maksimum 200 iterasyona izin verilmiştir.

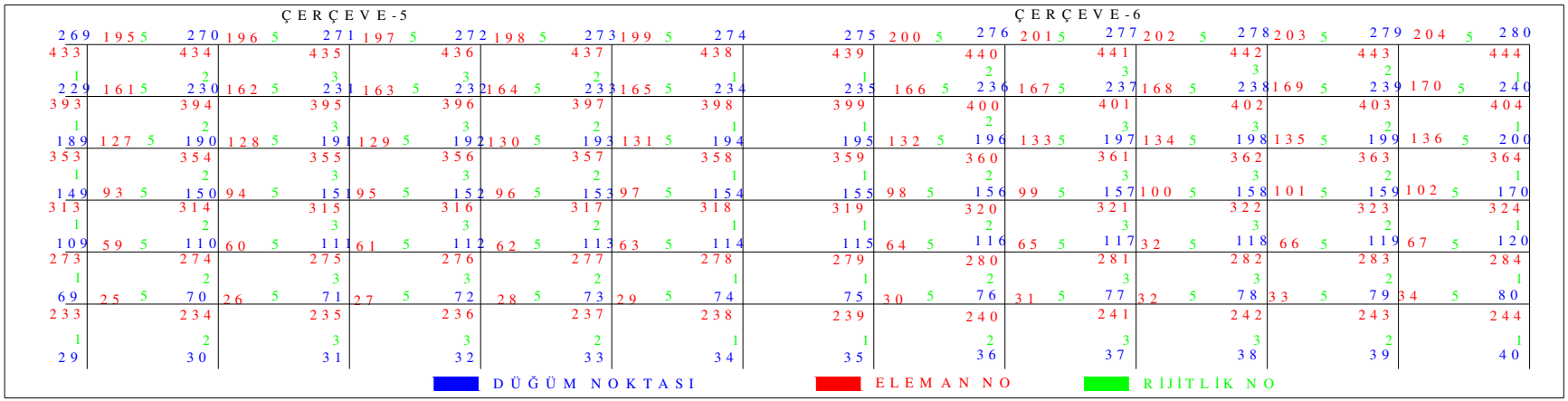
Dolgu duvarların güçlendirme öncesi yapıya olan etkilerini incelemek için her deprem kaydı için 4 farklı sistem ele alınmıştır. Bunlar;

- Duvarsız Sistem: Sistemdeki duvarların etkisi ihmal edilerek sadece kolon-kiriş ve döşemeden oluşan çıplak sistemin çözümü yapılmıştır.
- Duvarlı Sistem: Binadaki bütün çerçevelerde, zemin kat dahil, dolgu duvar olduğu düşünülerek analiz yapılmıştır.
- İlk Kat Duvarları Olmayan Sistem: Binanın ilk kat yüksekliği fazla olduğundan yumuşak kat durumunu incelemek amacıyla, sadece ilk katta incelenen akslarda duvarların olmadığı, diğer bütün katlarda ise duvarların olduğu dikkate alınmıştır.
- Mimari Sistem: Binadaki dolgu duvarların mimari projeye uygun olarak kapı, pencere gibi boşlukların dikkate alındığı sistemin analizi yapılmıştır.

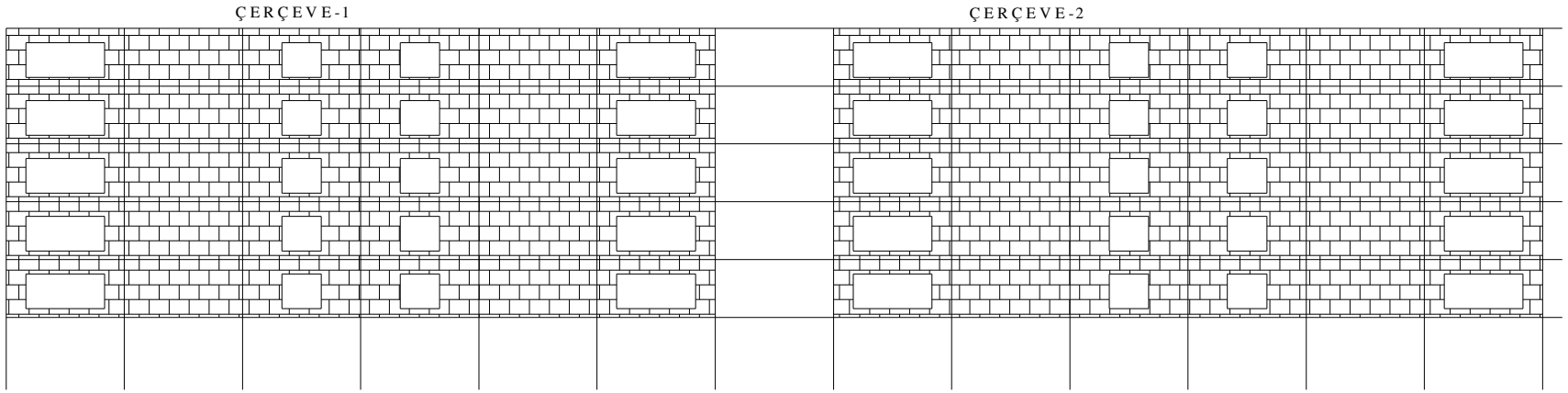
Bağlantı elemanlarıyla birbirine bağlanan çerçevelerden oluşan birleştirilmiş çerçeve ise Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Çerçevedeki her bir eleman üzerinde, elemanın numarası, elemanın sahip olduğu rijitliği ve akma özelliklerini belirten rijitlik ve akma kesiti numaraları ve elemanın bağlı olduğu düğümlerin numaraları belirtilmiştir. Tüm sistemde 240 kolon, 204 kiriş ve duvar bulunmaktadır. Mimari duruma ait yerleşim planı Şekil 5.2'de verilmiştir.

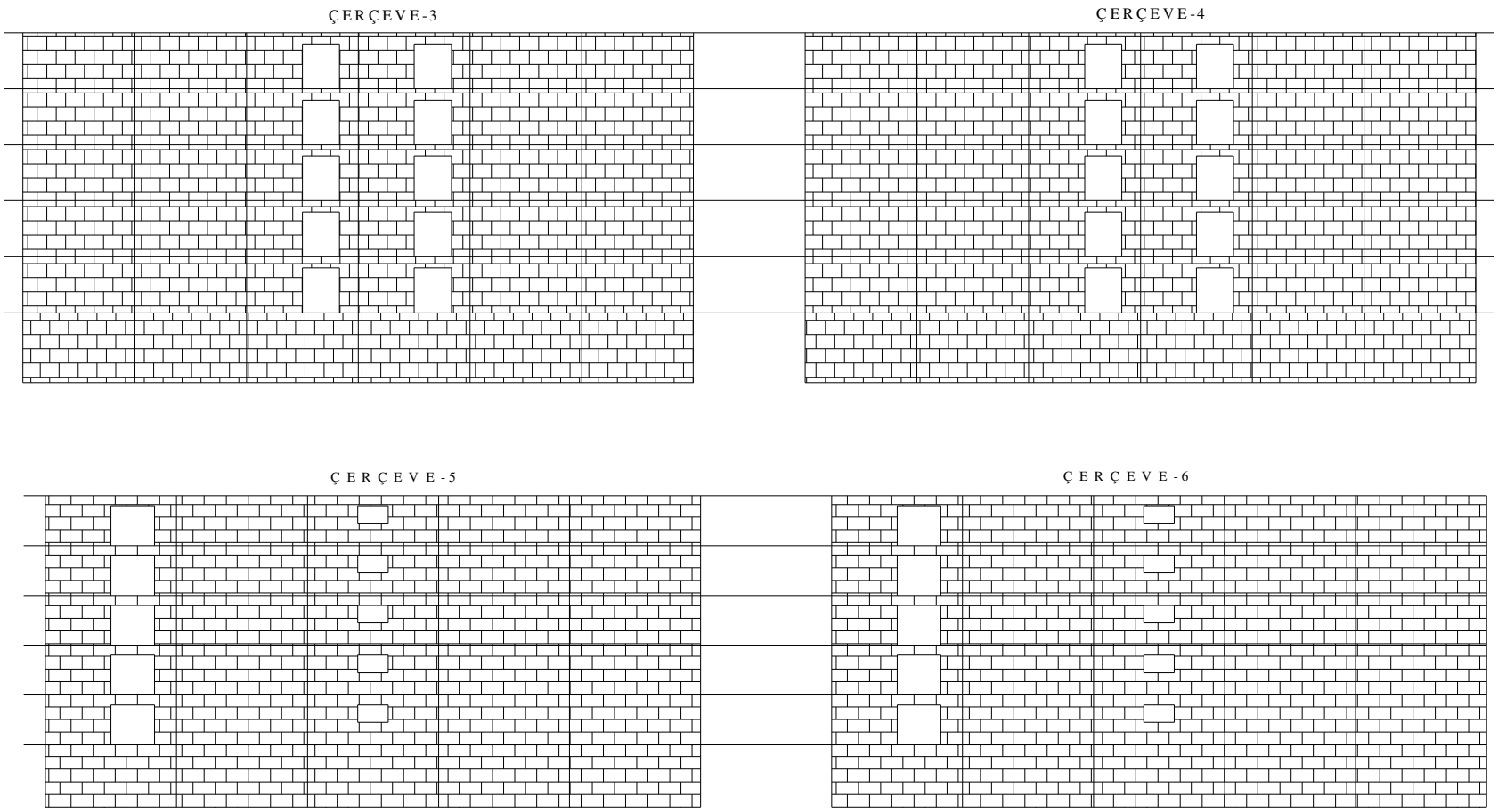

ÇERÇEVE-1
ÇERÇEVE-2
DÜĞÜM NOKTASI
ELEMAN NO
RİJİTLİK NO


ÇERÇEVE-3
ÇERÇEVE-4
DÜĞÜM NOKTASI
ELEMAN NO
RİJİTLİK NO



Şekil 5.1 Güçlendirilme öncesi duruma ait birleştirilmiş çerçeve





Şekil 5.2 Tüm çerçevelere ait mimari yerleşim planı

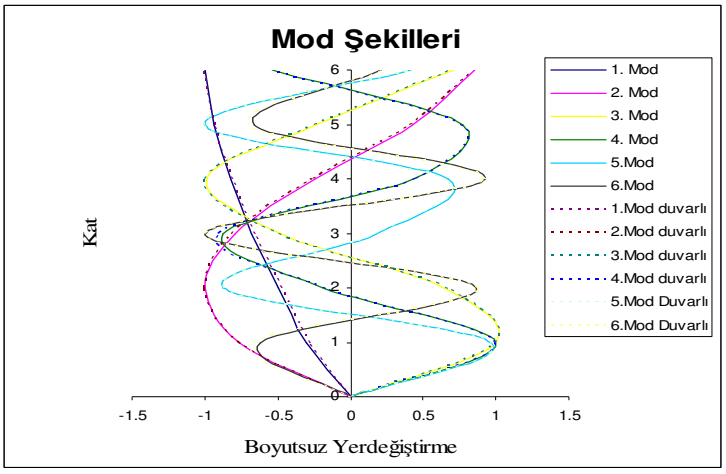
5.1. Sakarya DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin 407 cm/sn^2 maksimum genliğinin Sakarya kaydının DB bileşeni etkitilmiş ve sistem dolgu duvarların dört ayrı sistem için analizi yapılmıştır. Modellenen sistemlerin ilk altı moduna ait sönümsüz serbest titreşim periyotları Tablo 5.2 de görülmektedir.

Tablo 5.2 Güçlendirme Öncesi Yapının Serbest Titreşim Periyotları (Hasarsız Durum)

Periyot(sn)	Duvarsız	Duvarlı	İlk Kat. Duv. Yok	Mimari
T_1	0.764	0.461	0.564	0.590
T_2	0.240	0.145	0.169	0.178
T_3	0.131	0.080	0.085	0.095
T_4	0.089	0.057	0.059	0.066
T_5	0.069	0.046	0.047	0.052
T_6	0.060	0.041	0.041	0.046

Duvarlı ve duvarsız durumlara ait Mod Şekilleri Şekil 5.3'de verilmiştir.

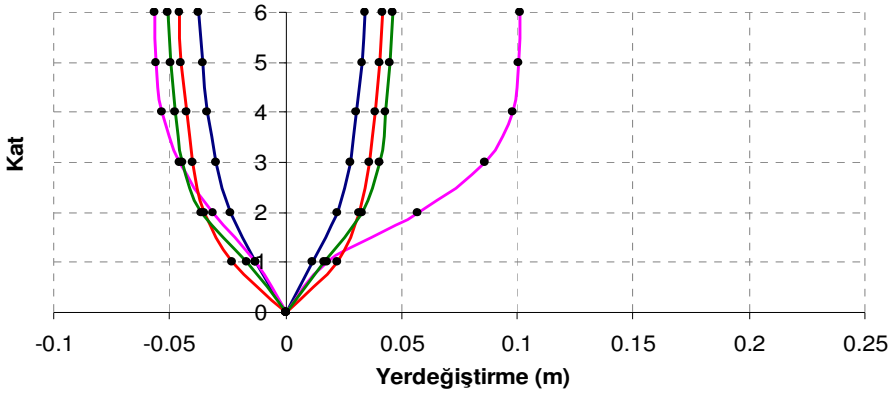


Şekil 5.3 Duvarlı ve Duvarsız duruma ait mod şekilleri

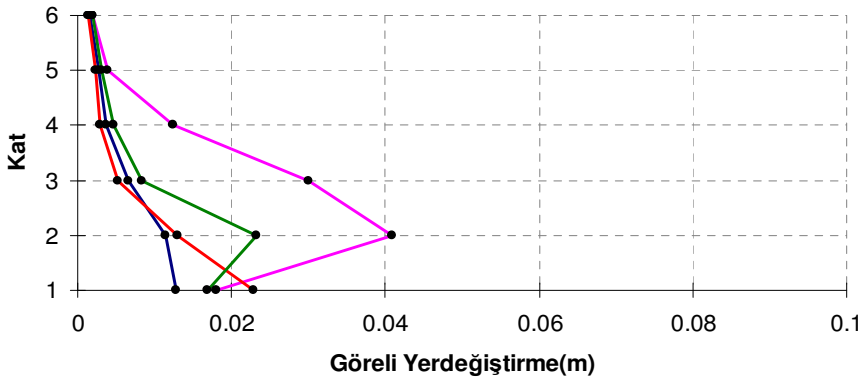
Güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfları ve göreli kat ötelemeleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de verilmiştir:

- Mavi→Duvarlı durumu,
- Pembe→Duvarsız durumu,
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durumu,
- Yeşil→Mimari durumu

göstermektedir.

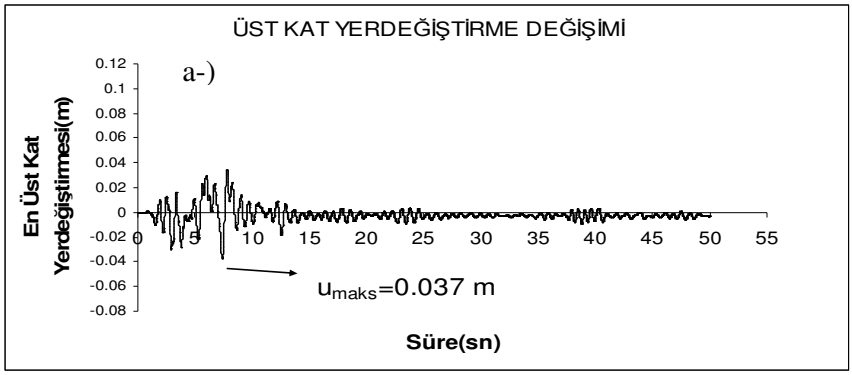


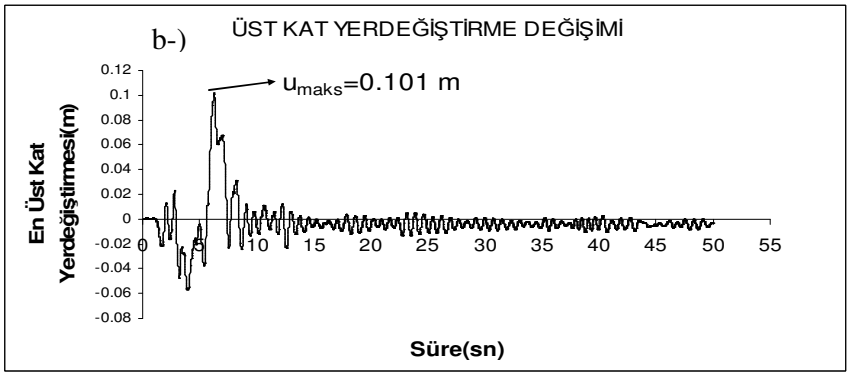
Şekil 5.4 Güçlendirme öncesi Sakarya DB yerdeğiştirme zarfı

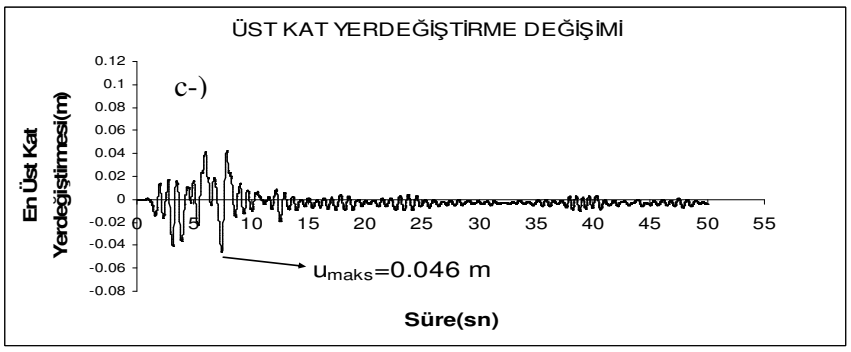


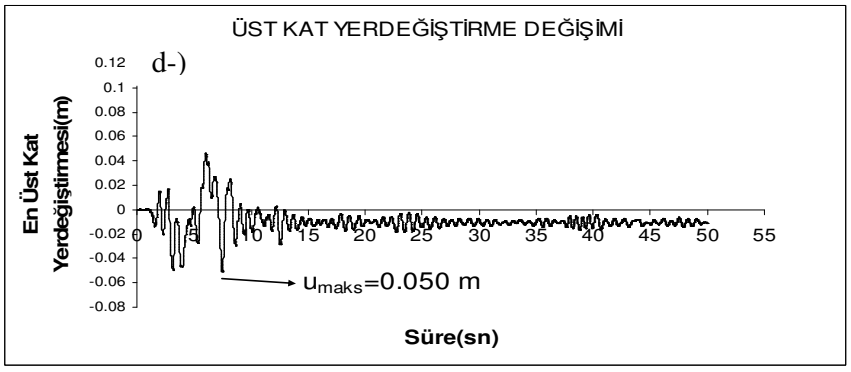
Şekil 5.5 Güçlendirme öncesi Sakarya DB göreli kat ötelemeleri

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi en fazla yerdeğiştirme 10.14 cm ile duvarsız durum için gerçekleşirken, en az yerdeğiştirme 3.72 cm ile duvarlı durum için ortaya çıkmıştır. En üst kat yerdeğiştirme değişimi, kesme kuuveti talebi, taban devrilme momenti talebi ve en üst kat yerdeğiştirme kesme kuvveti talebine ait 4 ayrı sistem için Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 da verilmiştir.

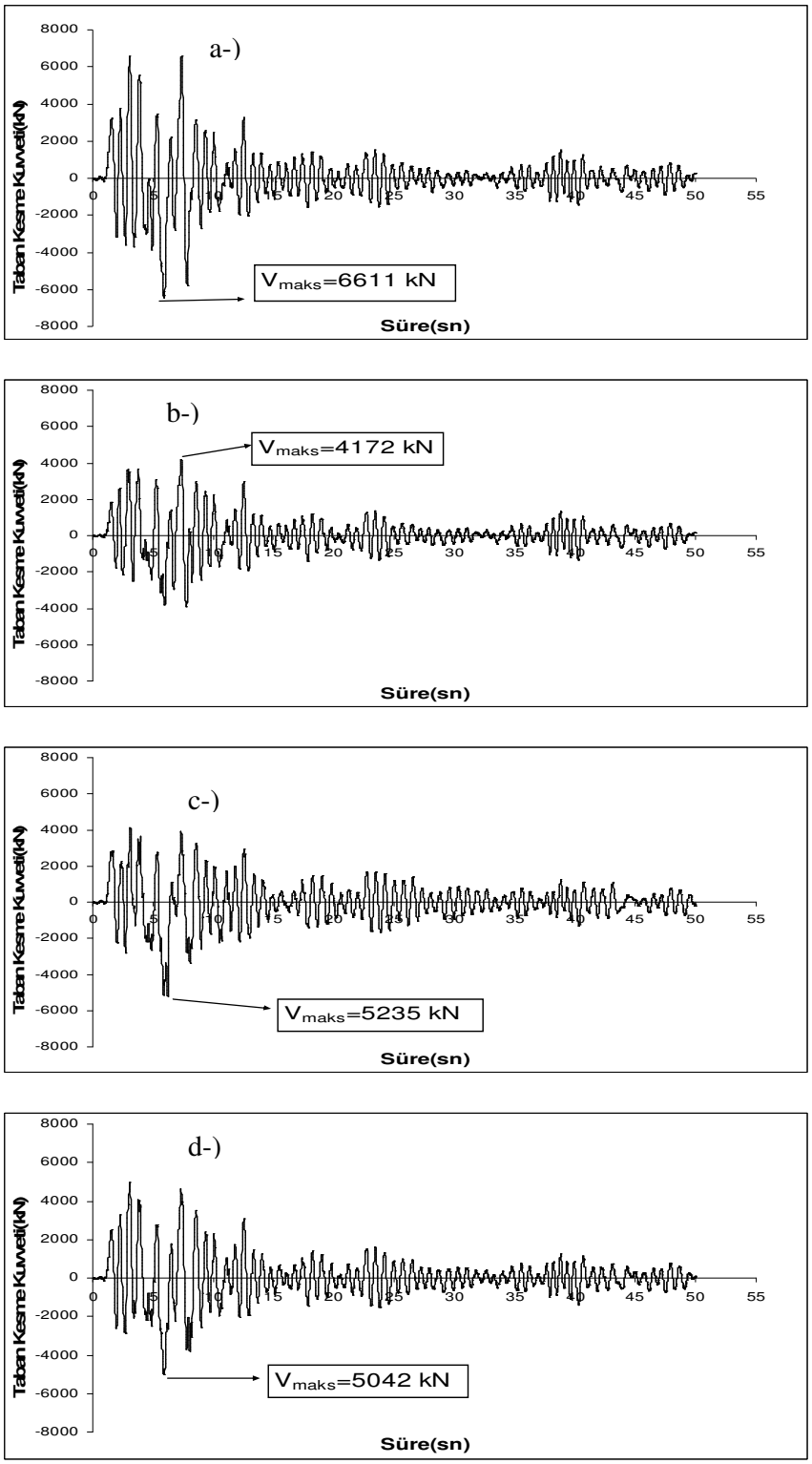




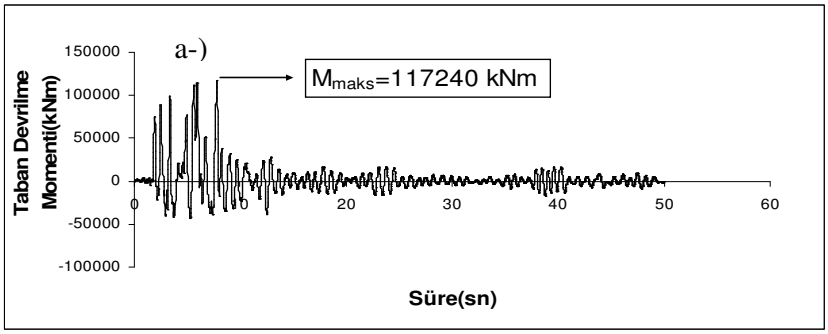


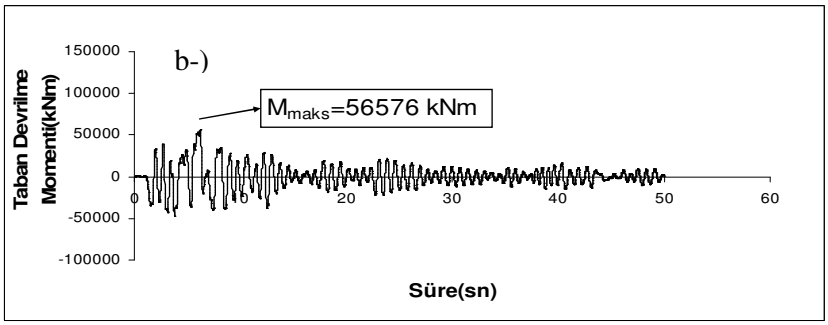


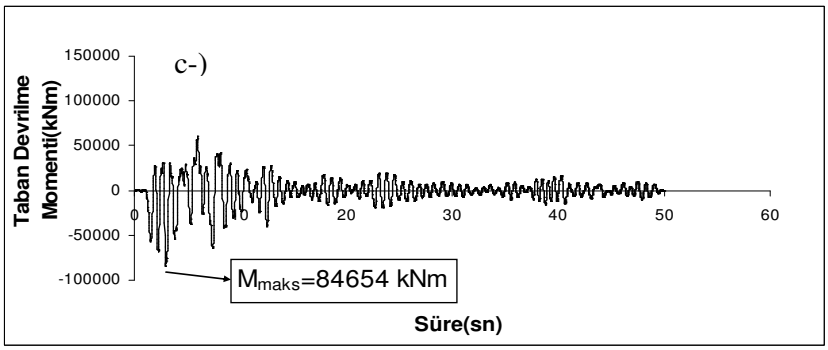
Şekil 5.6 Sakarya DB en üst kat yerdeğiştirme değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

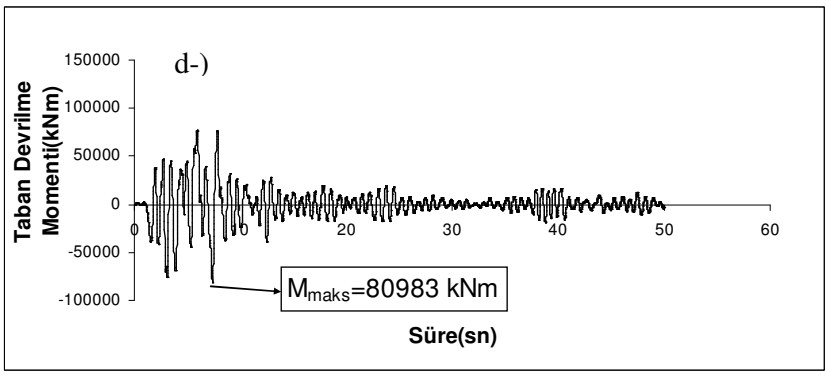


Şekil 5.7 Sakarya DB taban kesme kuvveti talebi değişimi a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

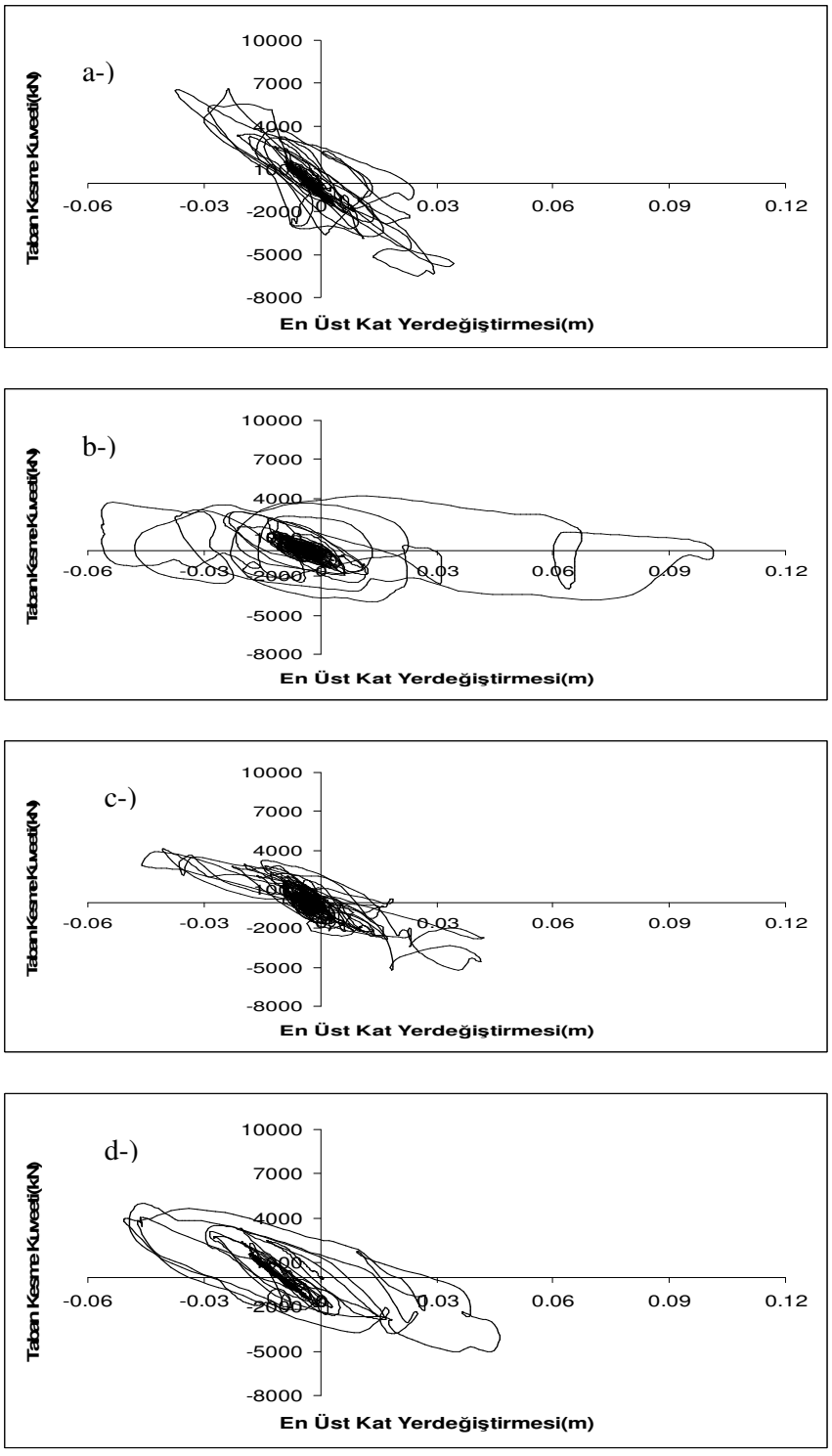








Şekil 5.8 Sakarya DB taban devrilme momenti talebi değişimi a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

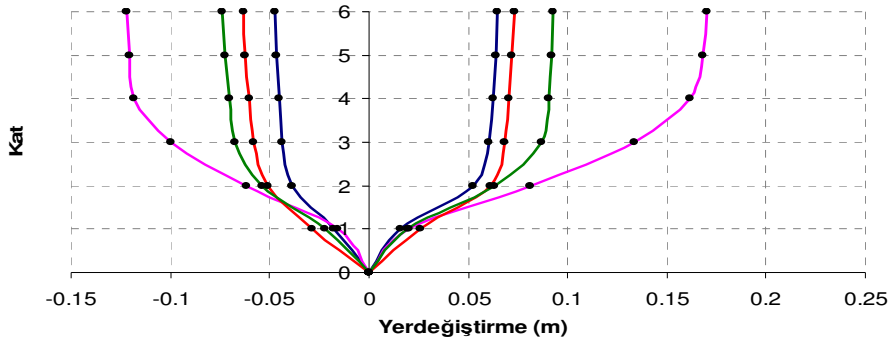


Şekil 5.9 Sakarya DB taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum.

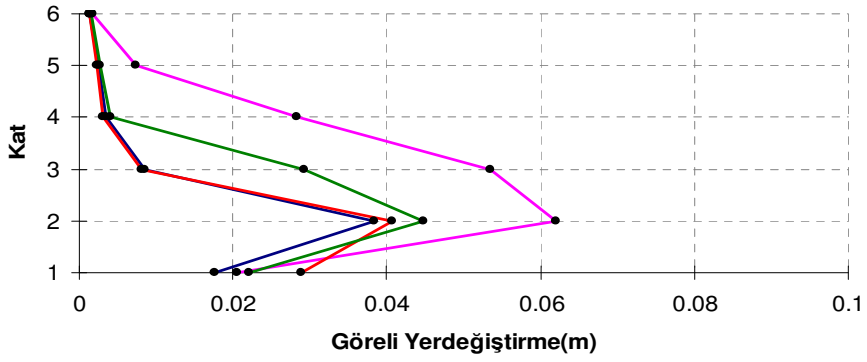
5.2. Yarımca KG Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin 322 cm/sn^2 maksimum genliğinin Yarımca kaydının KG bileşeni etkitilmiş ve sistem dolgu duvarların dört ayrı sistem için analizi yapılmıştır. Bu deprem kaydına ait yerdeğiştirme zarfı ve göreli kat ötelemeleri Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de verilmiştir:

- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durum
- Yeşil→Mimari durum.

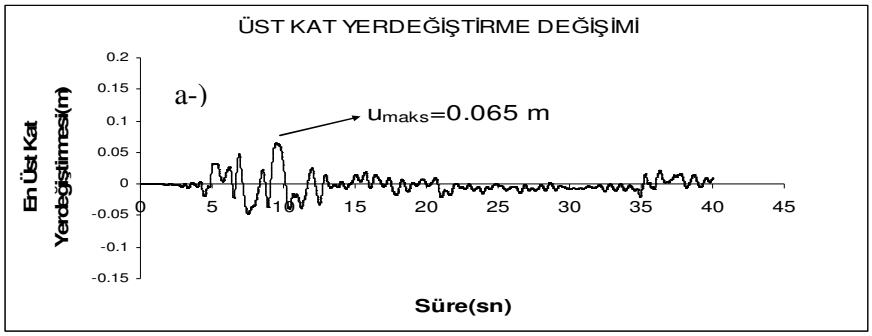


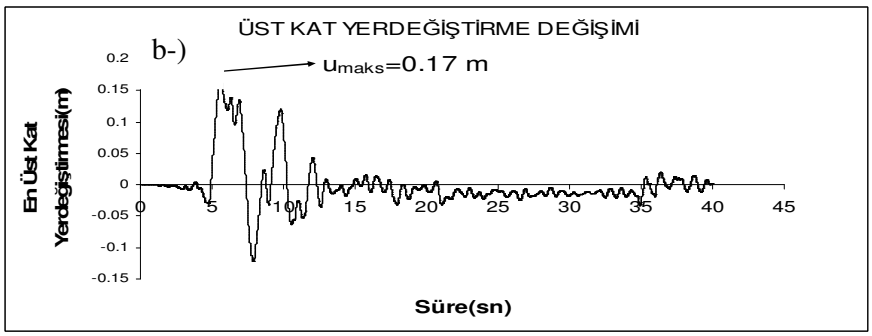
Şekil 5.10 Yarımca KG güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfı

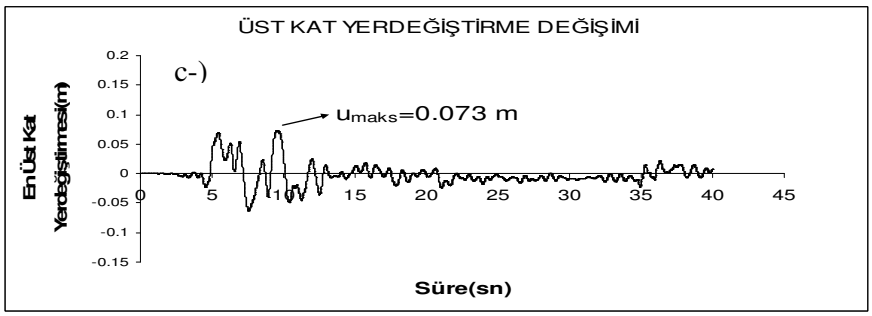


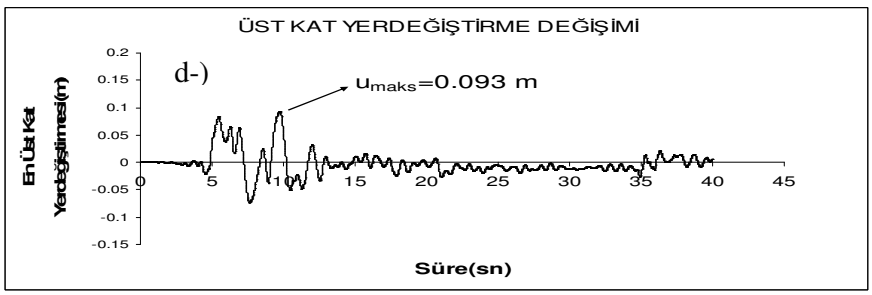
Şekil 5.11 Yarımca KG güçlendirme öncesi duruma ait göreli kat ötelemeleri

En üst kat yerdeğiştirme değişimi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi ve en üst kat yerdeğiştirme-kesme kuvveti talebinin şekilleri 4 ayrı sistem için Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 verilmiştir.



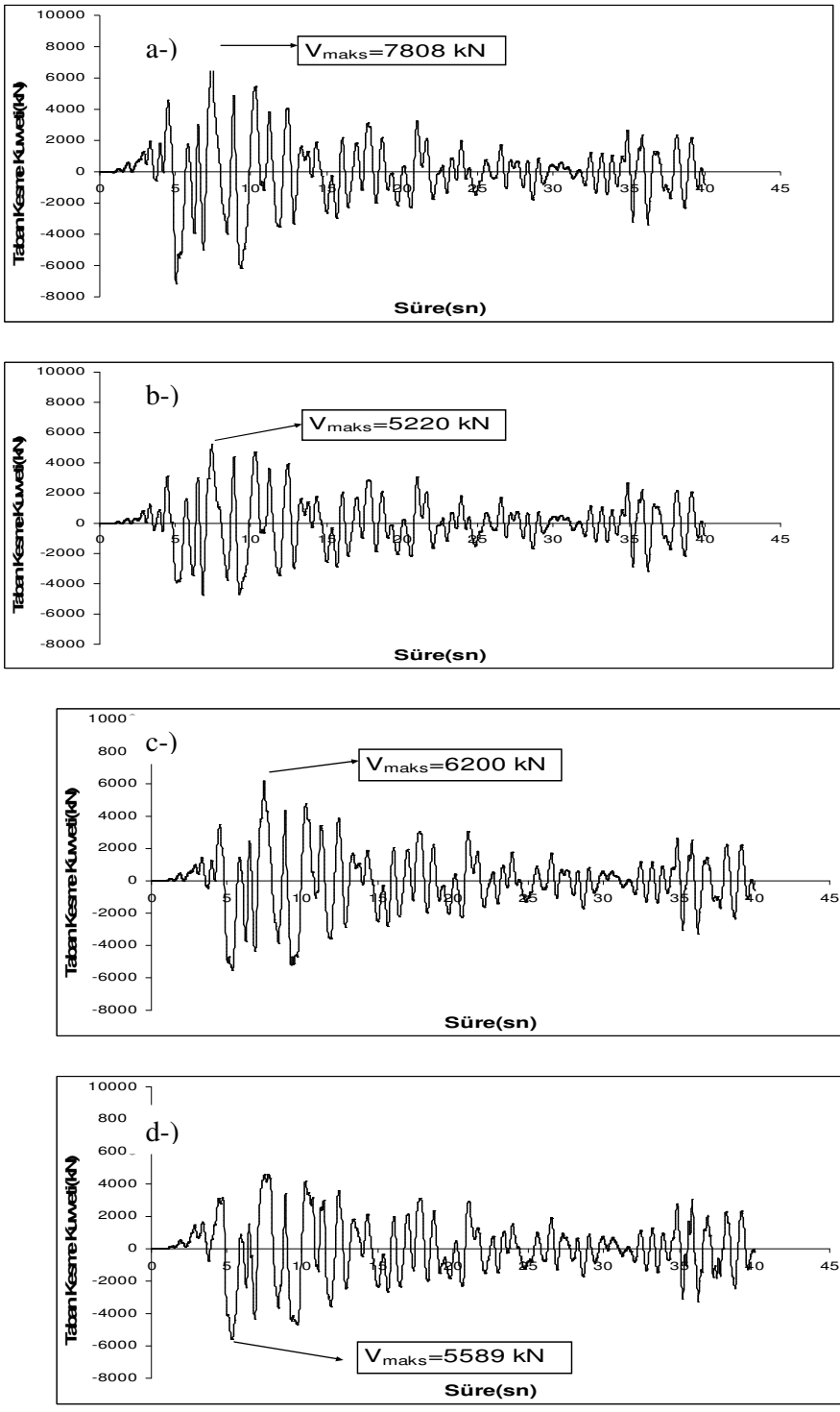






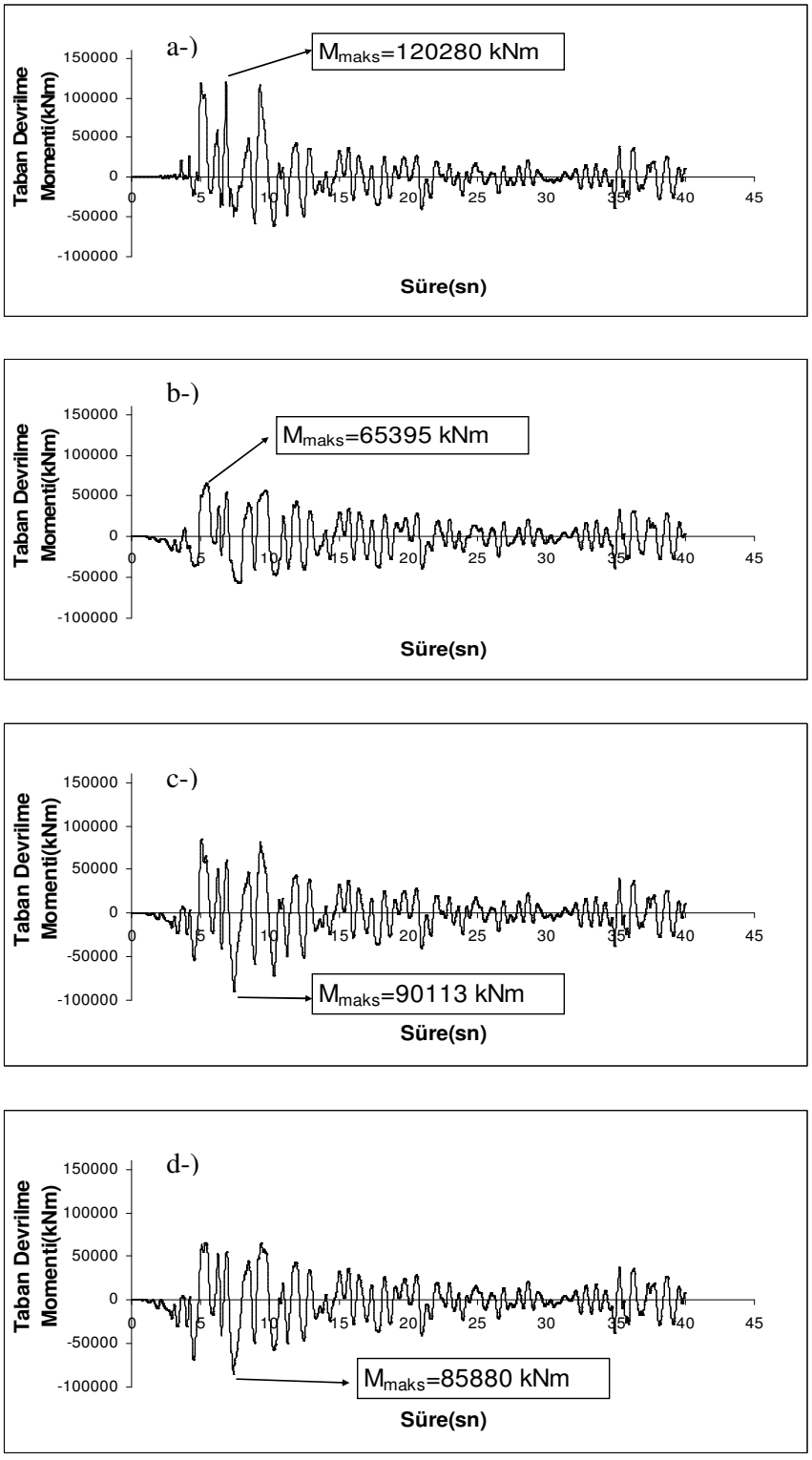
Şekil 5.12 Yarımca KG kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri

a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum.

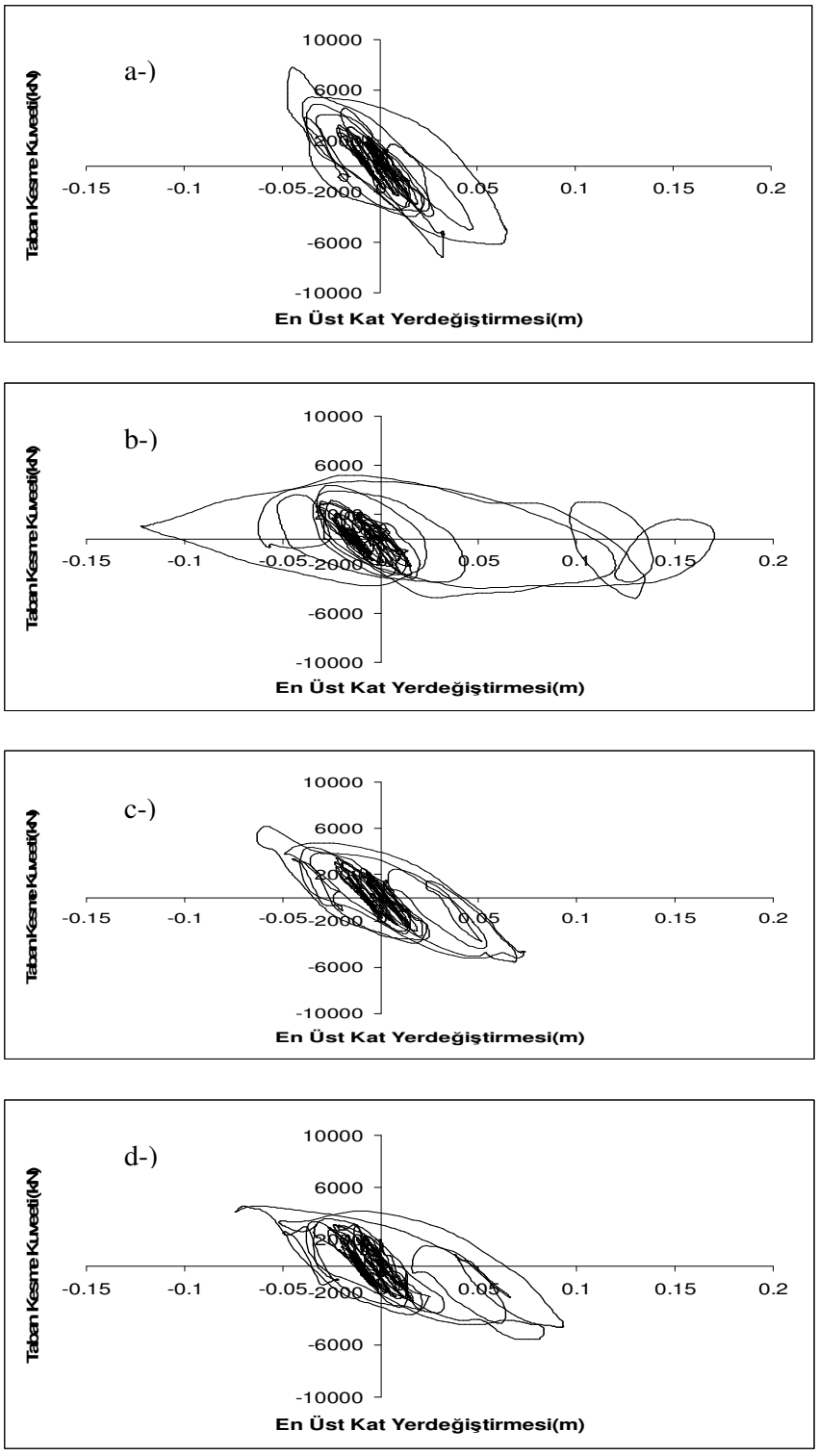


Şekil 5.13 Yarımca KG taban kesme kuvveti talebi değişimi

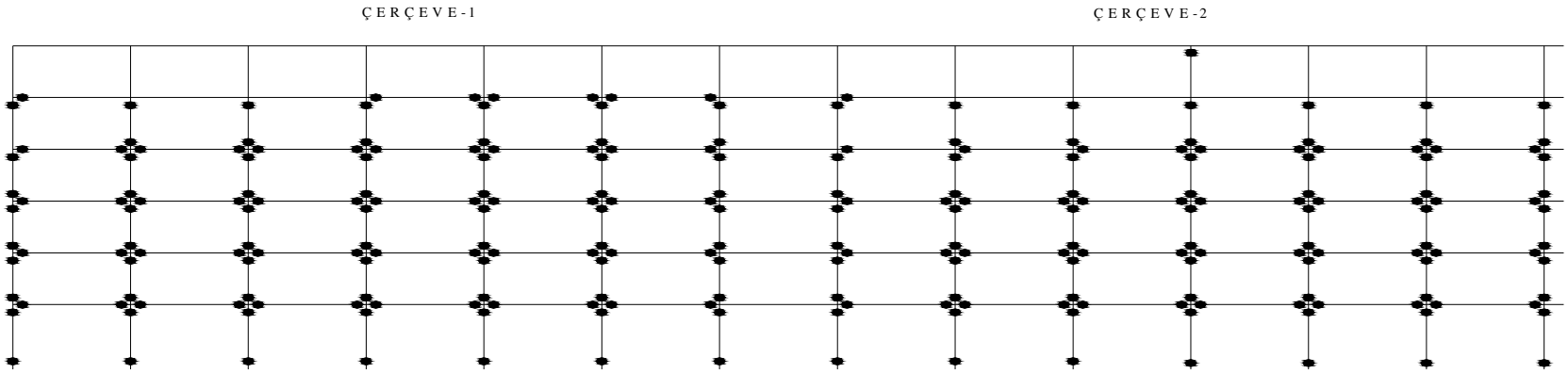
a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum.



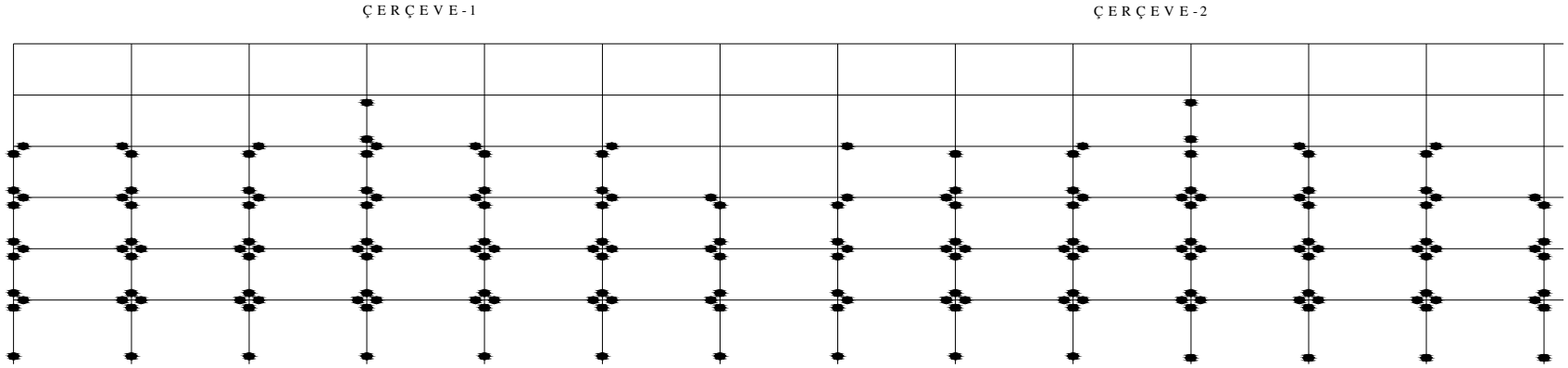
Şekil 5.14 Yarımca KG taban devrilme momenti talebi değişimi a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum.



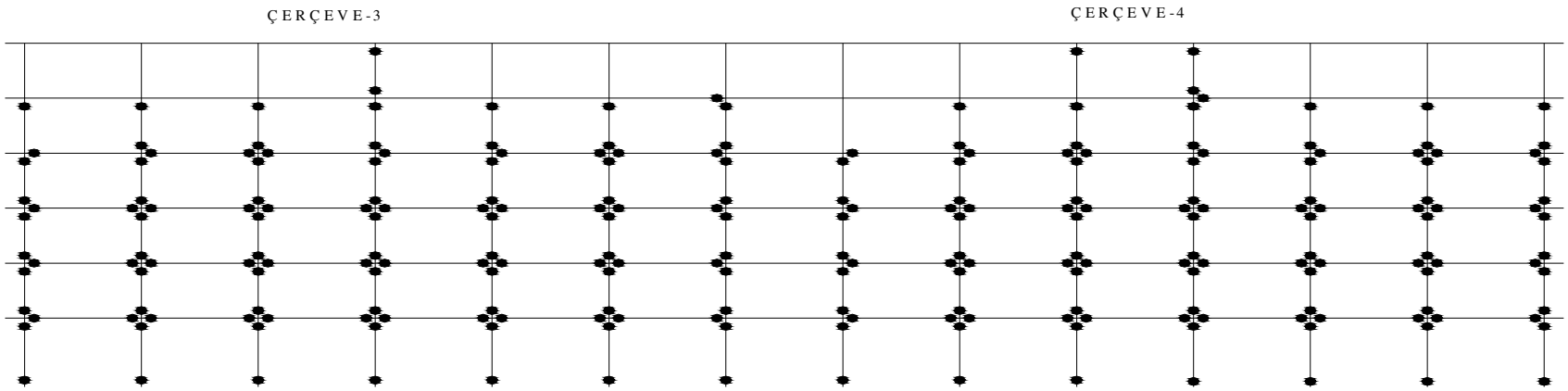
Şekil 5.15 Yarımca KG taban kesme kuvvet talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum.



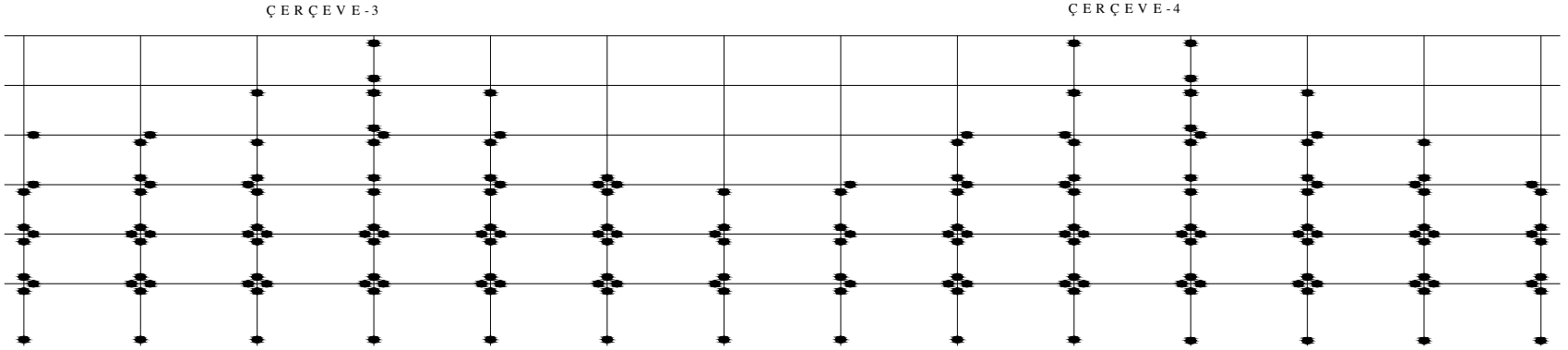
Şekil 5.16 Yarımca KG kaydı için Çerçeve 1 ve 2 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarsız durum)



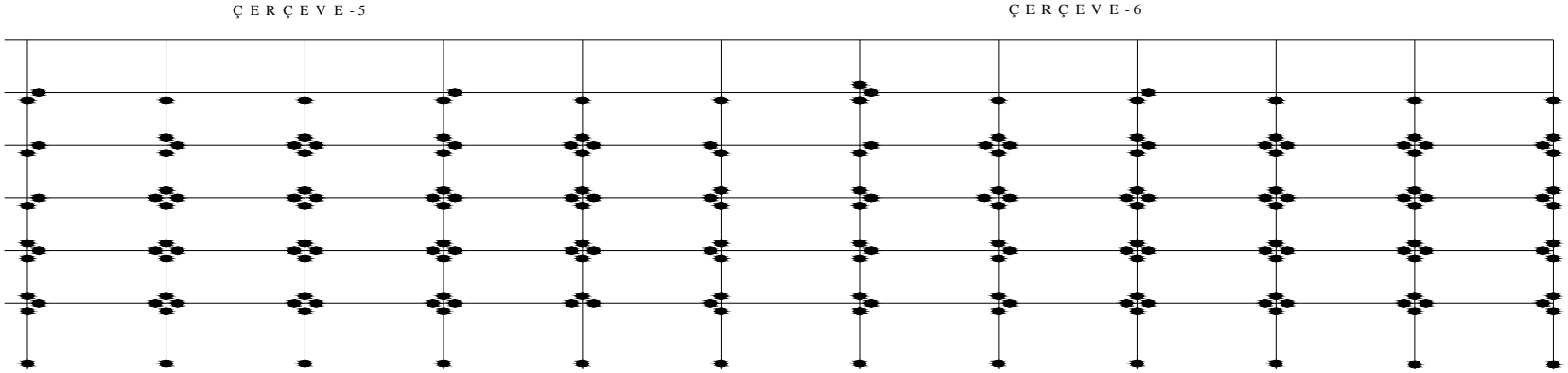
Şekil 5.17 Yarımca KG kaydı için Çerçeve 1 ve 2 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarlı durum)



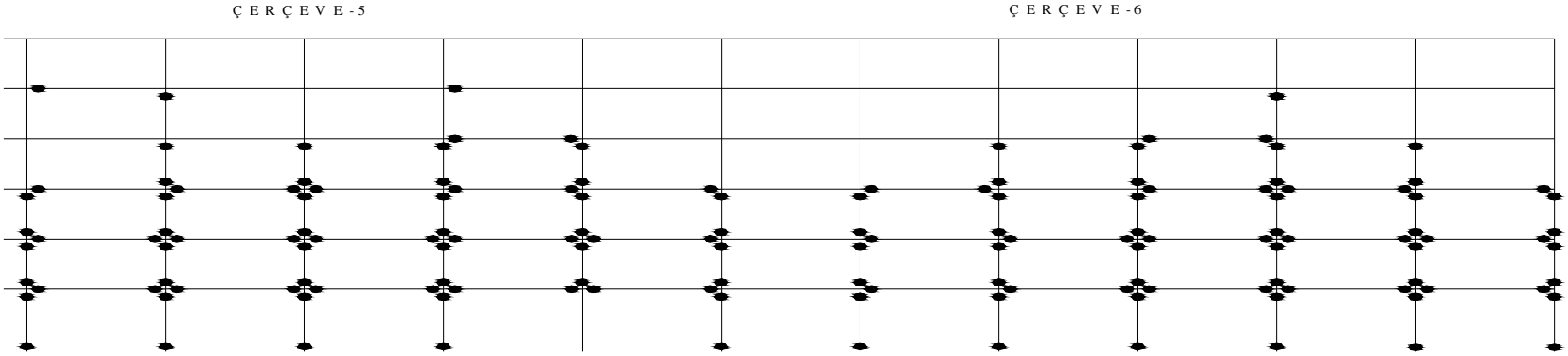
Şekil 5.18 Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarsız durum)



Şekil 5.19 Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarlı durum)



Şekil 5.20 Yarımca KG kaydı için Çerçeve 5 ve 6 da kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarsız durum)



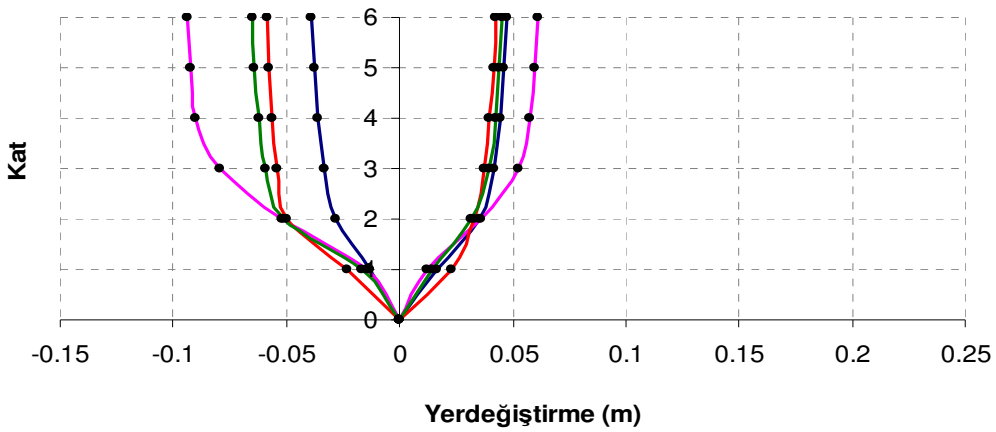
Şekil 5.21 Yarımca KG kaydı için Çerçeve 5 ve 6 da kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar(Duvarlı durum)

Yarımca KG deprem kaydı duvarların etkisinin ihmal edildiği sistem için yapının birinci, ikinci ve üçüncü katlarında bulunan kolon ve kirişlerin hepsinde plastik mafsallaşma görülmüştür. Dördüncü kat kolonlarında ise bazı kolonların sadece bir ucunda diğerlerinin hepsinde mafsallaşma görülürken, kirişlerin %32 sinin sadece bir ucunda, %64'ünde ise her iki ucunda plastik mafsallaşma görülmüştür. Beşinci kat kolonlarının %6'sında plastik mafsal oluşmazken, %94'ünde plastik mafsal görülmüş, kirişlerin ise %87'sinde mafsallaşma görülmemiştir. Son kat kolonlarının ise %90'ınında plastik mafsal oluşmaz iken kirişlerin hiç birinde mafsallaşma görülmemiştir. Aynı deprem kaydının tüm açıklıkların duvarlı olması durumu için yapılan incelemede birinci ve ikinci kat kolon ve kirişlerin hepsinde plastik mafsal oluşurken, üçüncü kat kirişlerinin %23'ünde plastik mafsal oluşmazken kolonların hepsinde mafsallaşma görülmüş, dördünce kat kolonlarının %28'inde mafsallaşma oluşmazken kirişlerin %36'sında plastik mafsal görülmemiş, beşinci kat kolonlarının %75'inde, kirişlerin ise %95'inde mafsallaşma görülmemiş, son katta ise kolonların %93'ünde, kirişlerin ise hiç birinde plastik mafsal görülmemiştir.

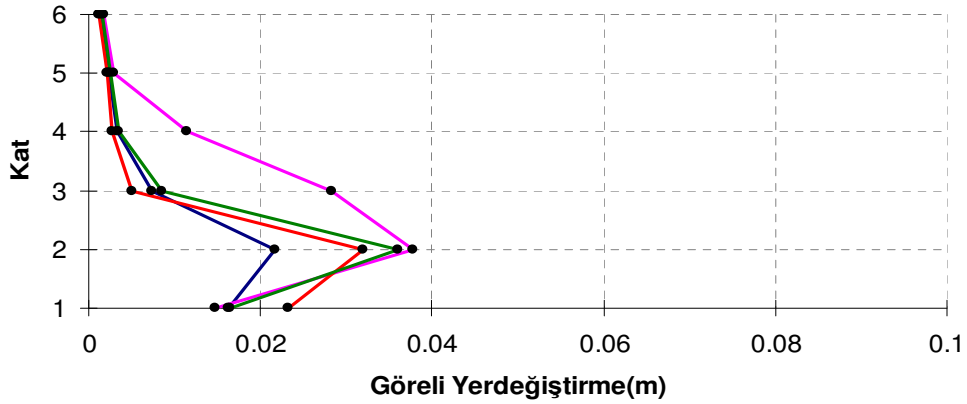
5.3. Yarımca DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin 230 cm/sn^2 maksimum genliğinin Yarımca kaydının DB bileşeni etkitilmiş ve sistem dolgu duvarların dört ayrı sistem için analizi yapılmıştır. Bu deprem kaydına ait yerdeğiştirme zarfı ve göreli kat ötelemeleri Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de verilmiştir:

- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durum
- Yeşil→Mimari durum.

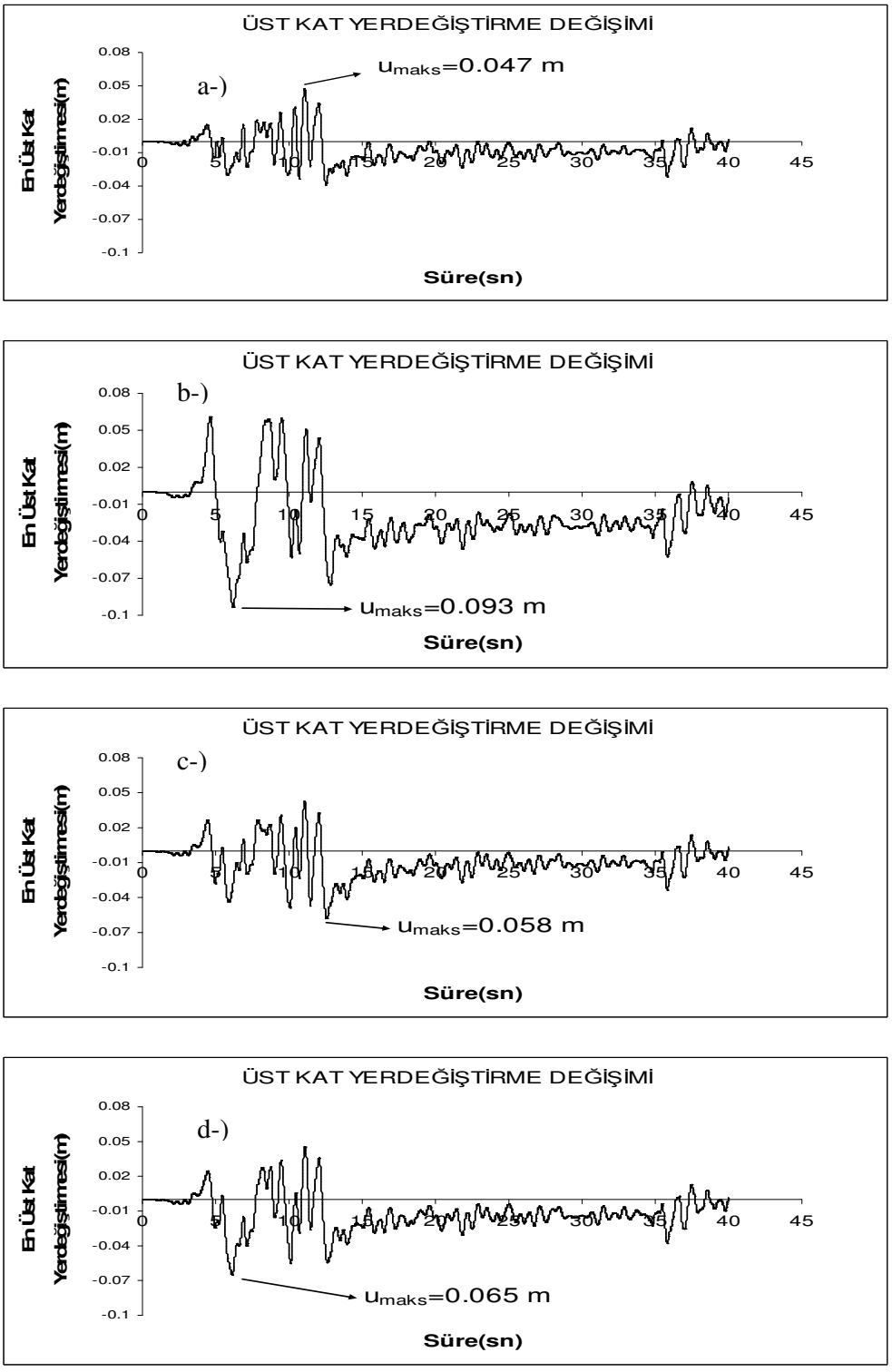


Şekil 5.22 Yarımca DB güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfı



Şekil 5.23 Yarımca DB güçlendirme öncesi duruma ait göreli kat ötelemeleri

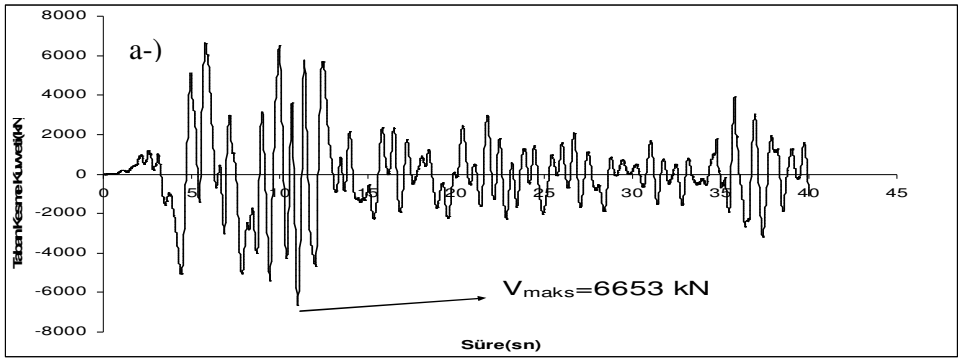
En üst kat yerdeğiştirme değişimi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi ve en üst kat yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti talep değişimleri Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'de verilmiştir.

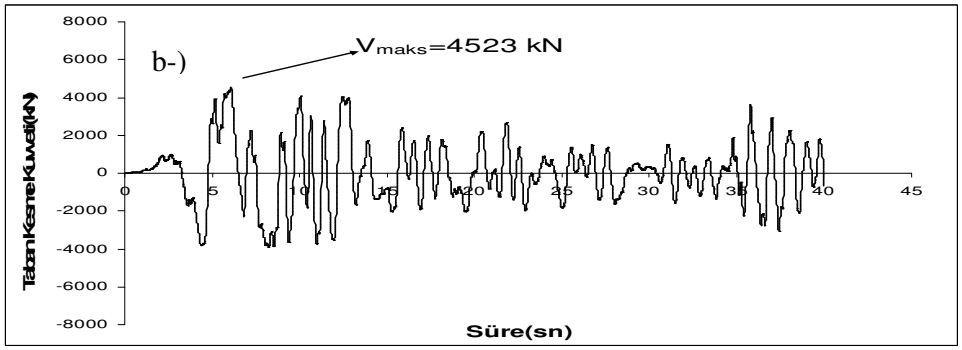


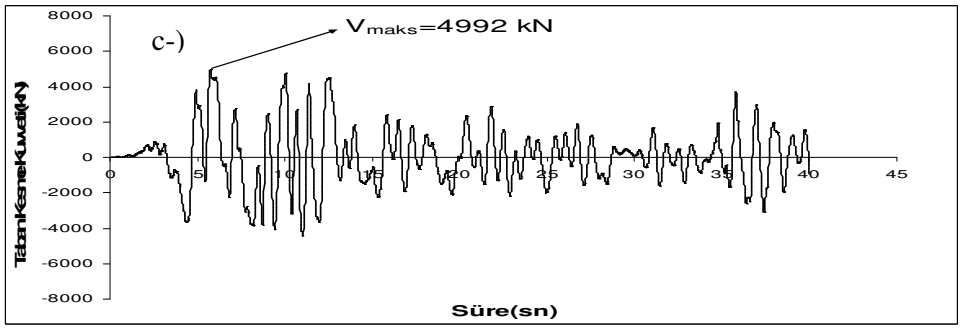
Şekil 5.24 Yarımca DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri.

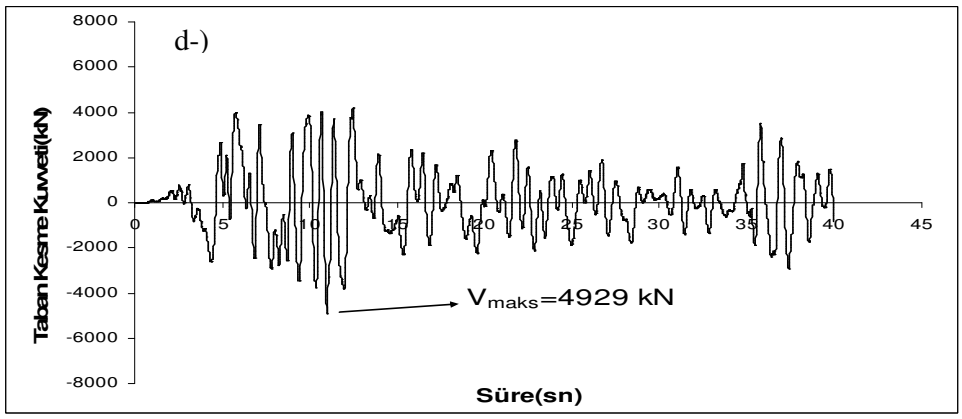
a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum

d-)Mimari durum

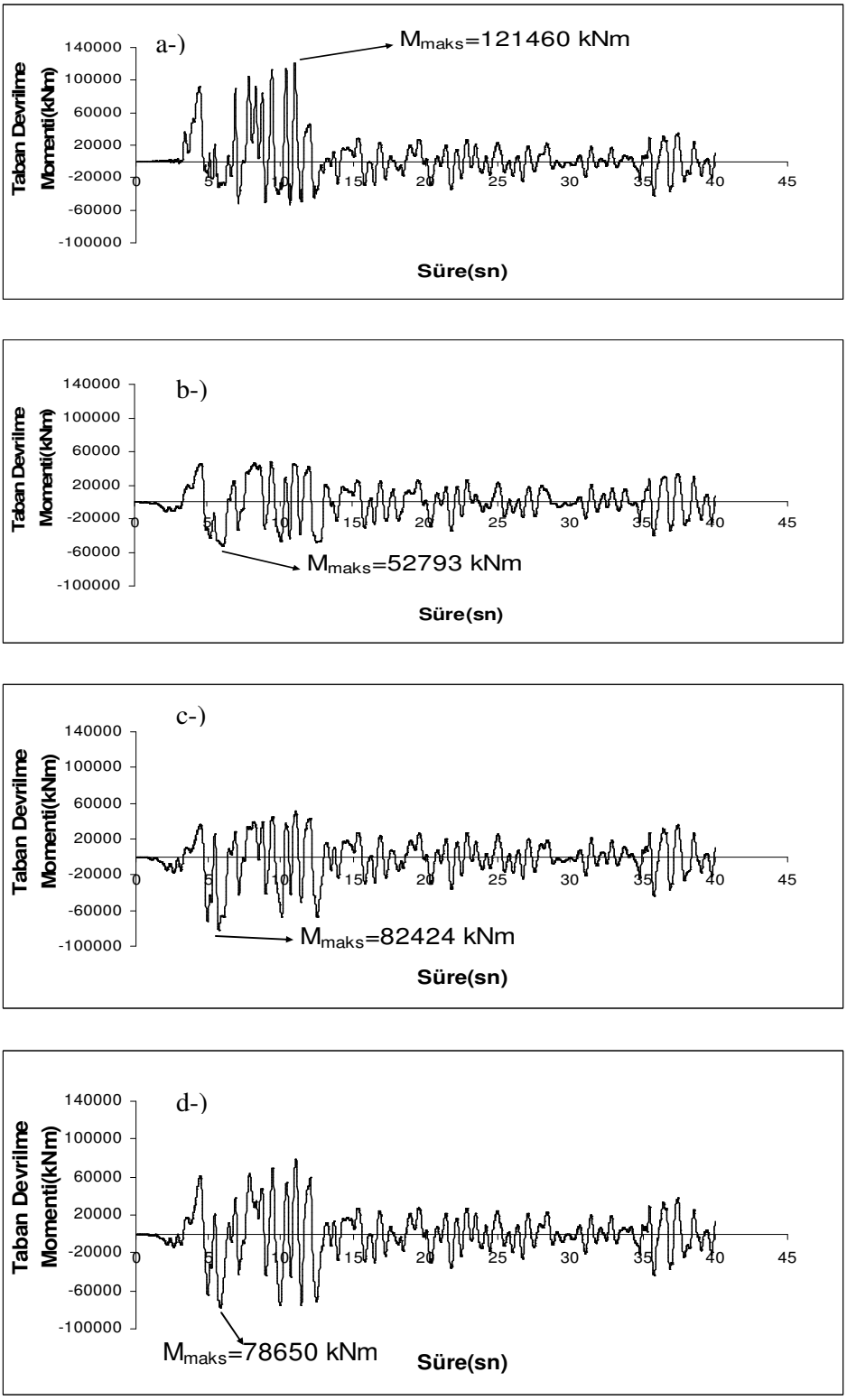








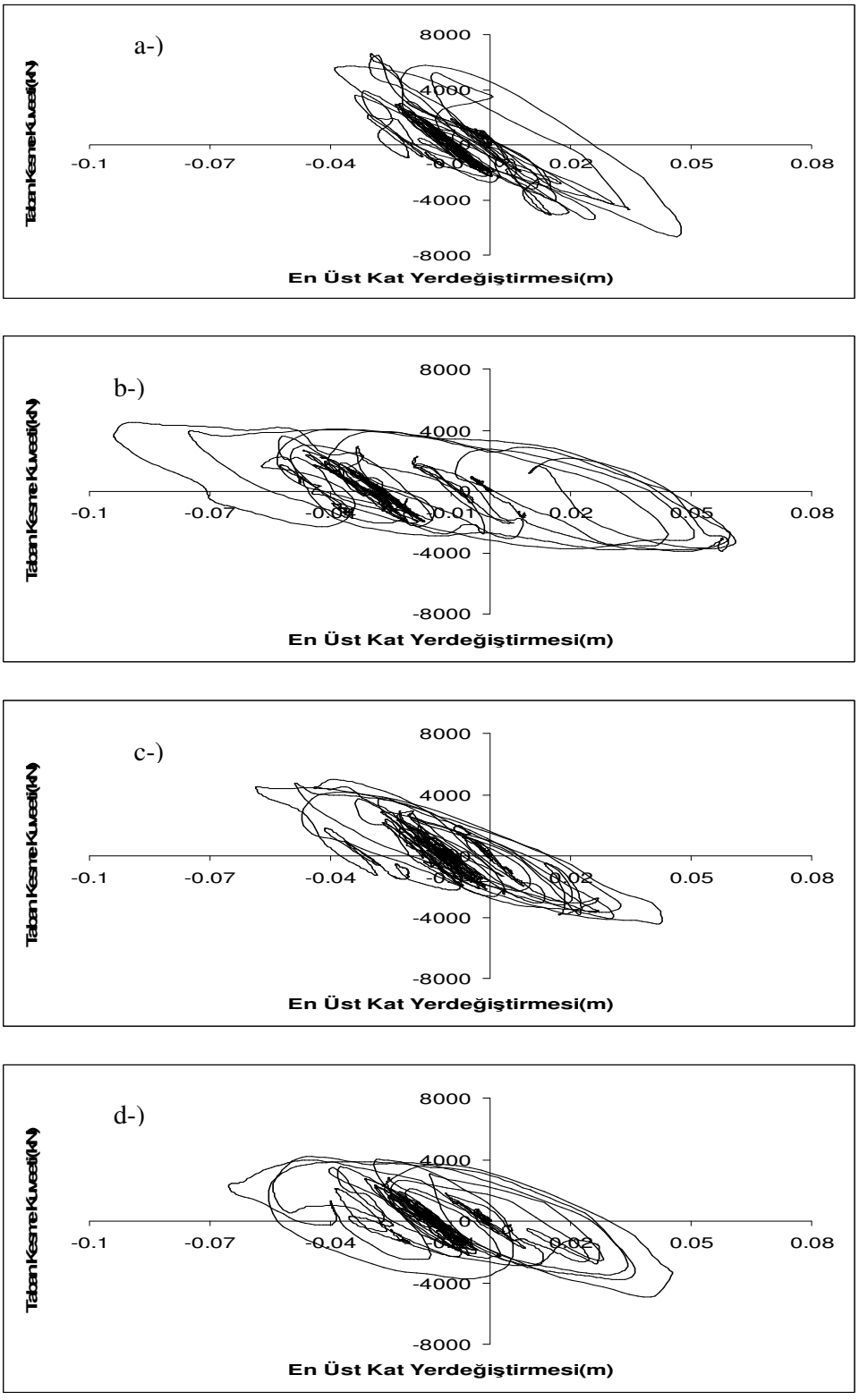
Şekil 5.25 Yarımca DB taban kesme kuvveti talebi değişimi a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 5.26 Yarımca DB taban devrilme momenti talebi değişimi

a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum

d-)Mimari durum

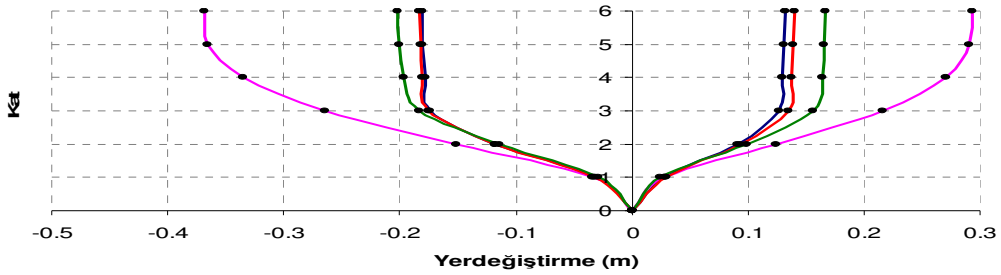


Şekil 5.27 Yarımca DB taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

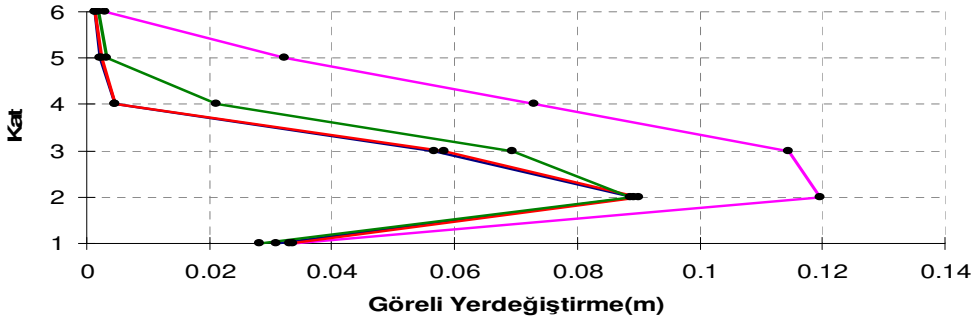
5.4. Yarımca DB(Arttırılmış) Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin 230 cm/sn^2 maksimum genliği 1.71 değeri(407/230=1.71)ile arttırılarak Yarımca kaydının DB(arttırılmış) bileşeni yapıya etkitilmiş ve sistem dolgu duvarların dört ayrı sistem için analizi yapılmıştır. Bu deprem kaydına ait yerdeğiştirme zarfı ve göreli kat ötelemeleri Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'da verilmiştir.

- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durum
- Yeşil→Mimari durum.

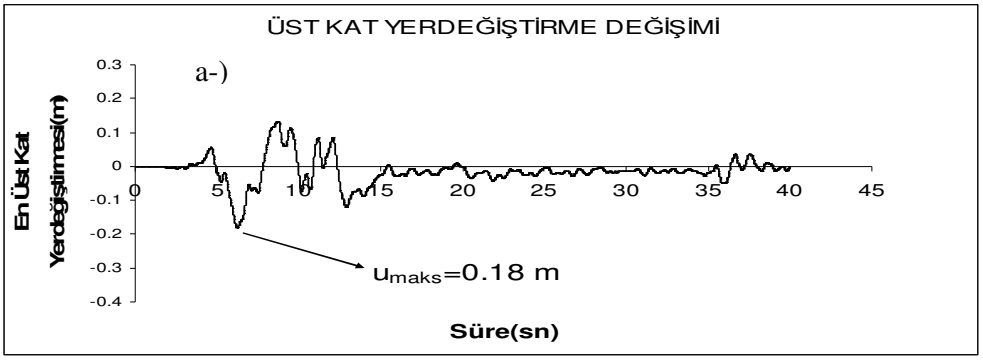


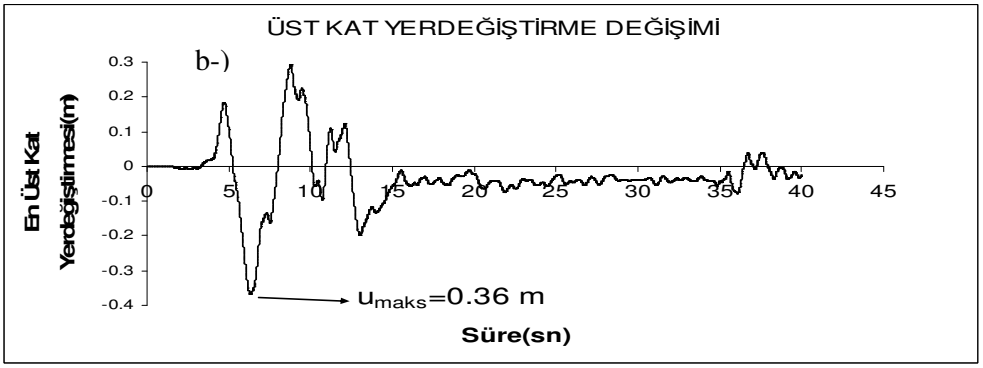
Şekil 5.28 Yarımca DB(arttırılmış) güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfı

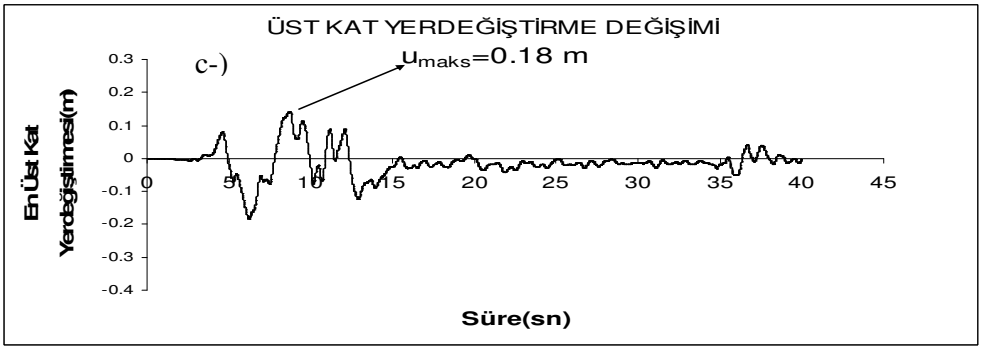


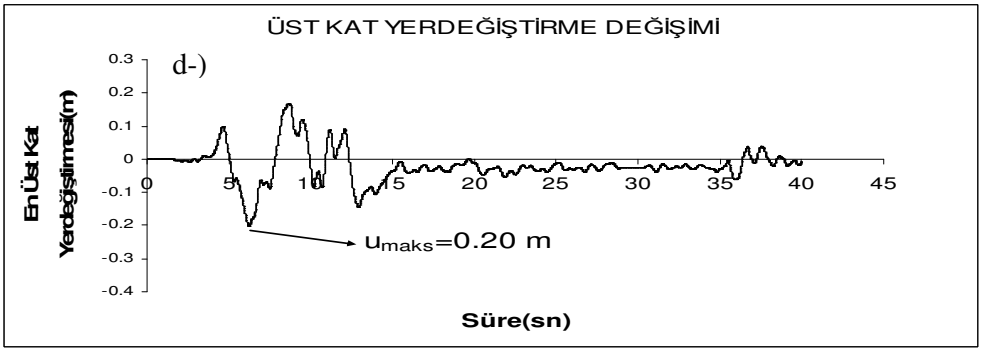
Şekil 5.29 Yarımca DB(arttırılmış) güçlendirme öncesi duruma ait göreli kat ötelemeleri

En üst kat yerdeğiştirme değişimi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi ve en üst kat yerdeğiştirmesi- taban kesme kuvveti talebi değişimleri Şekil5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de verilmiştir.

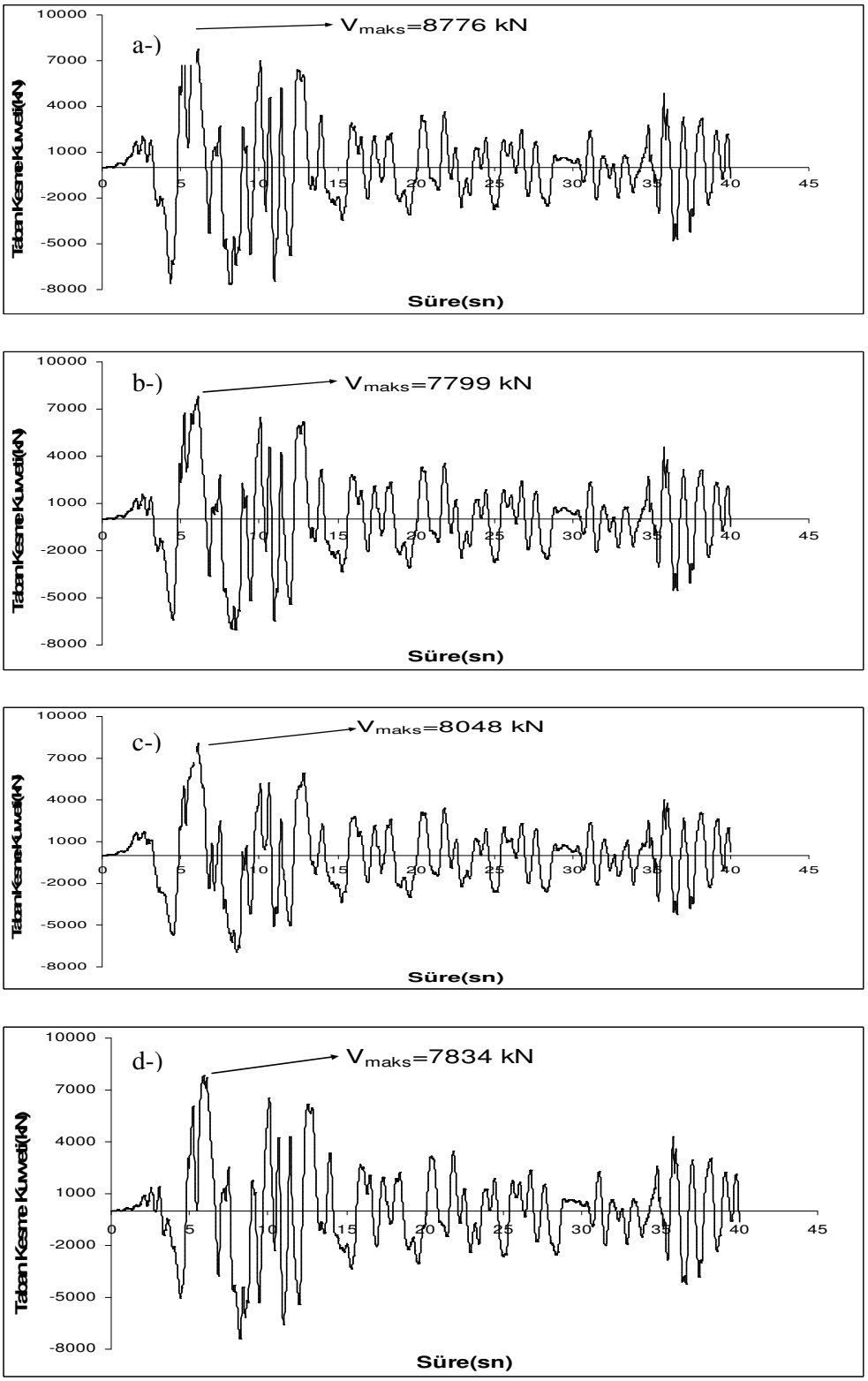






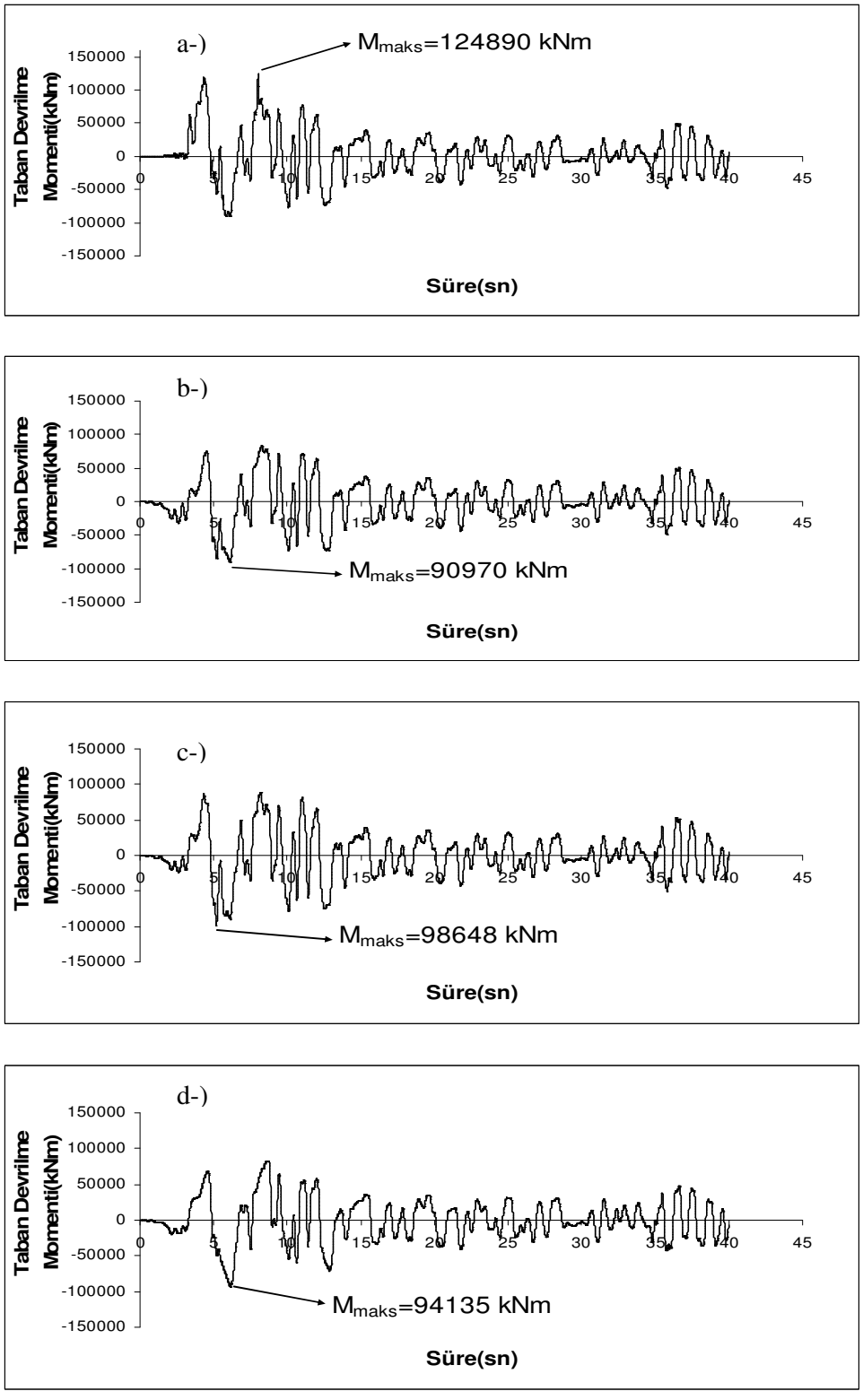


Şekil 5.30 Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



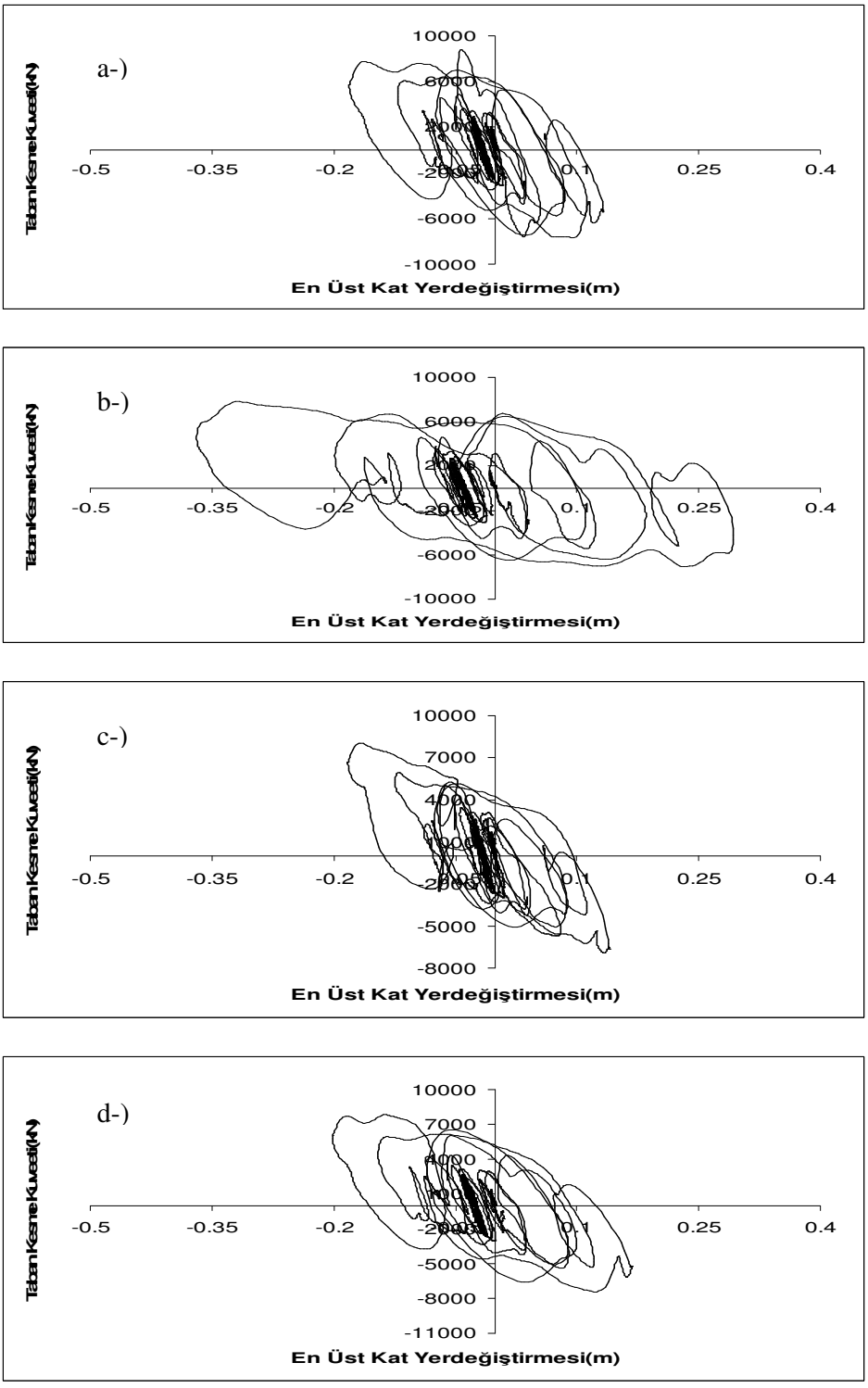
Şekil 5.31 Yarımca DB(arttırılmış) taban kesme kuvveti talebi değişimi

a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 5.32 Yarımca DB(arttırılmış) taban devrilme momenti talebi değişimi

a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

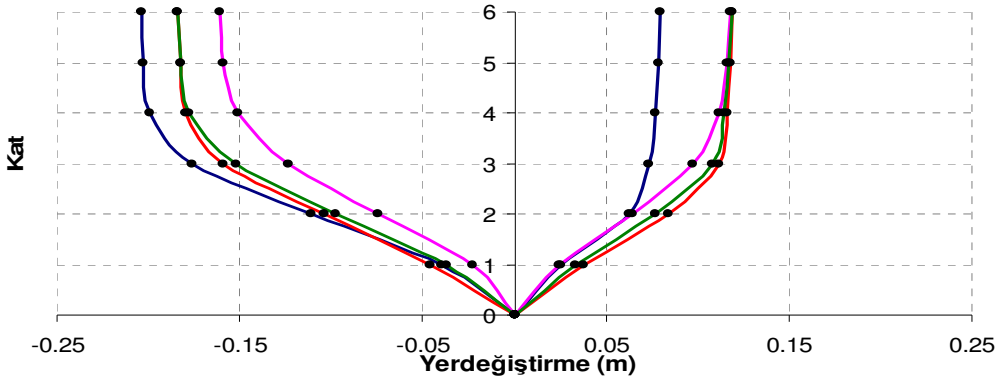


Şekil 5.33 Yarımca DB(arttırılmış) taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

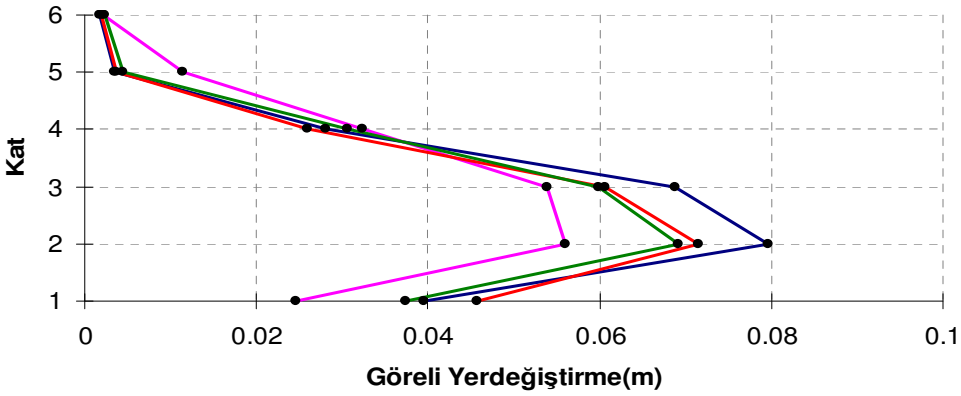
5.5. Bolu DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

12 Kasım 1999 Düzce depreminin 805 cm/sn^2 maksimum genliğinin Bolu DB kaydının bileşeni etkitilmiş ve dolgu duvarların dört ayrı sistem için analizi yapılmıştır. Bu deprem kaydına ait yerdeğiştirme zarfı ve göreli kat ötelemeleri Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'de verilmiştir;

- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durumu
- Yeşil→Mimari durum.

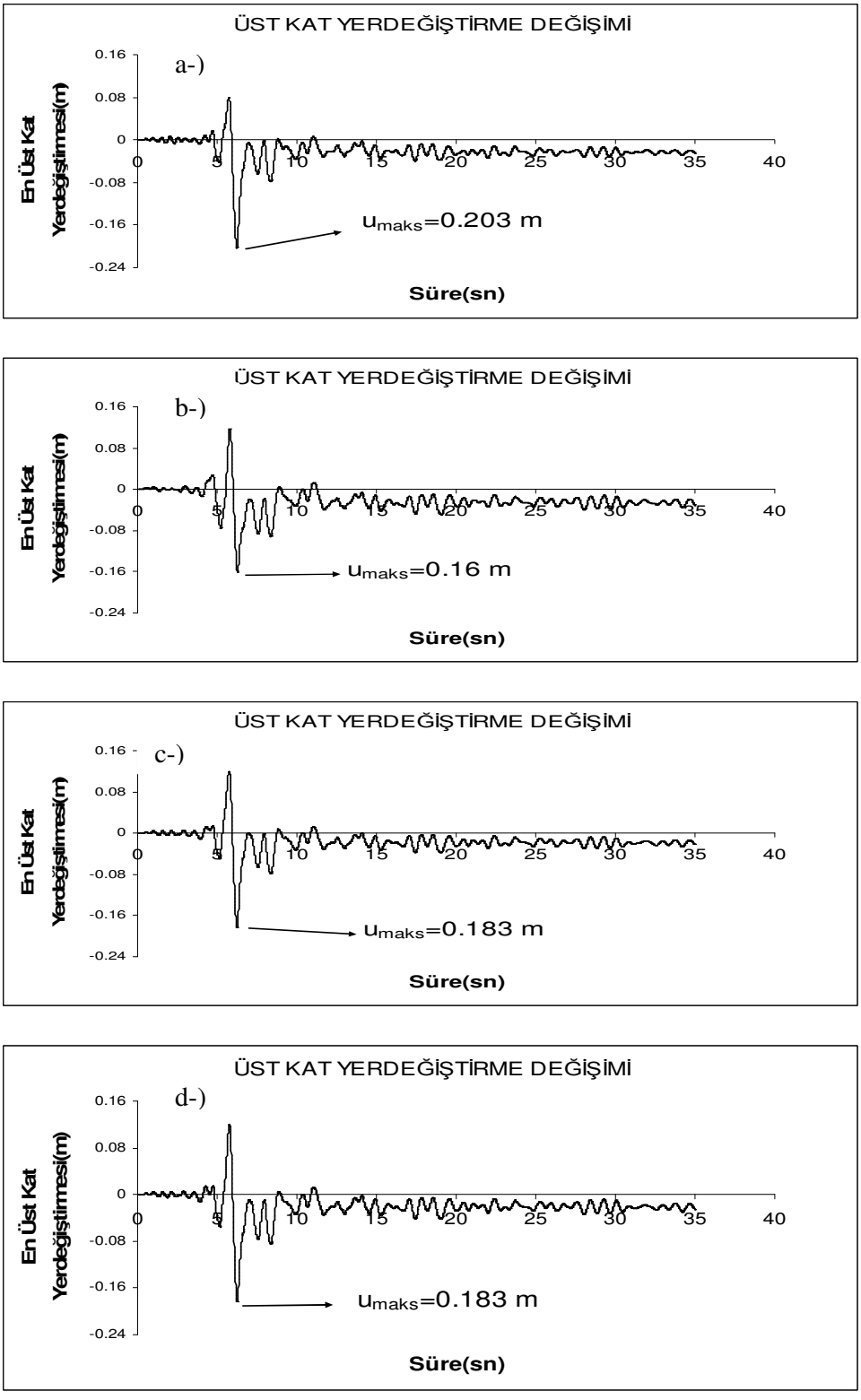


Şekil 5.34 Bolu DB güçlendirme öncesi duruma ait yerdeğiştirme zarfı



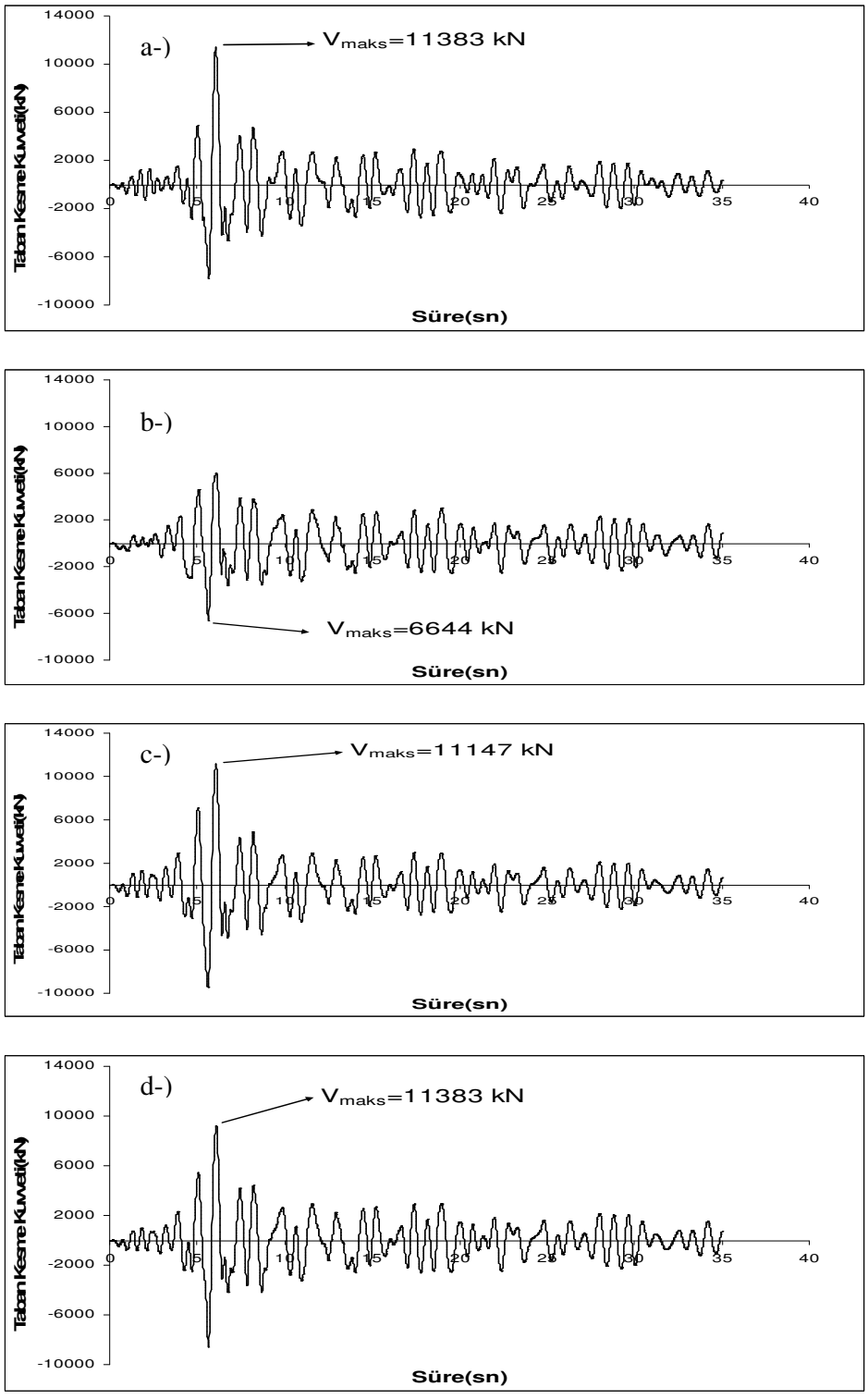
Şekil 5.35 Bolu DB güçlendirme öncesi duruma ait göreli kat ötelemeleri

En üst kat yerdeğiştirme değişimi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi ve en üst kat yerdeğiştirmesi- taban kesme kuvveti talebi değişimleri Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38 ve Şekil 5.39'da verilmiştir.

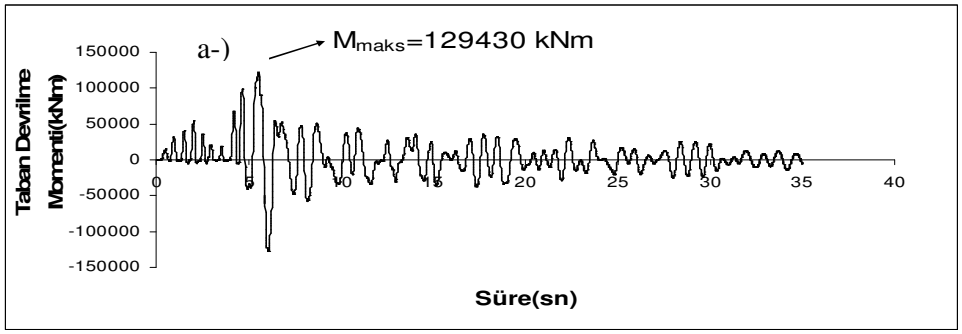


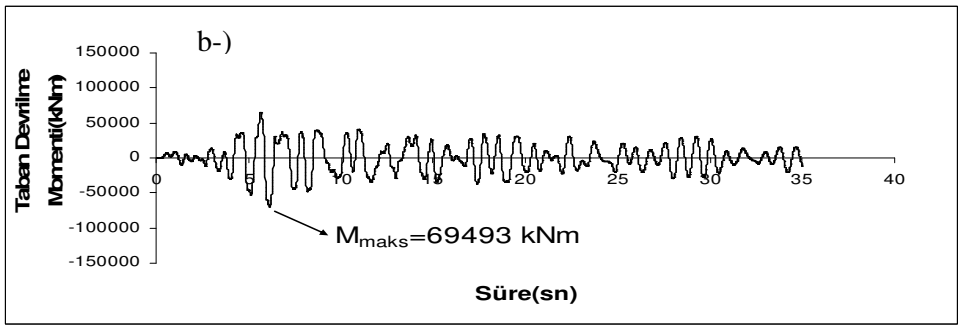
Şekil 5.36 Bolu DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri.

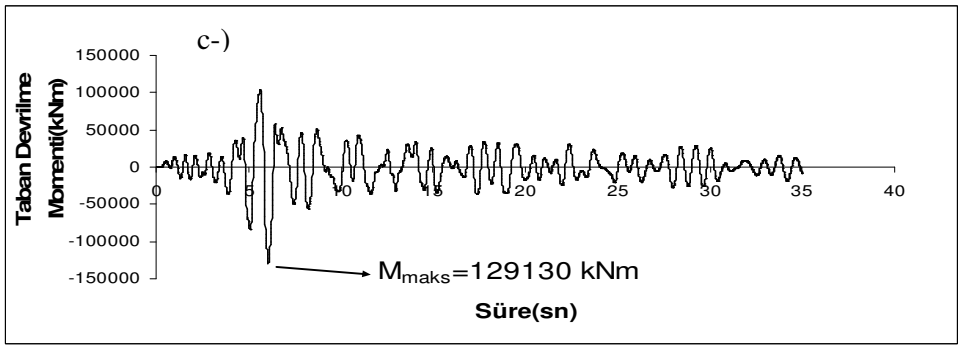
a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

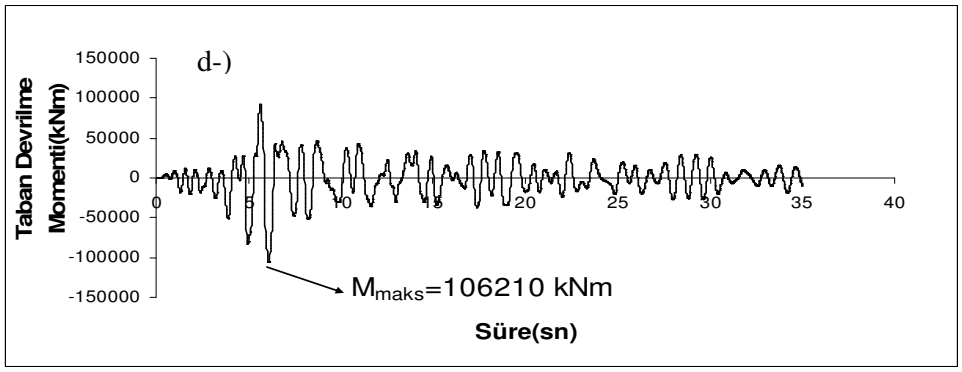


Şekil 5.37 Bolu DB taban devrilme momenti talebi değişimi a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum





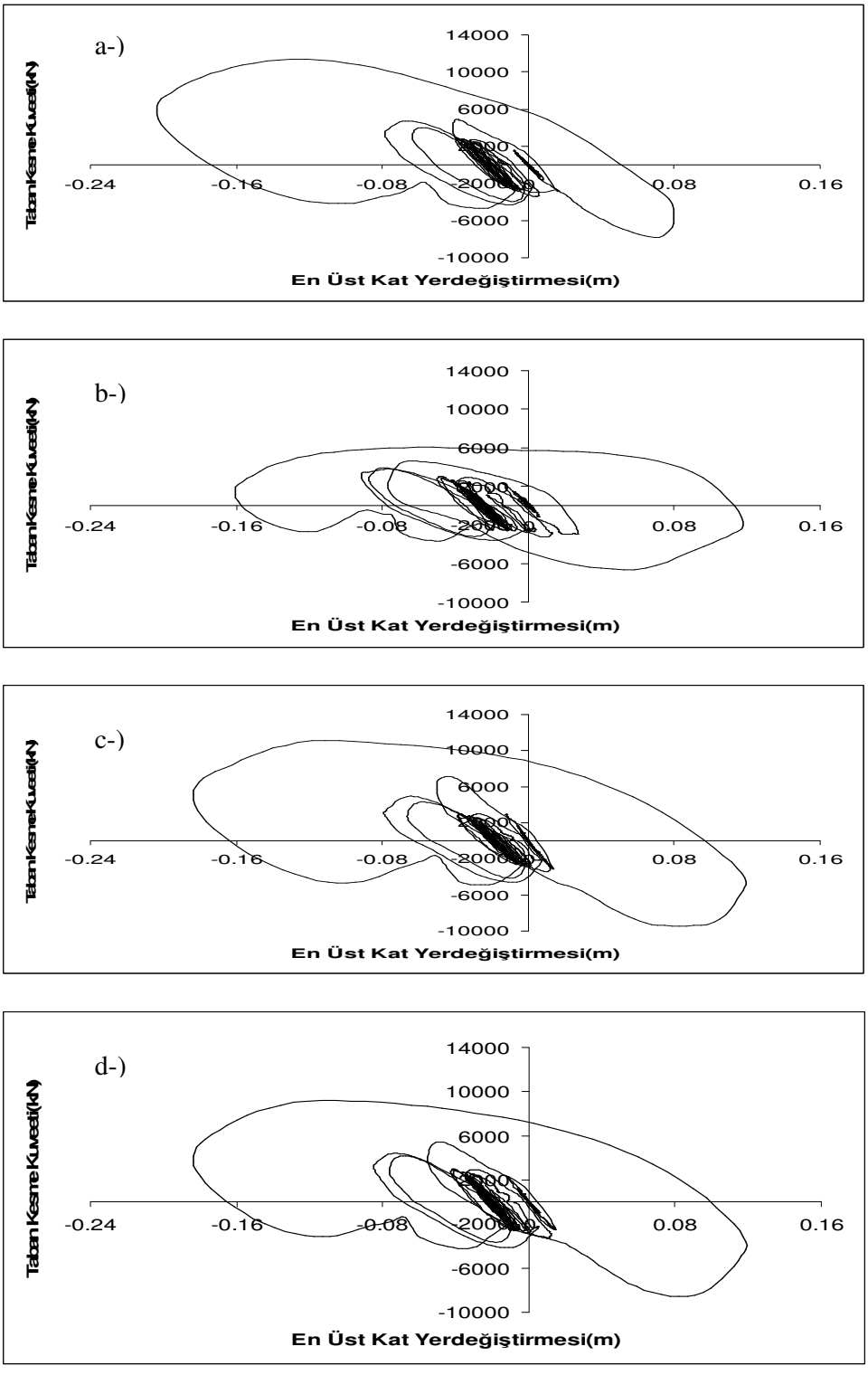




Şekil 5.38 Bolu DB taban devrilme momenti talebi değişimi

a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum

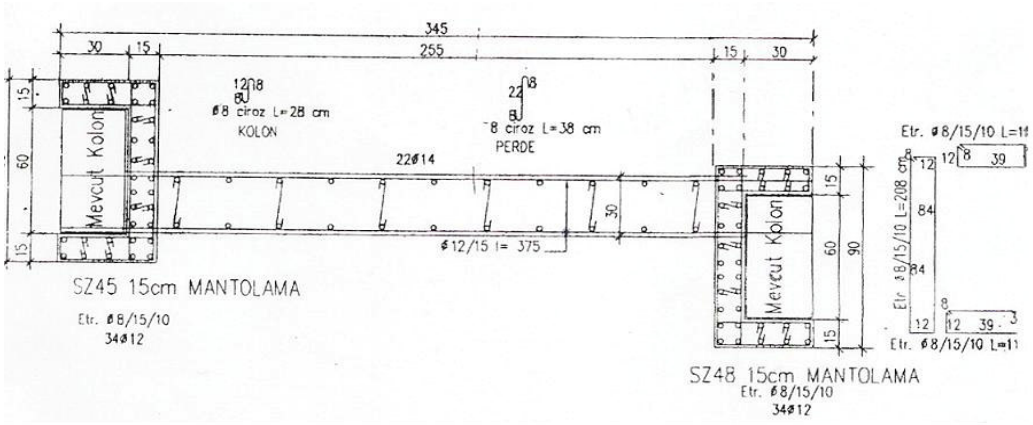
d-)Mimari durum



Şekil 5.39 Bolu DB taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

6. YAPININ GÜÇLENDİRME SONRASI DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ

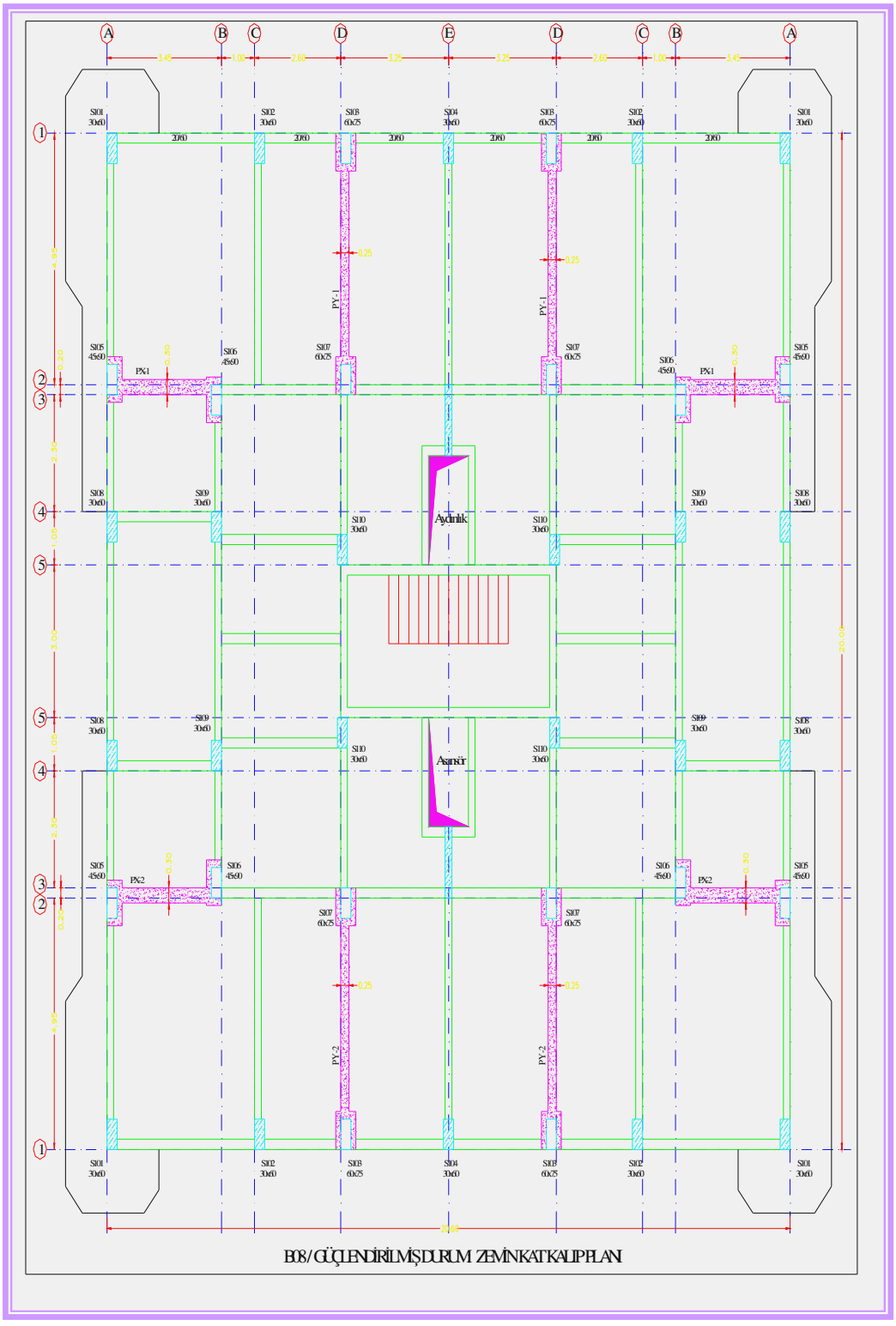
Güçlendirme işleminde yapıya Şekil 6.2'de görüldüğü üzere her iki doğrultuda dörder adet perde eklenmiştir. Malzeme olarak C30 (BS 30) betonu ve S420 (BÇ III) çeliği kullanılmıştır. Perdeye ait donatı planı Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Güçlendirme işlemiyle birlikte güçlendirme öncesi durumdaki farklı rijitlik ve enkesit özelliklerine sahip eleman sayıları da artmıştır. Ayrıca perdelere bağlanan kirişlerin uçlarındaki rijit olan bölgeler de belirtilerek plastik mafsalların bu bölgelerin dışında oluşması sağlanmıştır. Dolgu duvarların güçlendirme öncesi yapıya olan etkilerini incelemek için her deprem kaydında 4 farklı sistem ele alınmıştır. Modellenen sistemlerin ilk altı moduna ait sönümsüz serbest titreşim periyotları Tablo 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1 Perdelerin donatı düzeni

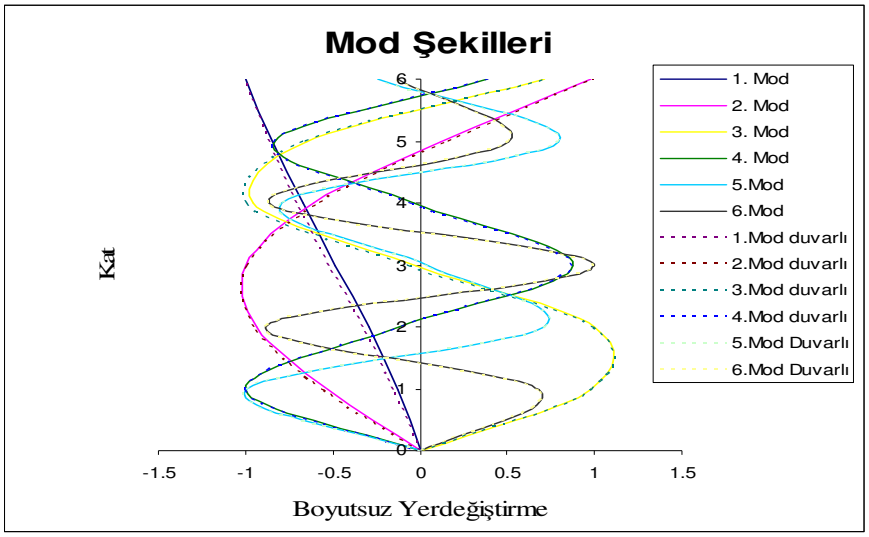
Tablo 6.1 Güçlendirme Sonrası Yapının Serbest Titreşim Periyotları

Periyot(sn)	Duvarsız	Duvarlı	İlk Kat. Duv. Yok	Mimari
T_1	0.374	0.308	0.313	0.328
T_2	0.093	0.082	0.083	0.085
T_3	0.037	0.035	0.035	0.036
T_4	0.019	0.018	0.018	0.018
T_5	0.011	0.011	0.011	0.011
T_6	0.008	0.008	0.008	0.008



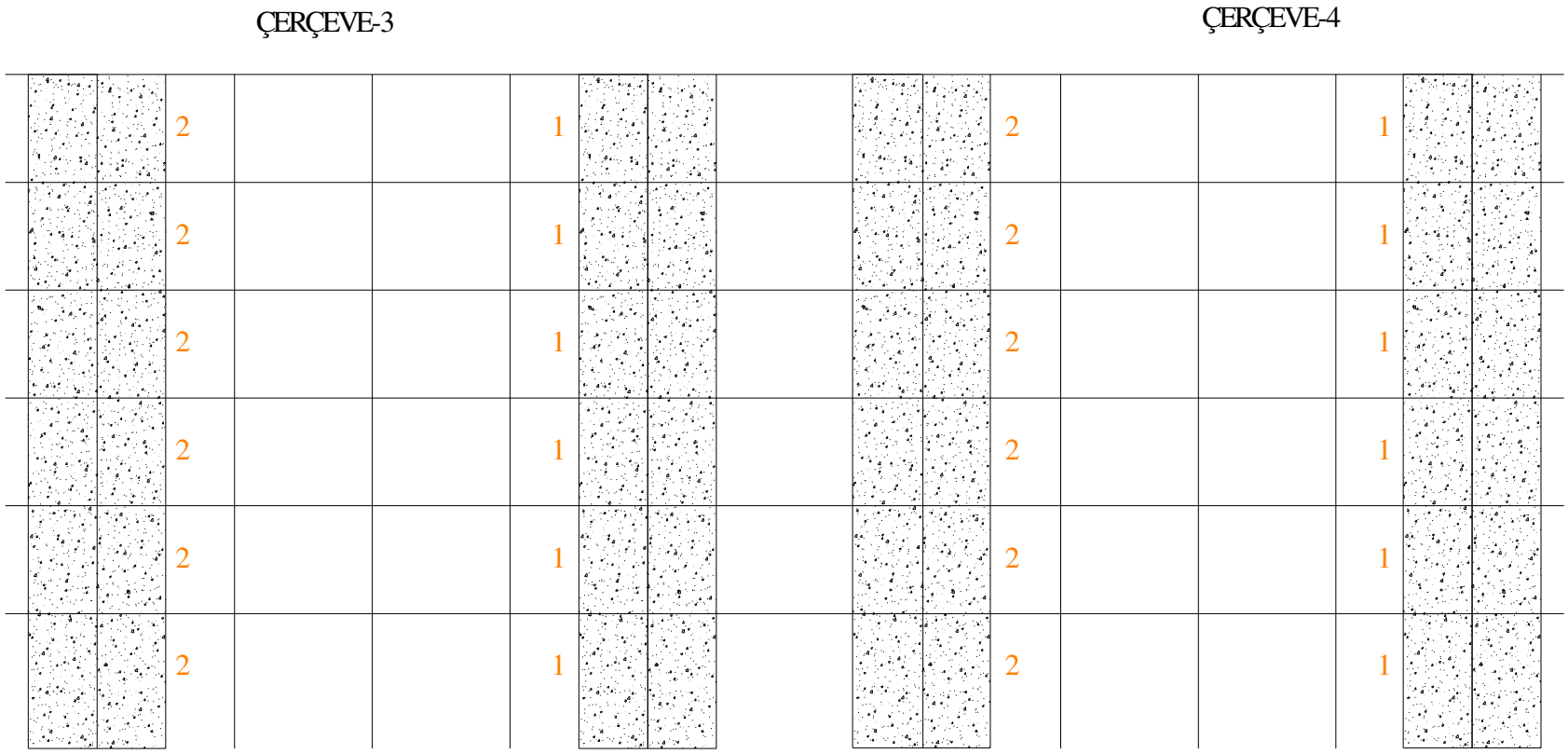
Şekil 6.2 Örnek B08 binasının güçlendirme sonrası zemin kat kalıp planı

Güçlendirme sonrası yapının duvarlı ve duvarsız durumlarına ait Mod Şekilleri Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3 Duvarlı ve Duvarsız duruma ait mod şekilleri

Bağlantı elemanlarıyla birbirine bağlanan ve perdelerin yerleştirildiği sistem Şekil 6.4 de gösterilmiştir.

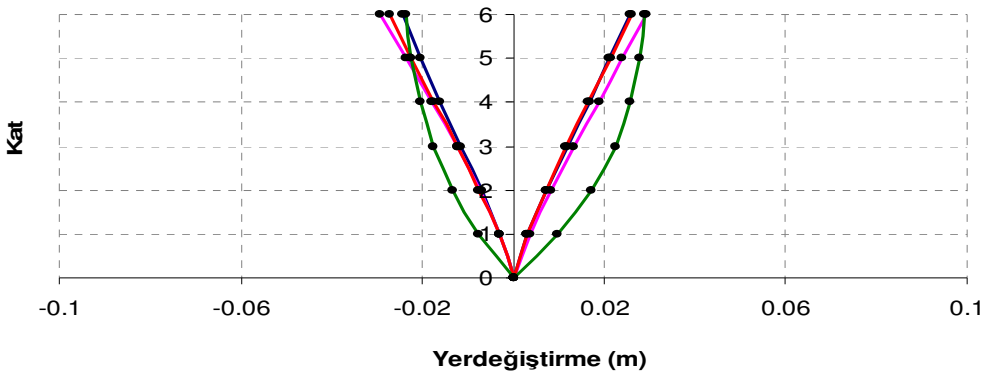


Şekil 6.4 Perdelerin eklendiği çerçevenin Drain programında kullanılacak olan iki boyutlu görüntüsü

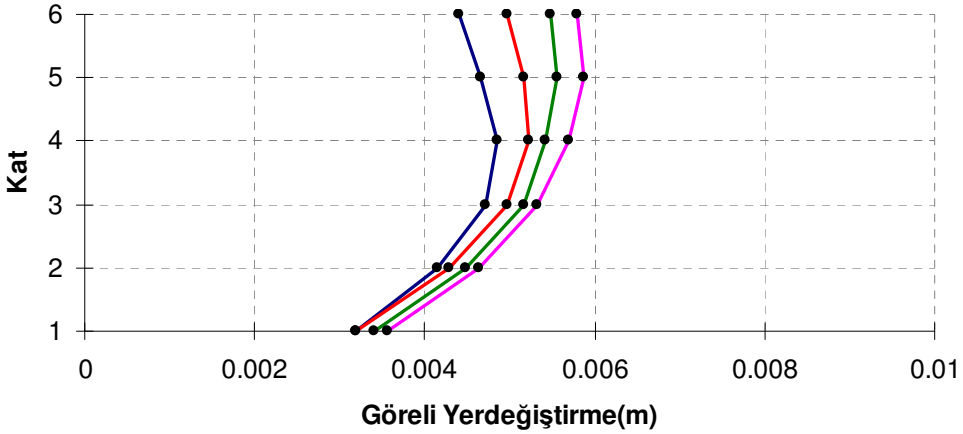
6.1. Güçlendirme Sonrası Sakarya DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

Sakarya DB deprem kaydının güçlendirme sonrası durum için elde edilen yerdeğiştirmeler, göreli kat ötelemesi, en üst kat yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi ile en üst kat yerdeğiştirmesi- taban kesme kuvveti talebi değişimleri Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 da verilmiştir:

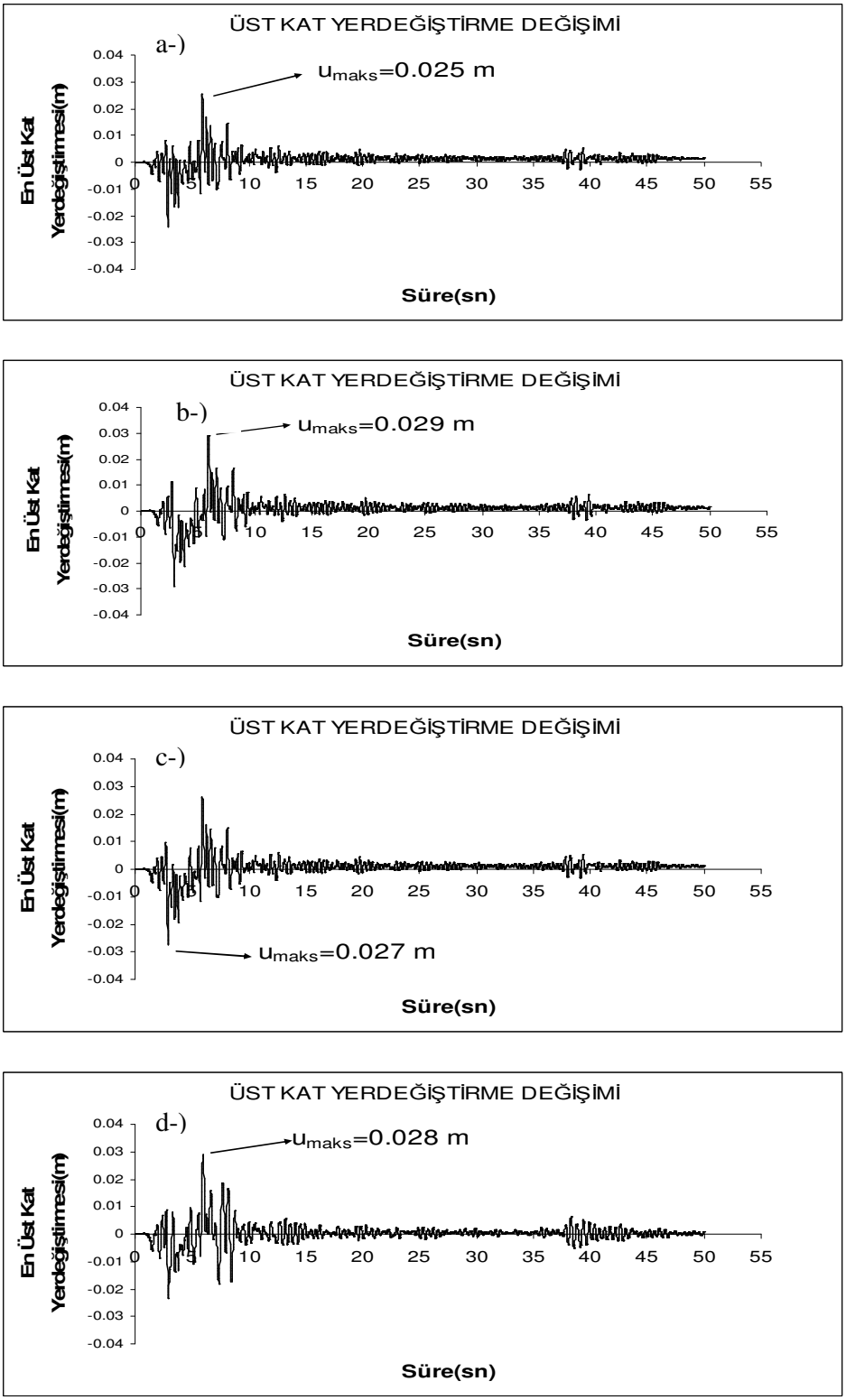
- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durum
- Yeşil→Mimari durum.



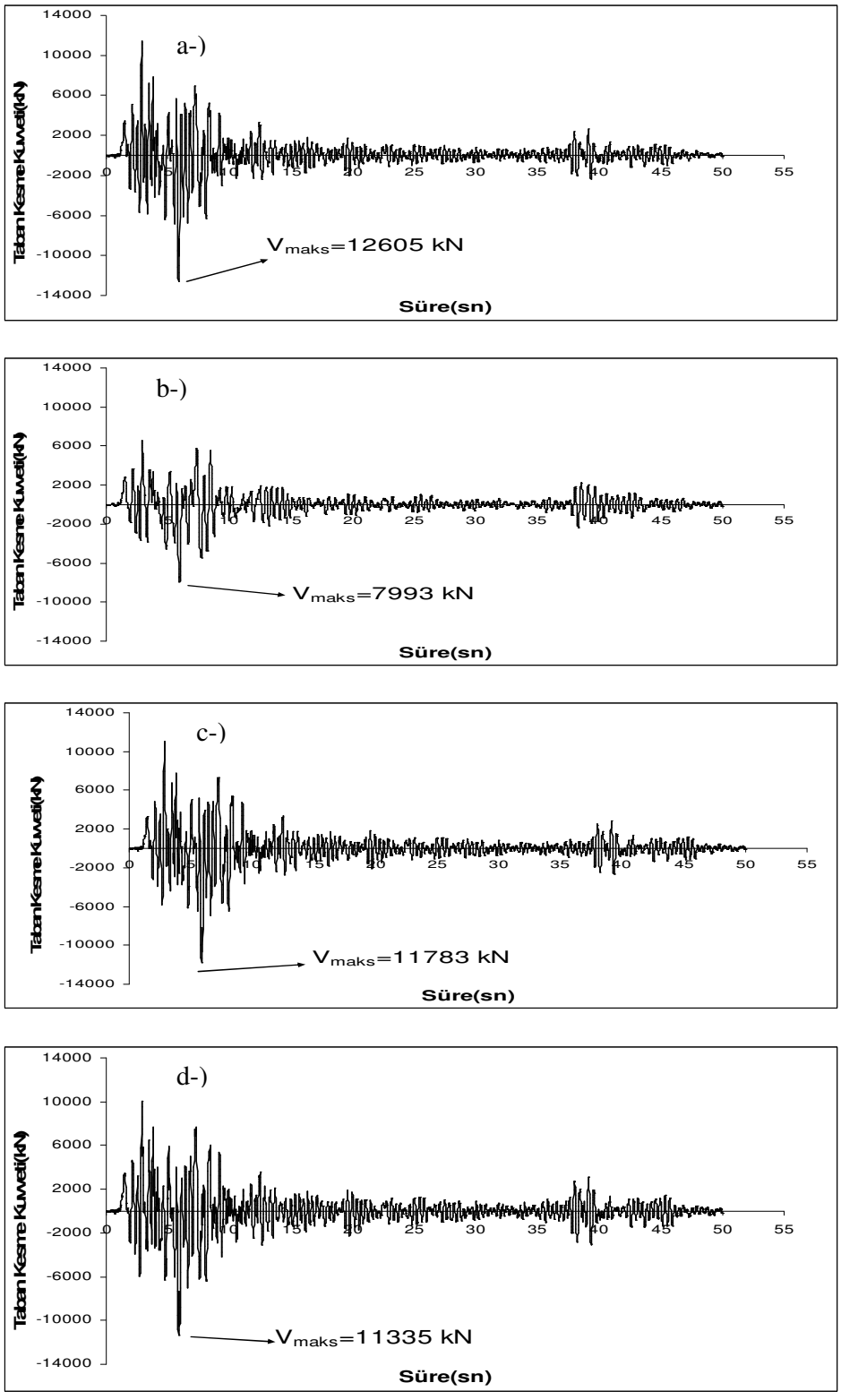
Şekil 6.5 Sakarya DB güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı



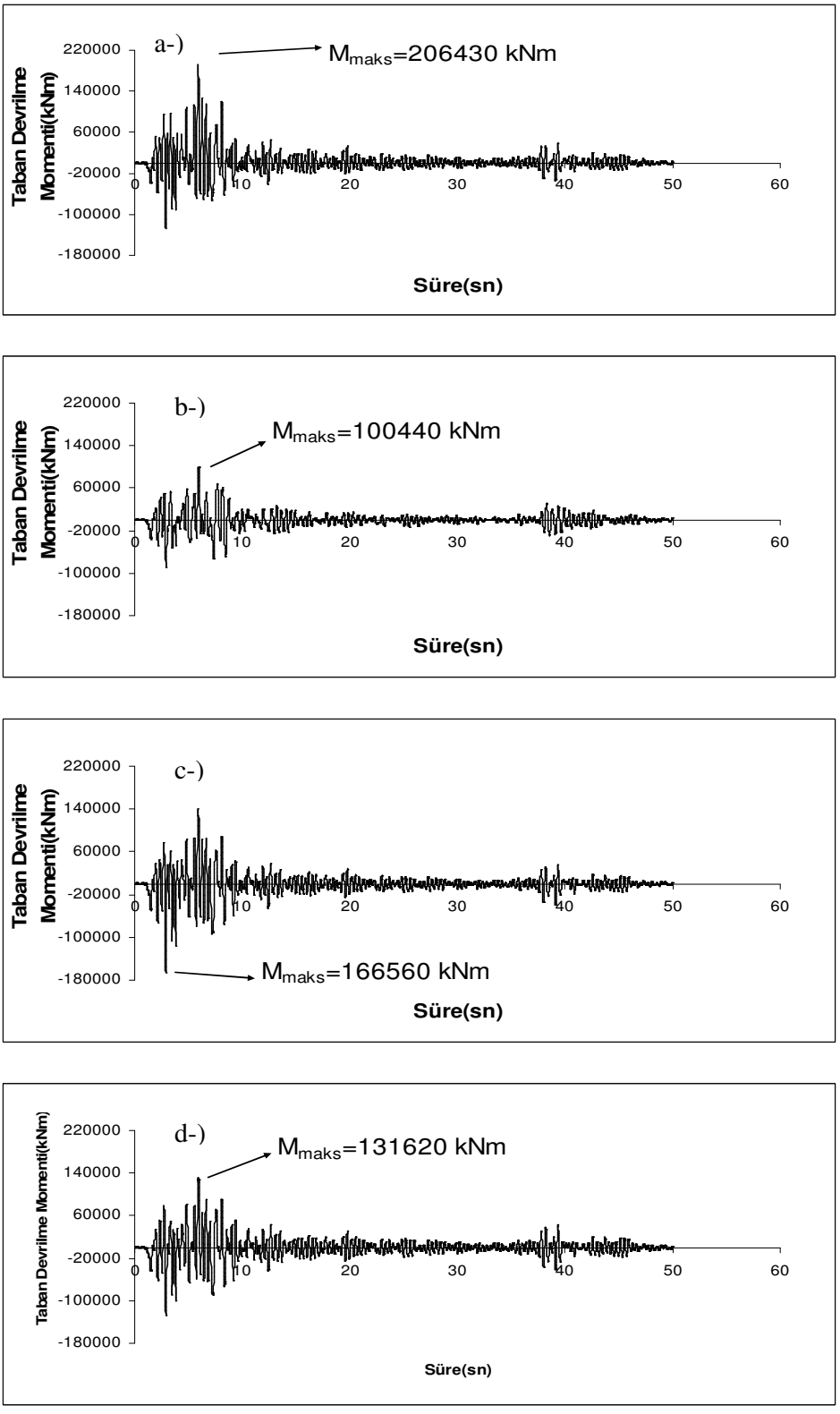
Şekil 6.6 Sakarya DB güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri



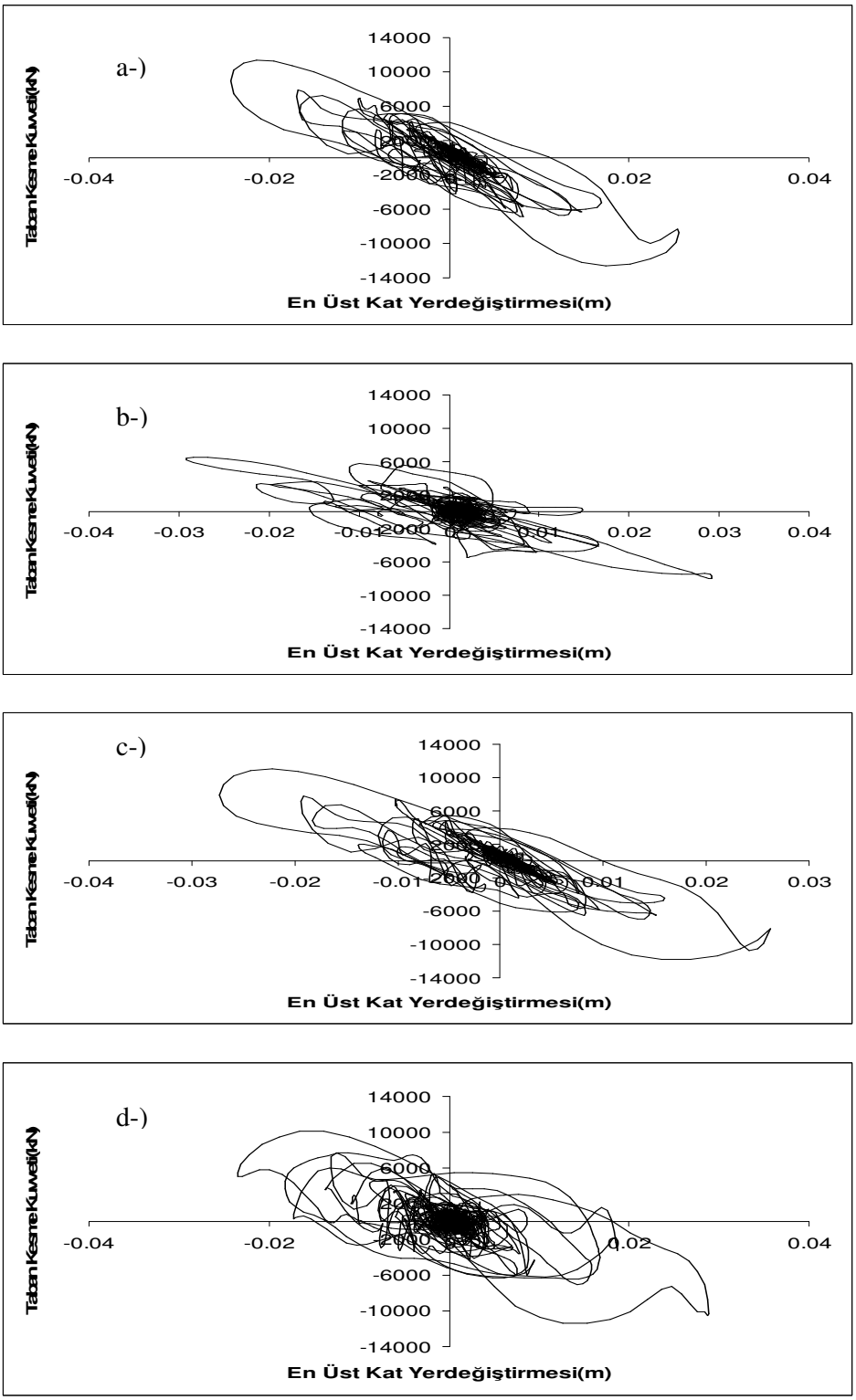
Şekil 6.7 Güçlendirme sonrası Sakarya DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 6.8 Güçlendirme sonrası Sakarya DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 6.9 Güçlendirme sonrası Sakarya DB kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

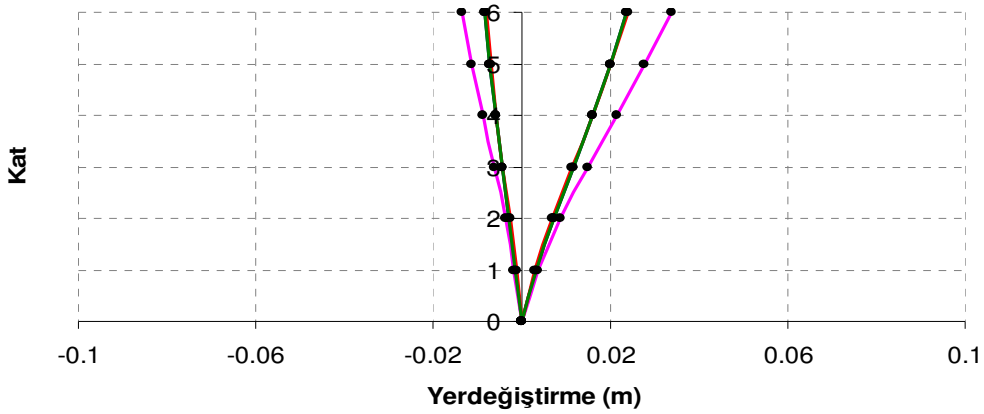


Şekil 6.10 Güçlendirme sonrası Sakarya DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi - en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

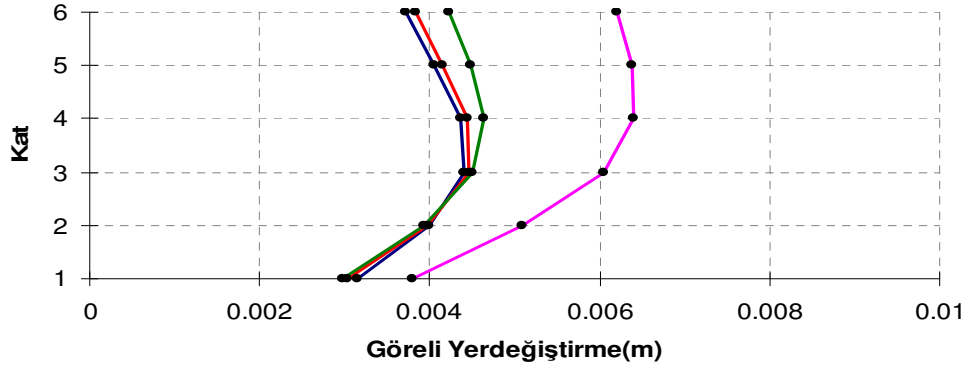
6.2. Güçlendirme Sonrası Yarımca KG Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

Yarımca KG deprem kaydının güçlendirme sonrası durum için elde edilen yerdeğiştirmeler, göreli kat ötelemesi, en üst kat yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi, en üst kat yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti talebi değişimleri ve plastik mafsalların dağılımı Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de verilmiştir;

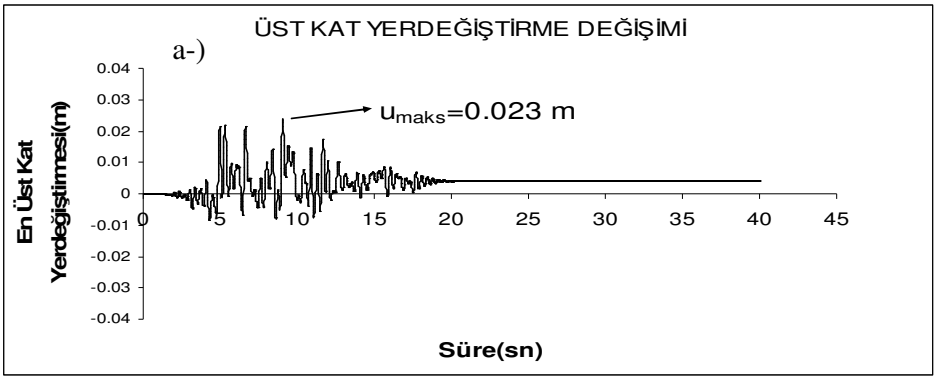
- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durum
- Yeşil→Mimari durum.

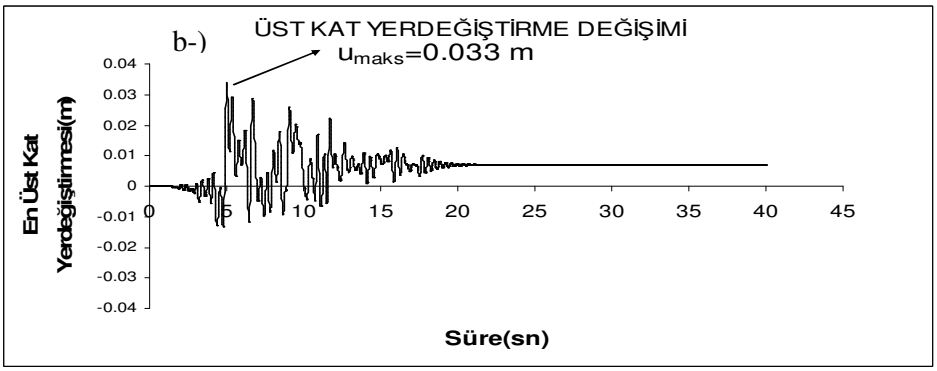


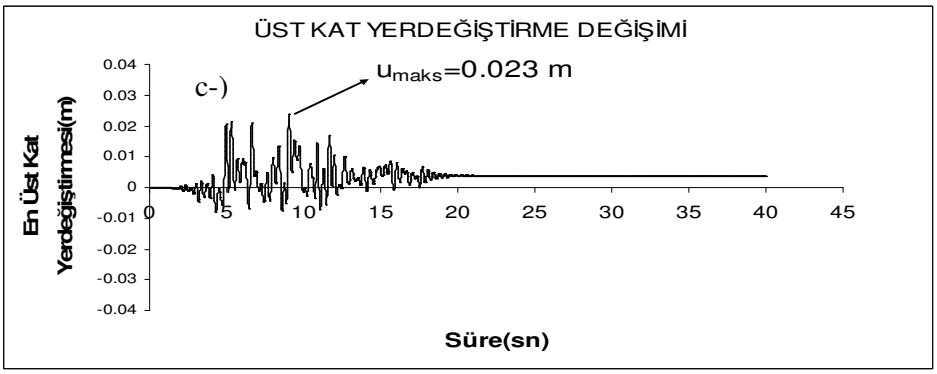
Şekil 6.11 Yarımca KG güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı

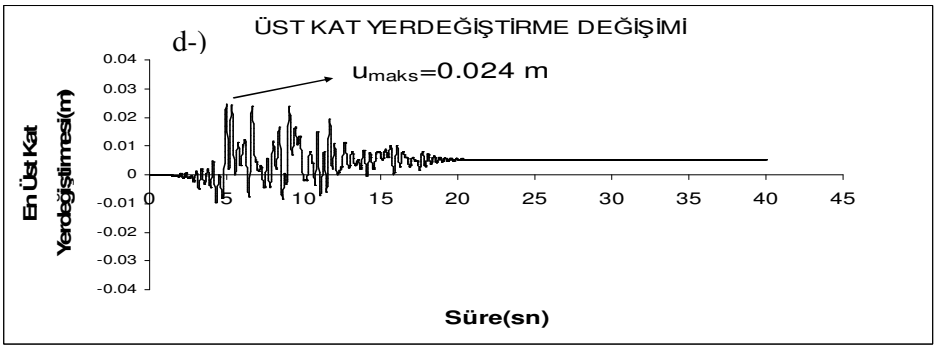


Şekil 6.12 Yarımca KG güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri

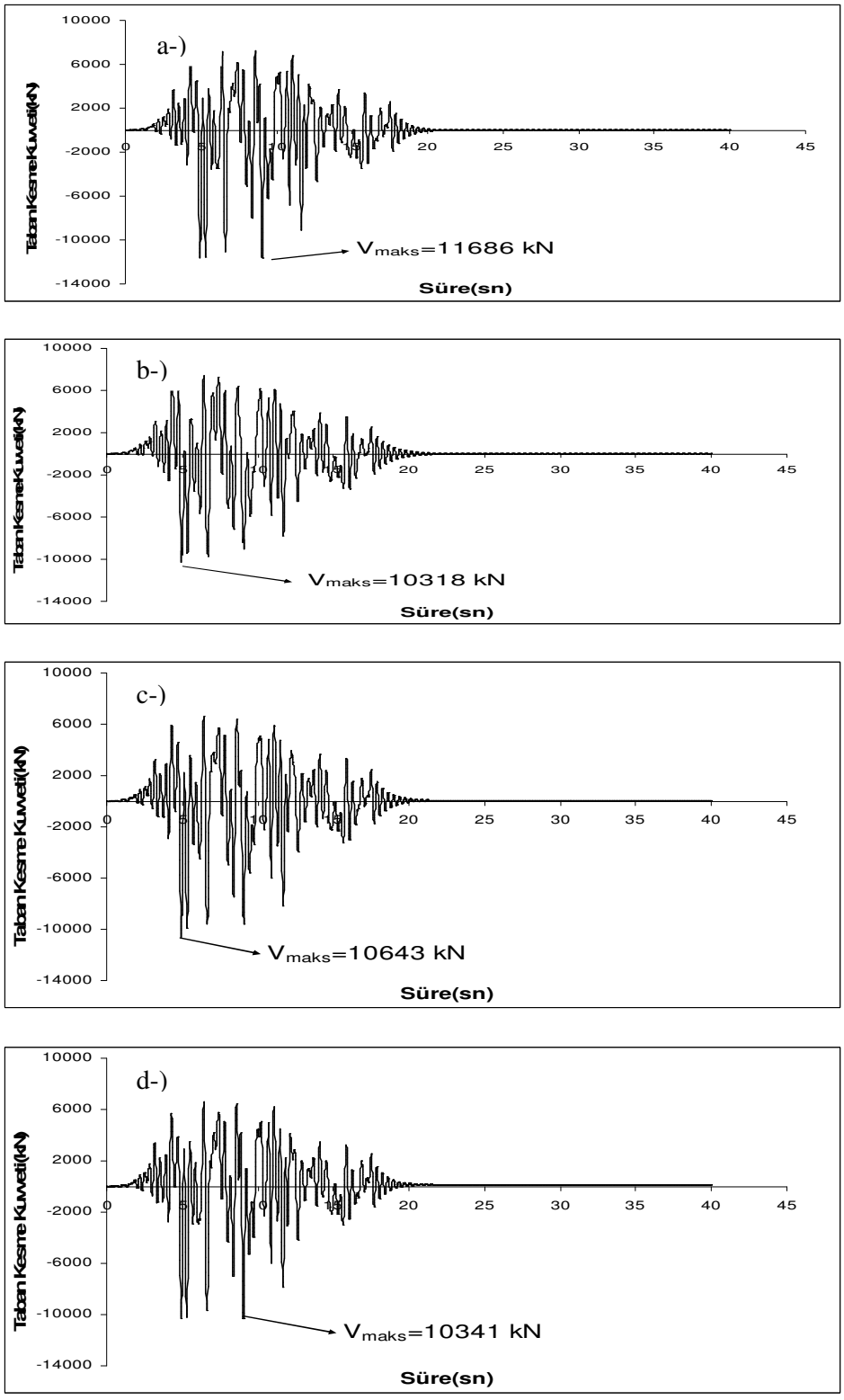




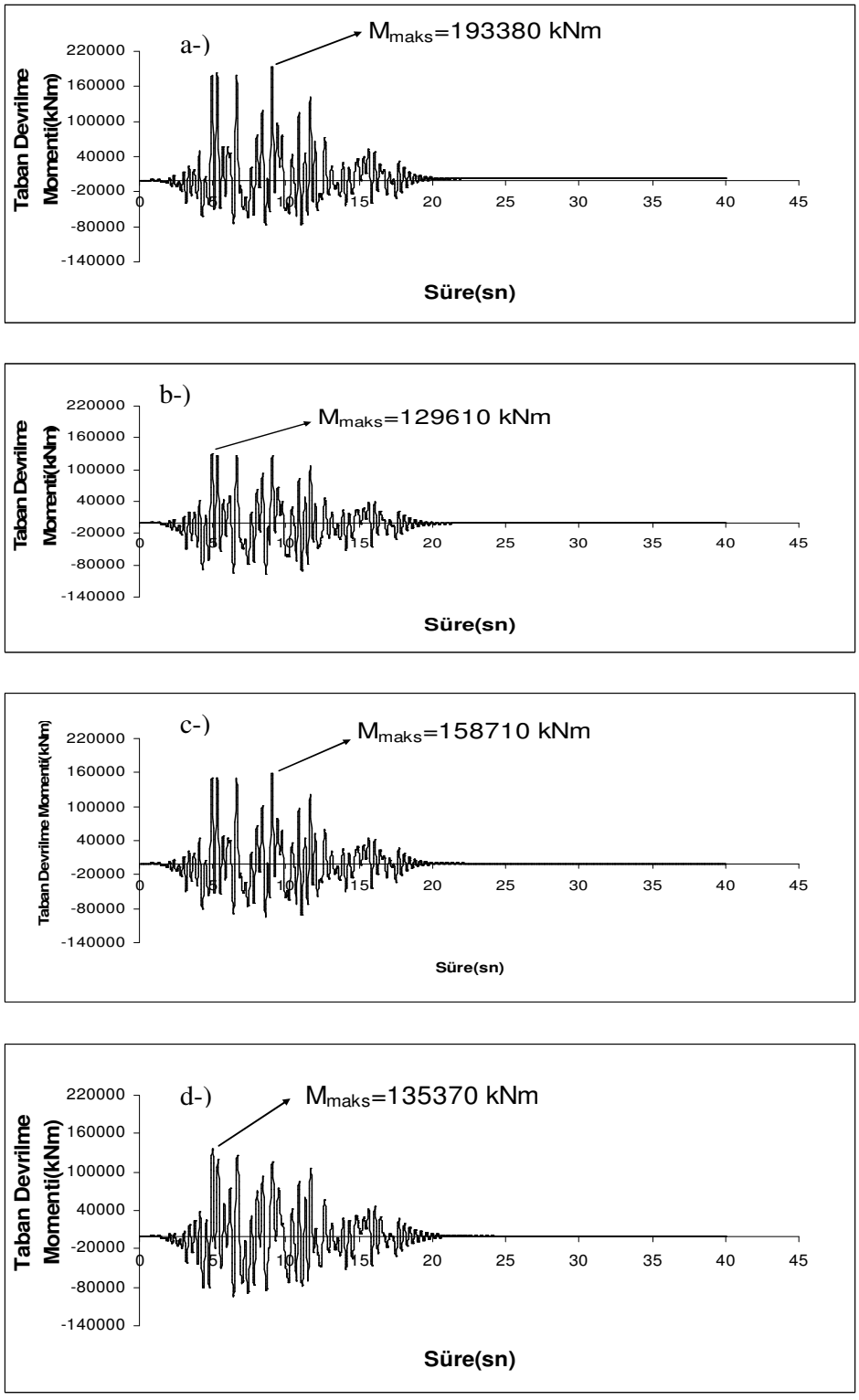




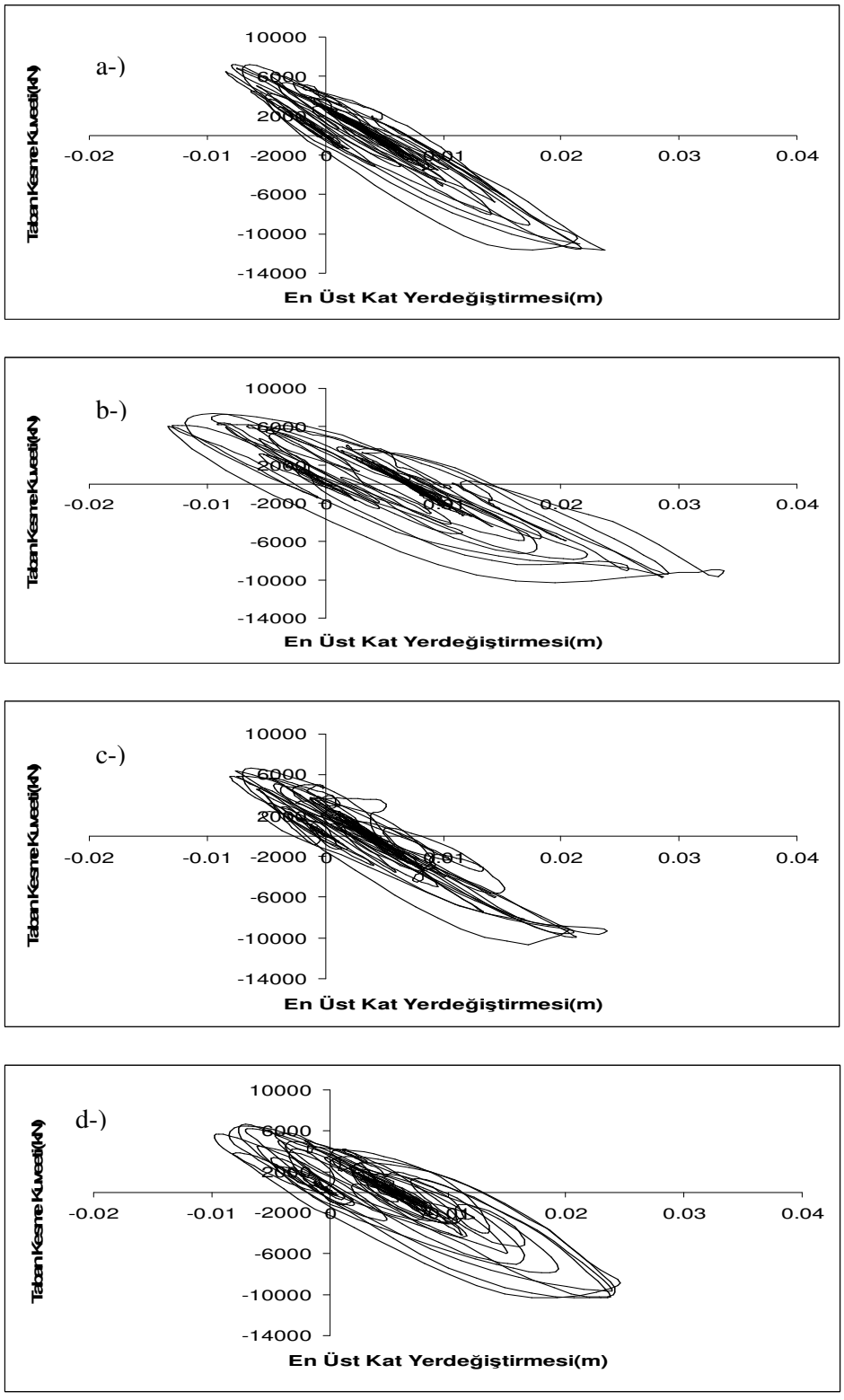
Şekil 6.13 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



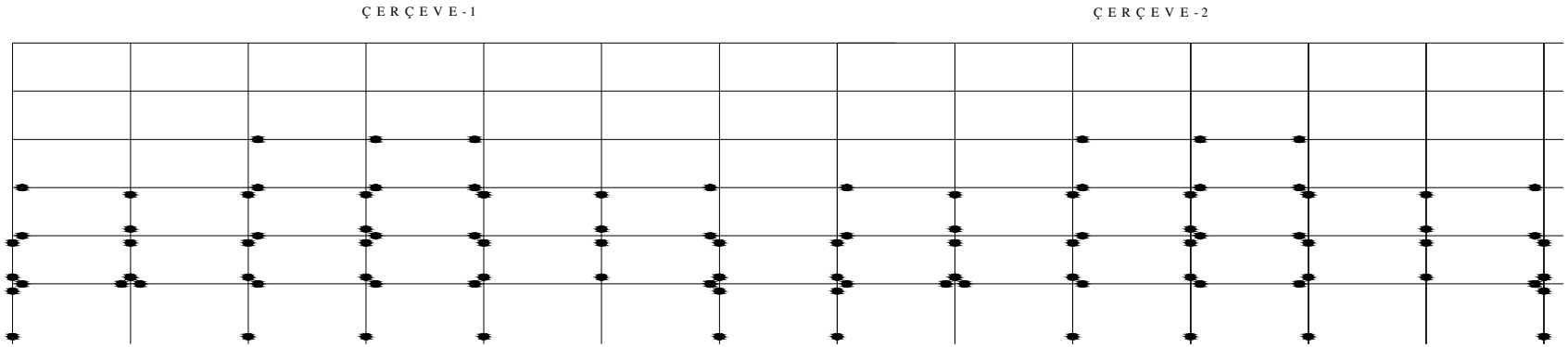
Şekil 6.14 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



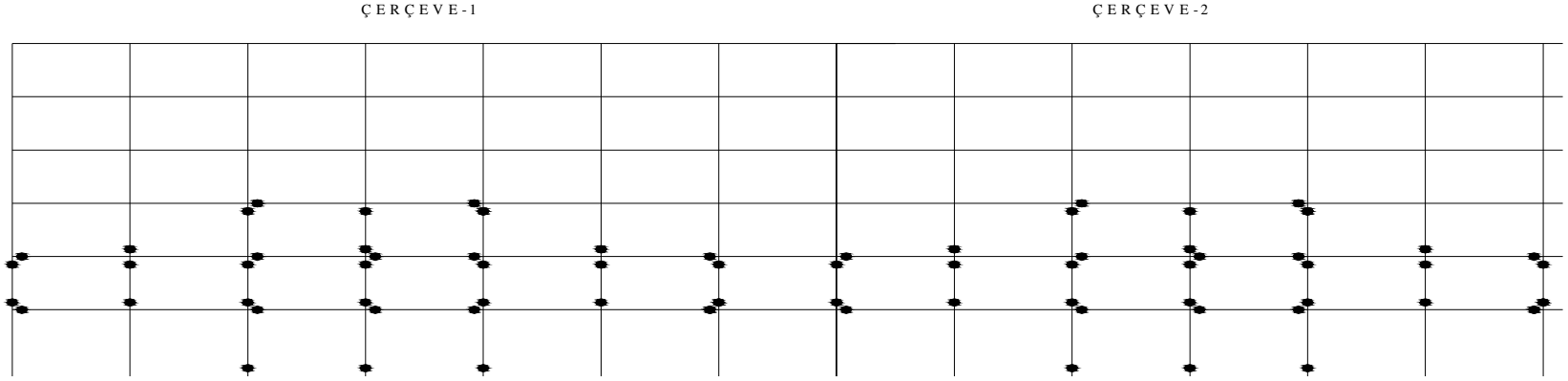
Şekil 6.15 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



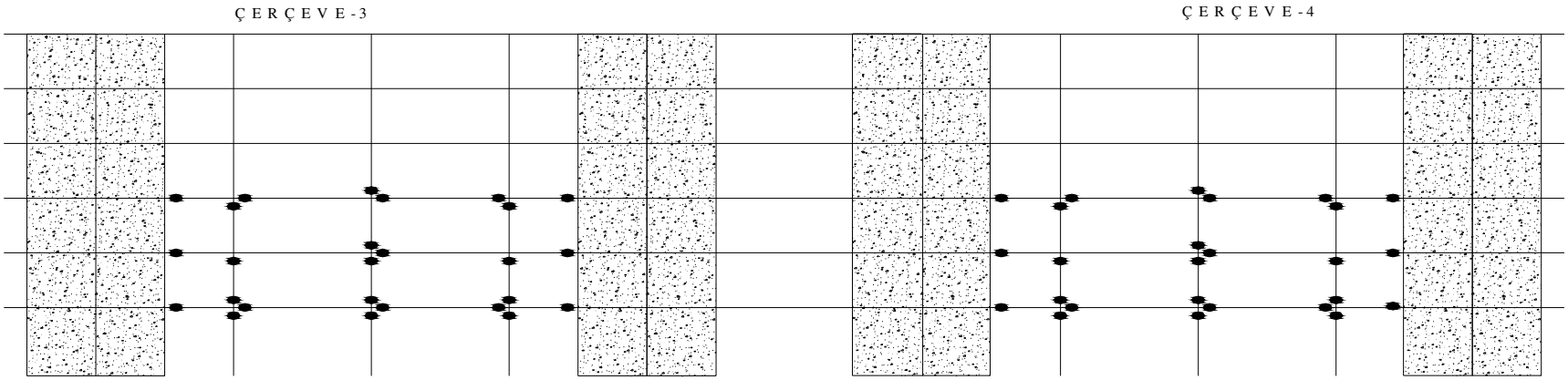
Şekil 6.16 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



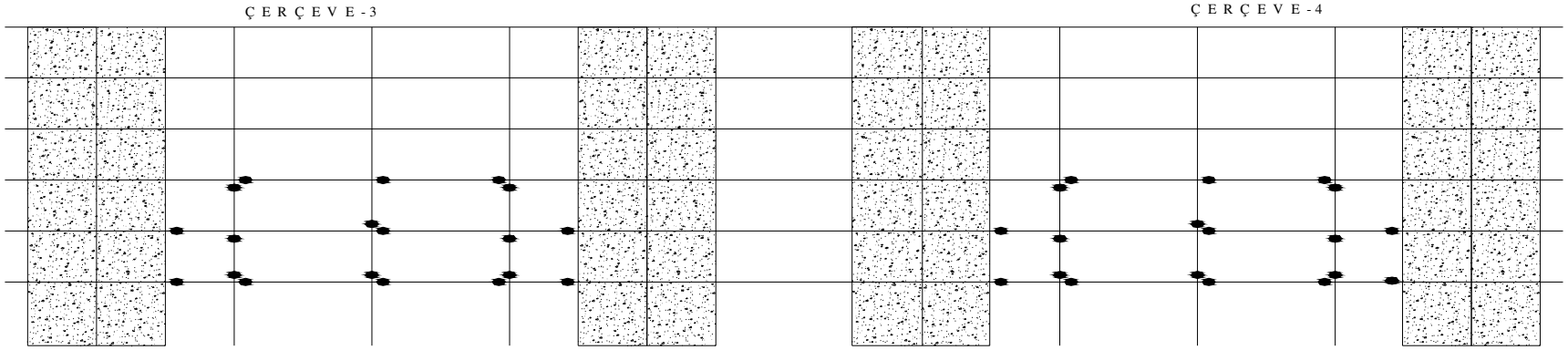
Şekil 6.17 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 1 ve 2 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarsız durum)



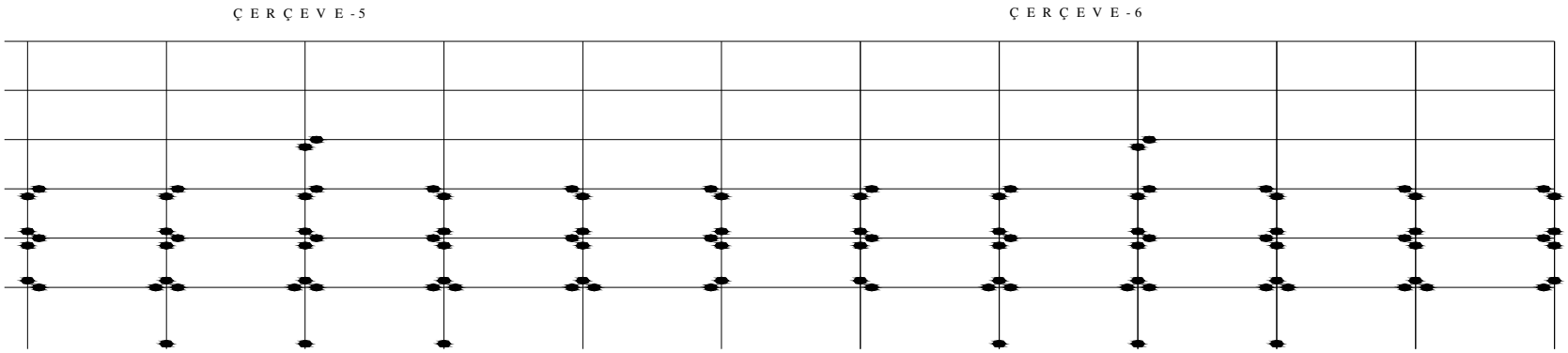
Şekil 6.18 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarlı durum)



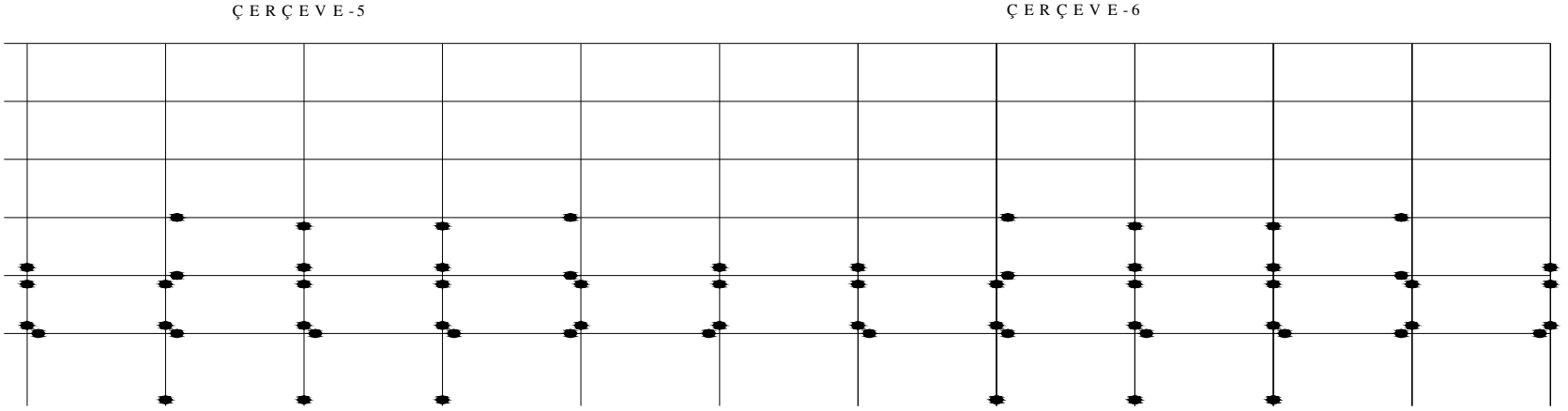
Şekil 6.19 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarsız durum)



Şekil6.20 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 3 ve 4 de kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarlı durum)



Şekil 6.21 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 5 ve 6 da kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarsız durum)

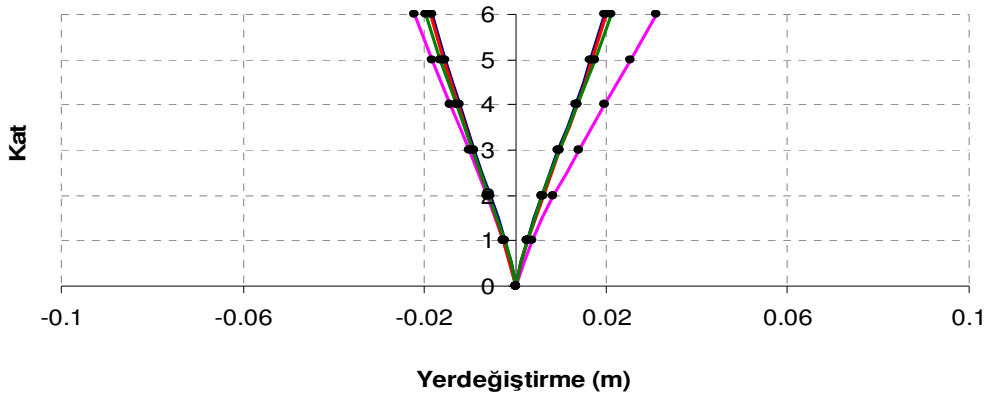


Şekil 6.22 Güçlendirme sonrası Yarımca KG kaydı için Çerçeve 5 ve 6 da kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsallar (Duvarlı durum)

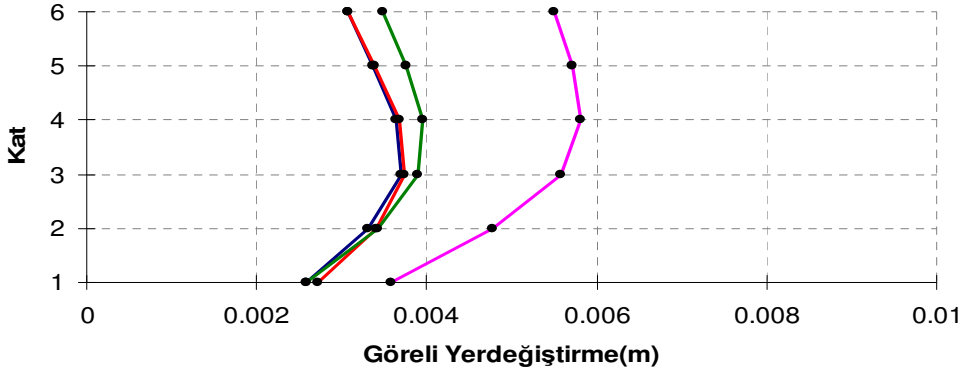
6.3. Güçlendirme Sonrası Yarımca DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

Yarımca DB deprem kaydının güçlendirme sonrası durum için elde edilen yerdeğiştirmeler, göreli kat ötelemesi, en üst kat yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi ile en üst kat yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti talebi değişimleri Şekil 6.23, Şekil 6.24, Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27 ve Şekil 6.28 de verilmiştir.

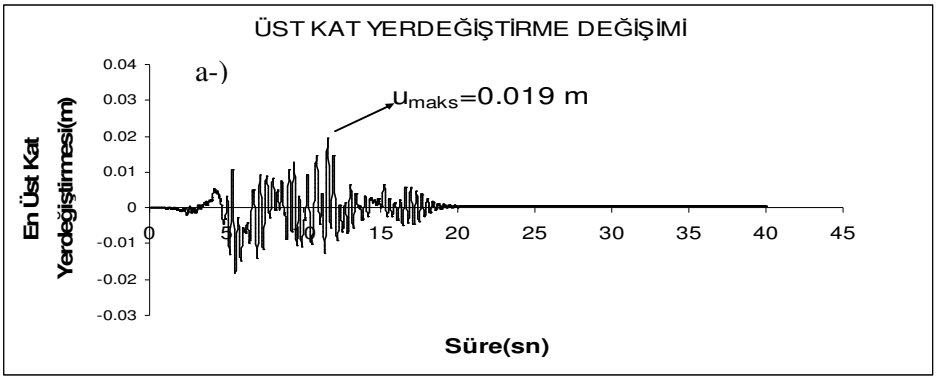
- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durum
- Yeşil→Mimari durum

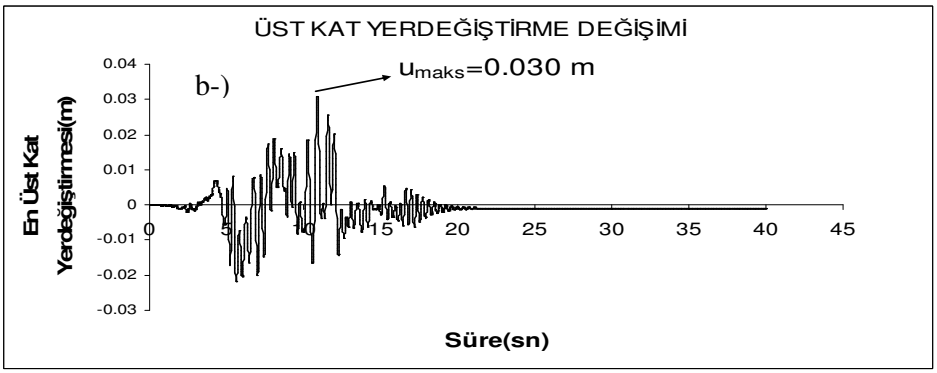


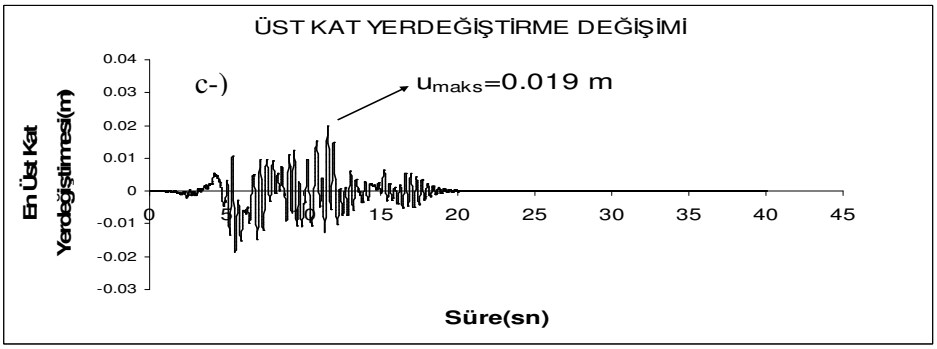
Şekil 6.23 Yarımca DB güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı

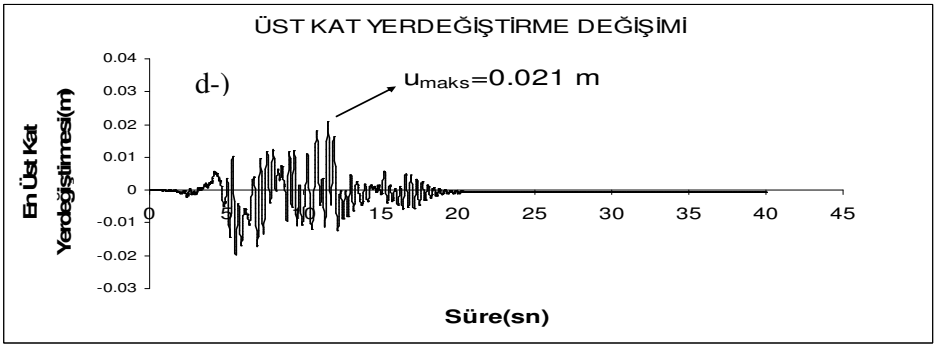


Şekil 6.24 Yarımca DB güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri

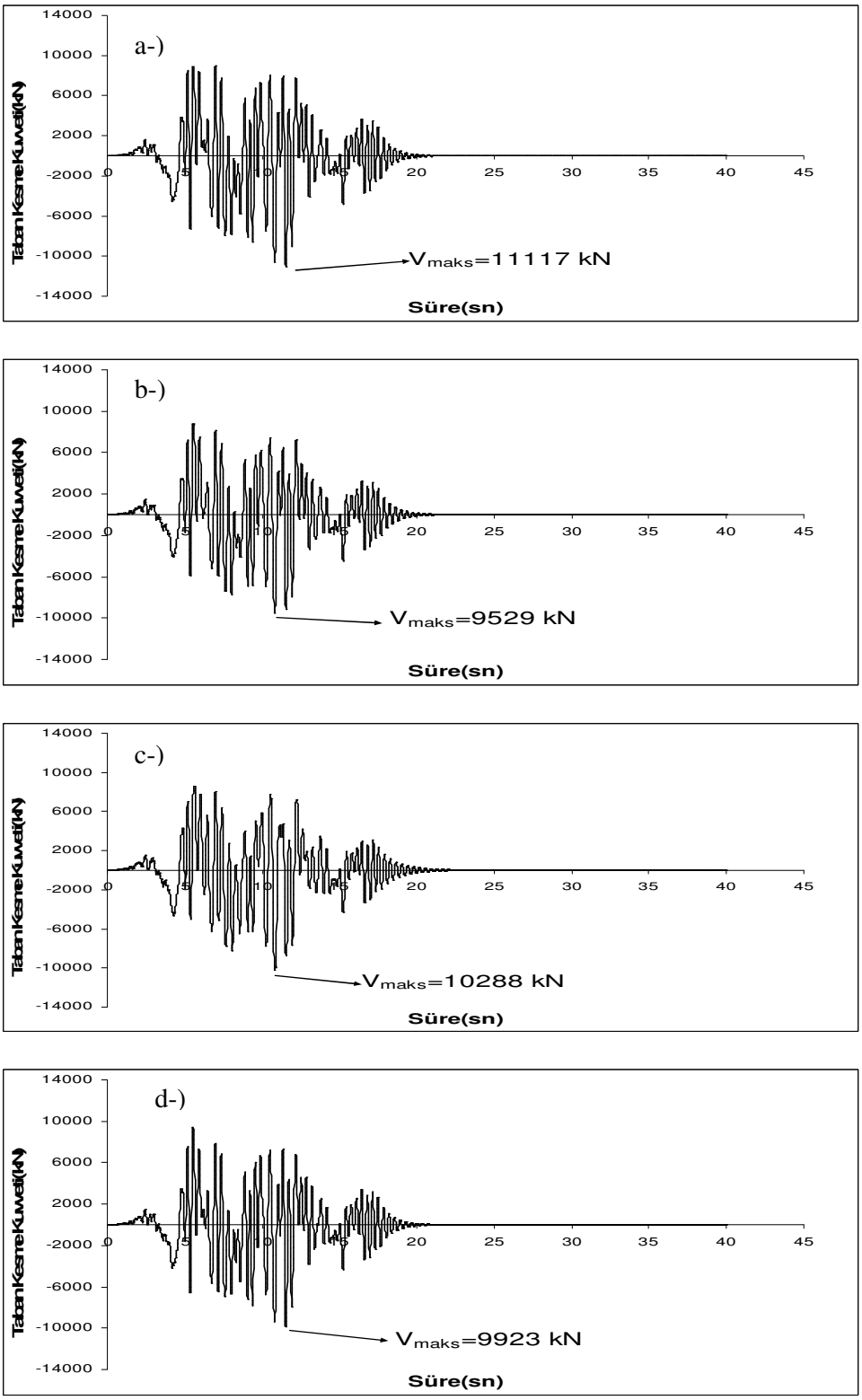




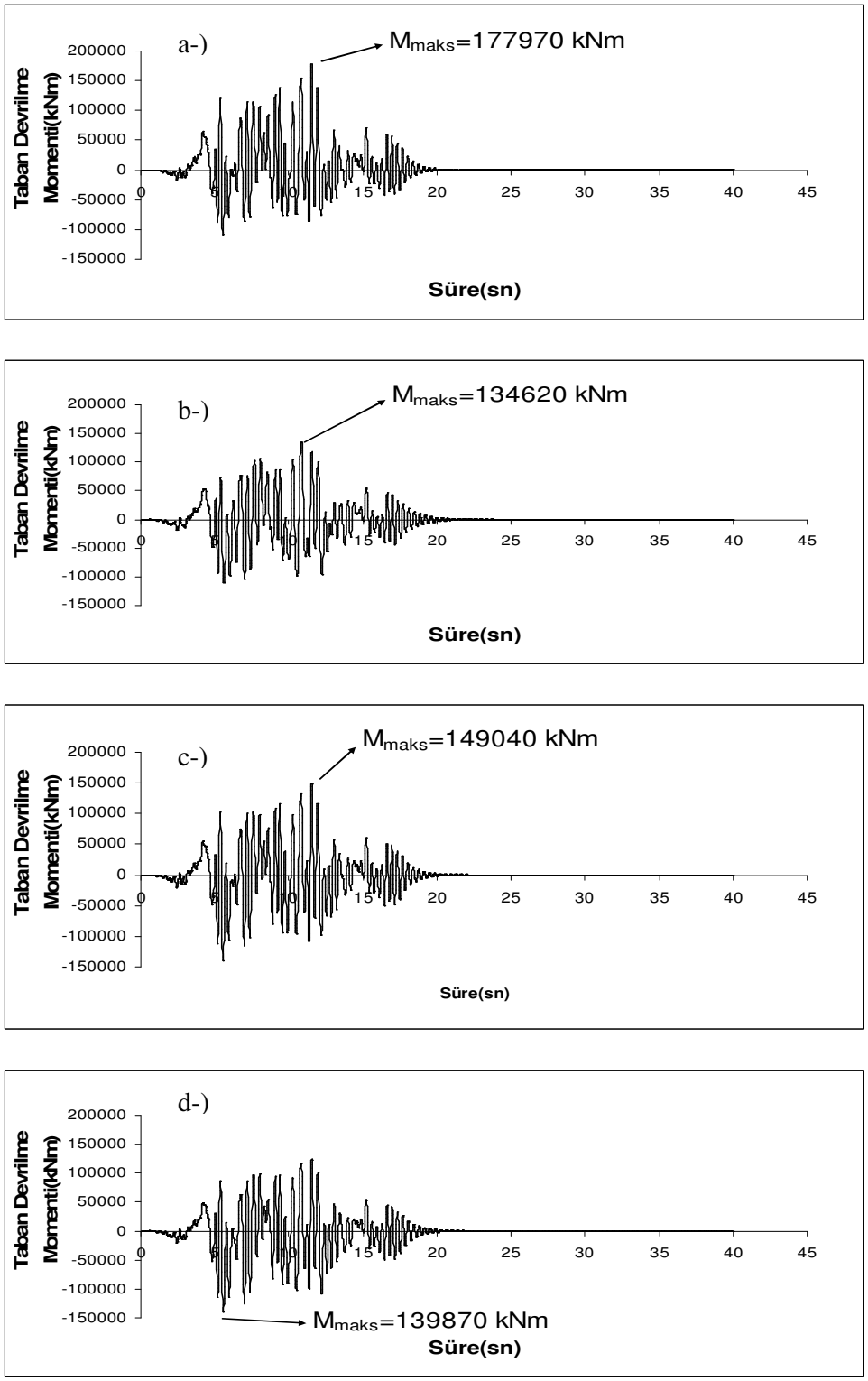




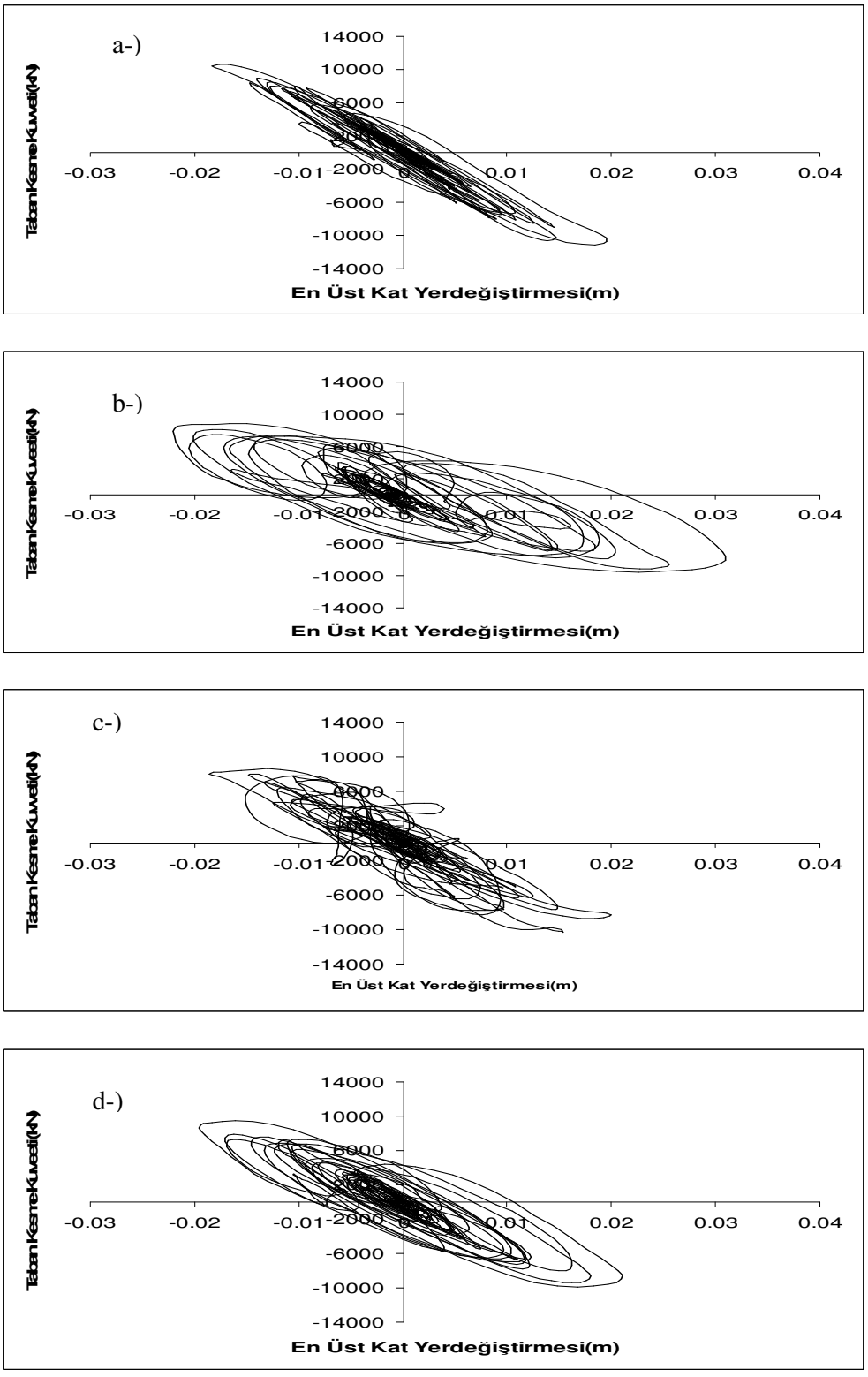
Şekil 6.25 Güçlendirme sonrası Yarımca DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 6.26 Güçlendirme sonrası Yarımca DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 6.27 Güçlendirme sonrası Yarımca DB kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

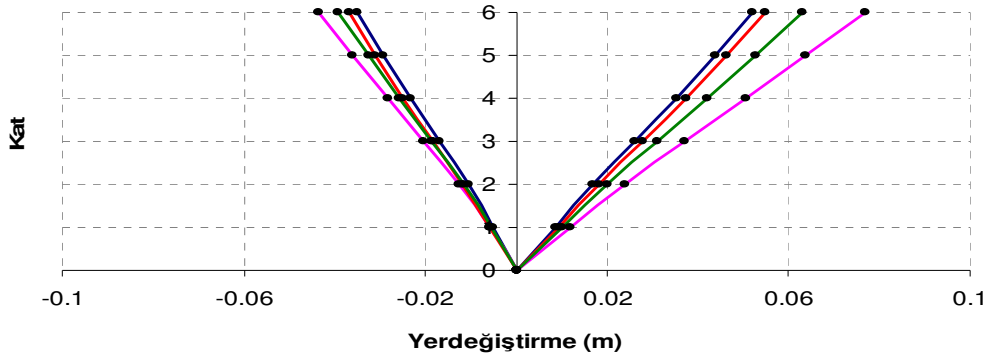


Şekil 6.28 Güçlendirme sonrası Yarımca DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

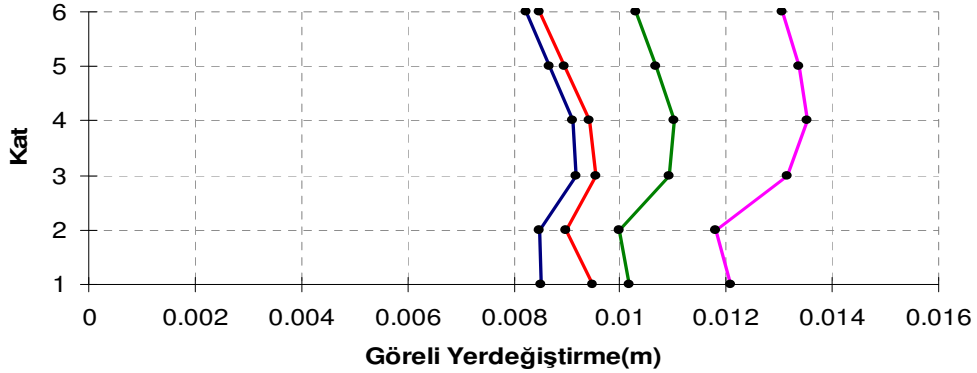
6.4. Güçlendirme Sonrası Yarımca DB(arttırılmış) Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

Yarımca DB(arttırılmış) deprem kaydının güçlendirme sonrası durum için elde edilen yerdeğiştirmeler, göreli kat ötelemesi, en üst kat yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi ile en üst kat yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti talebi değişimleri Şekil 6.29, Şekil 6.30, Şekil 6.31, Şekil 6.32, Şekil 6.33 ve Şekil 6.34'de verilmiştir.

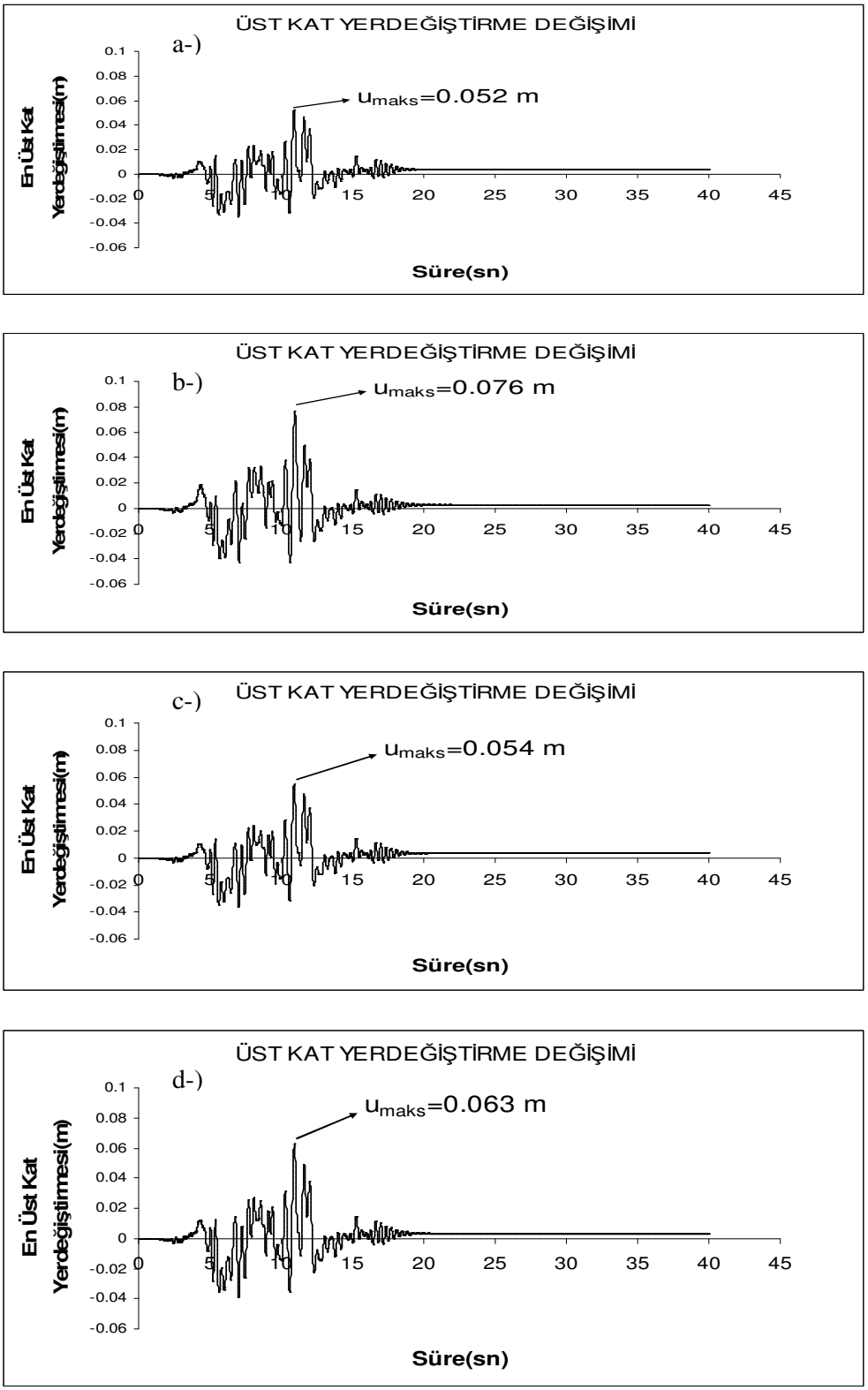
- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durum
- Yeşil→Mimari durum.



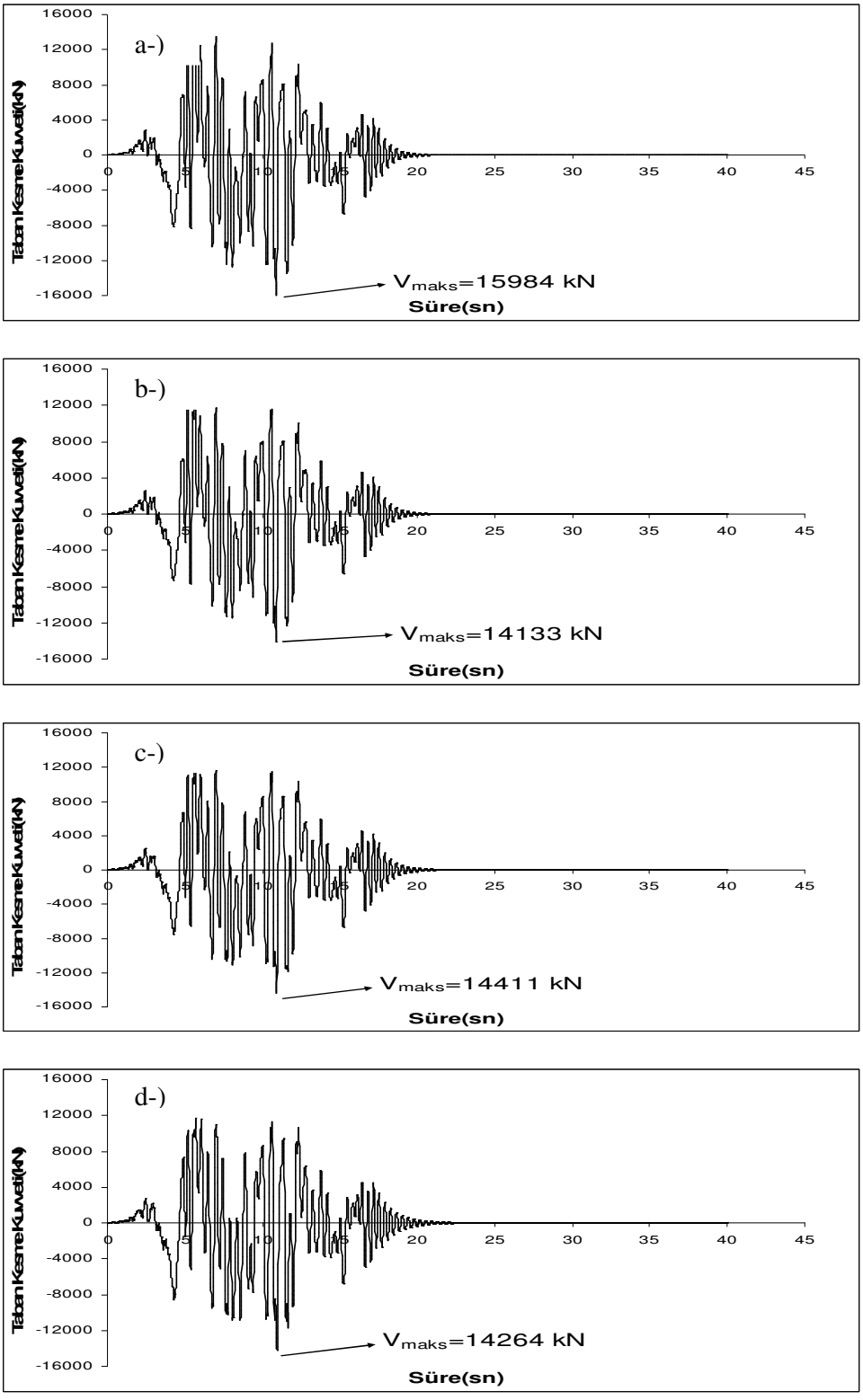
Şekil 6.29 Yarımca DB(arttırılmış) güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı



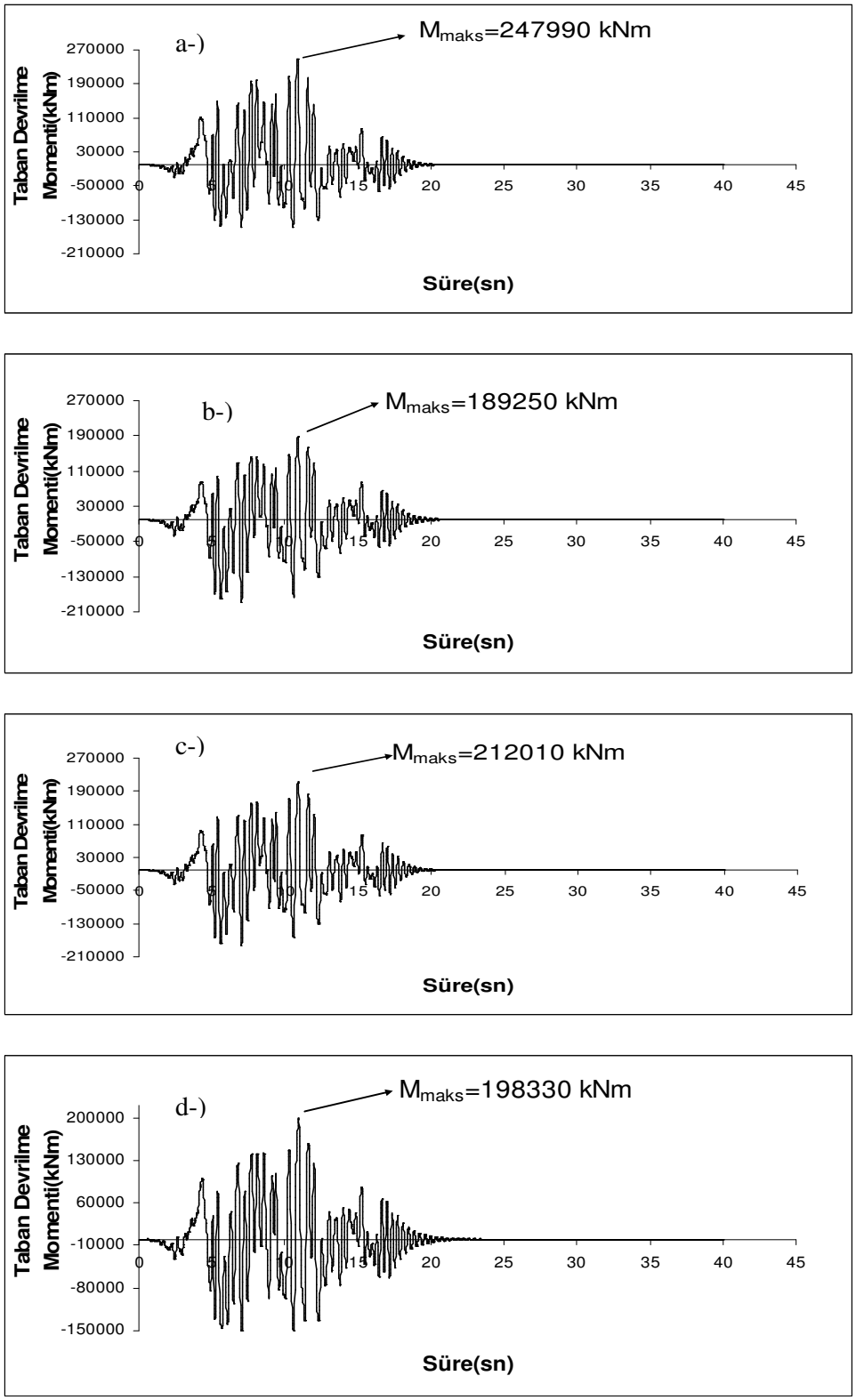
Şekil 6.30 Yarımca DB(arttırılmış) güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri



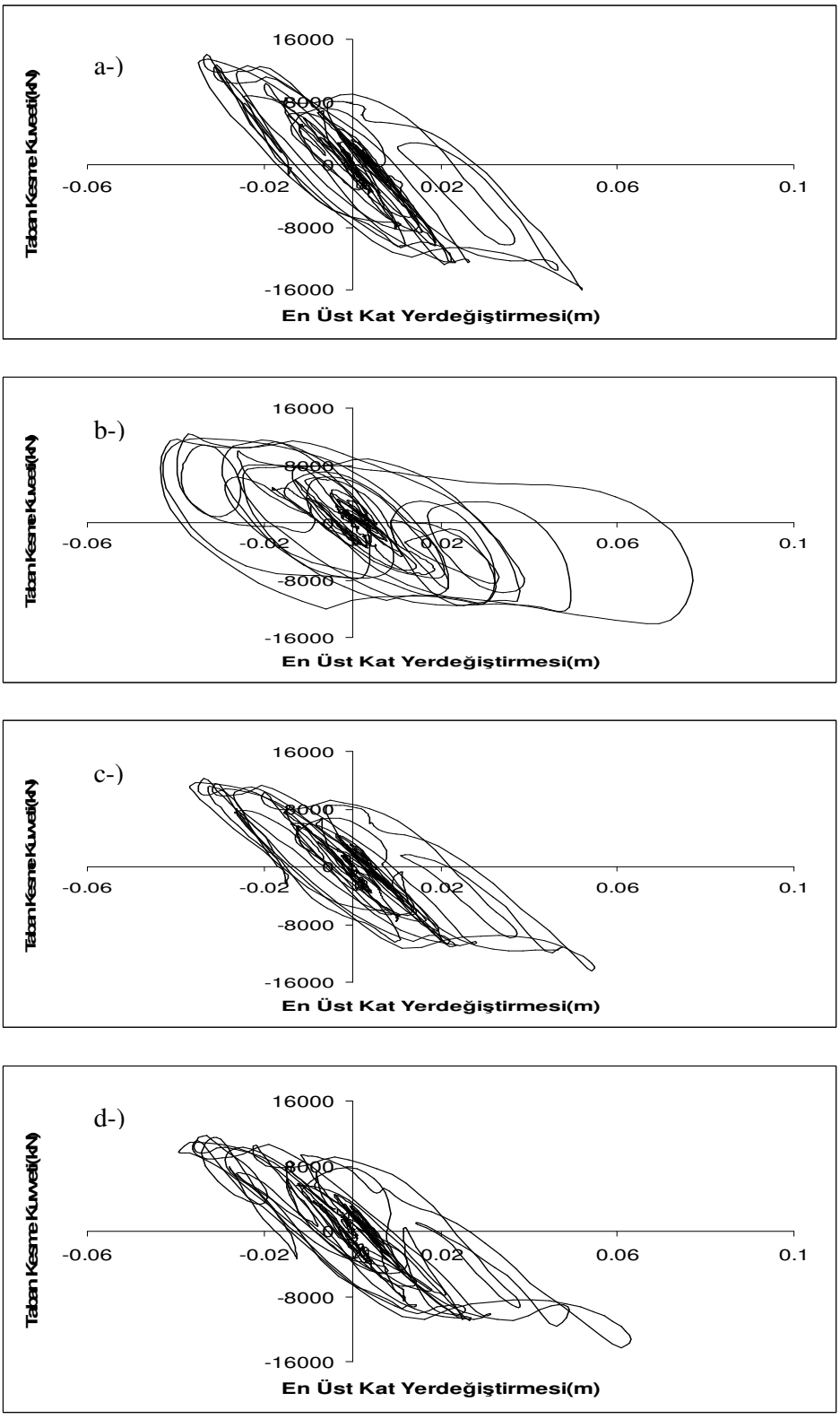
Şekil 6.31 Güçlendirme sonrası Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için en üst kat yerdeğiştirme değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 6.32 Güçlendirme sonrası Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 6.33 Güçlendirme sonrası Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

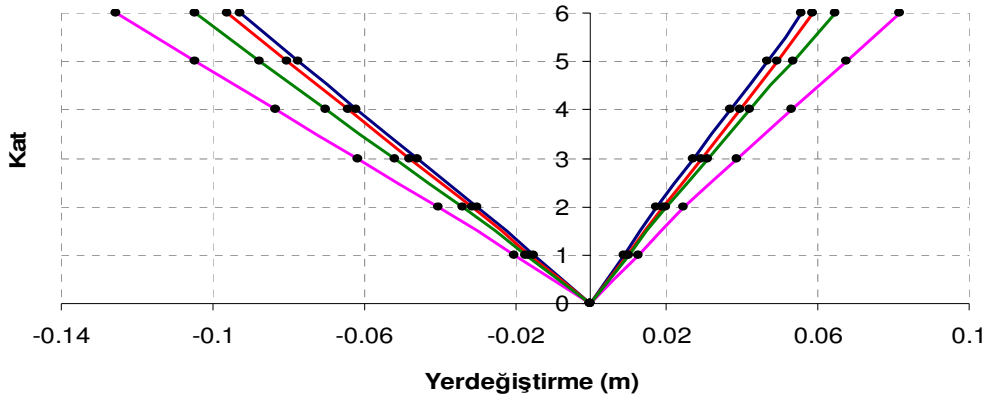


Şekil 6.34 Güçlendirme sonrası Yarımca DB(arttırılmış) kaydı için taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

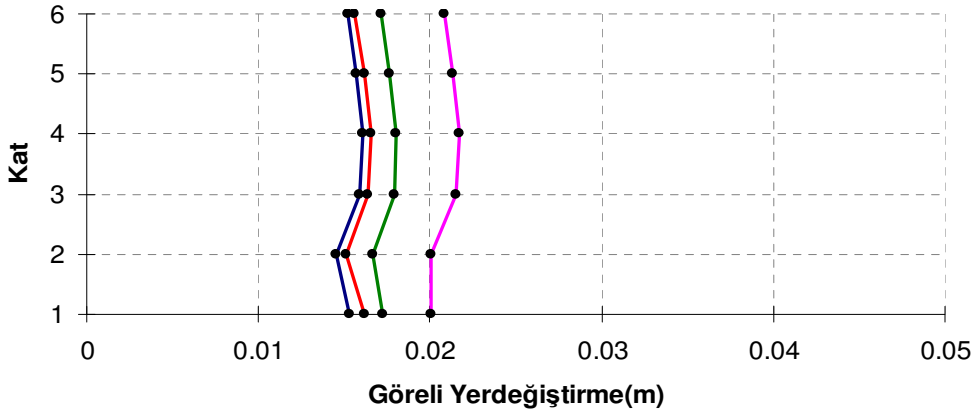
6.5. Güçlendirme Sonrası Bolu DB Deprem Kaydının Yapıya Etkitilmesi Durumunda Dinamik Analiz

Bolu DB deprem kaydının güçlendirme sonrası durum için elde edilen yerdeğiştirmeler, göreli kat ötelemesi, en üst kat yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti talebi, taban devrilme momenti talebi ile en üst kat yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti talebi değişimleri Şekil 6.35, Şekil 6.36, Şekil 6.37, Şekil 6.38, Şekil 6.39 ve Şekil 6.40'da verilmiştir:

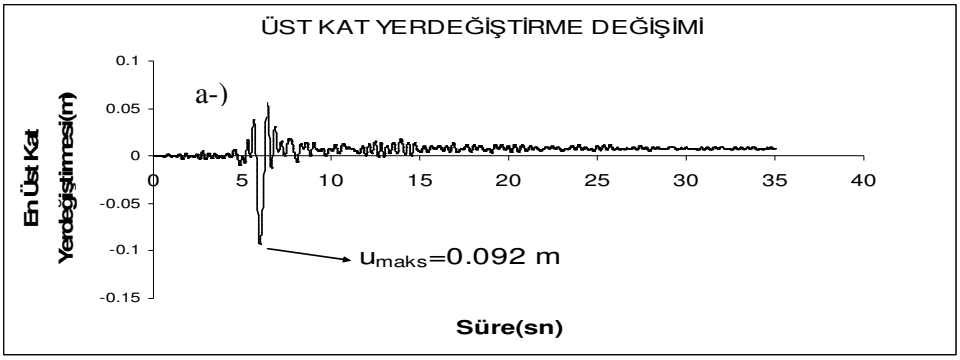
- Mavi→Duvarlı durum
- Pembe→Duvarsız durum
- Kırmızı→İlk kat duvarlı olmayan durum
- Yeşil→Mimari durum.

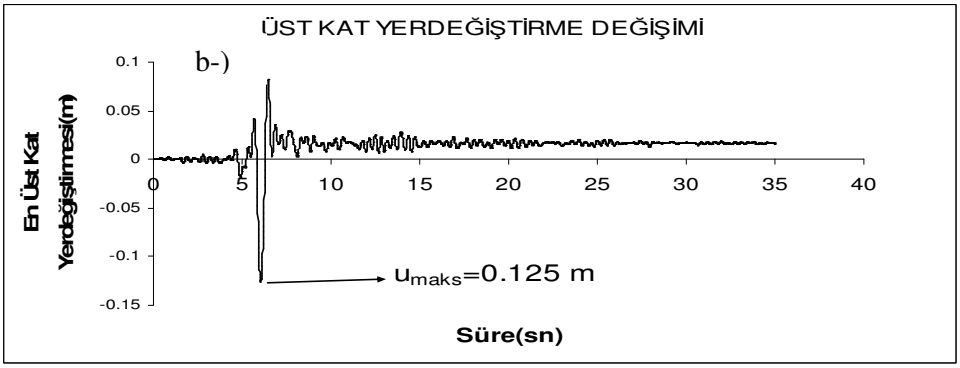


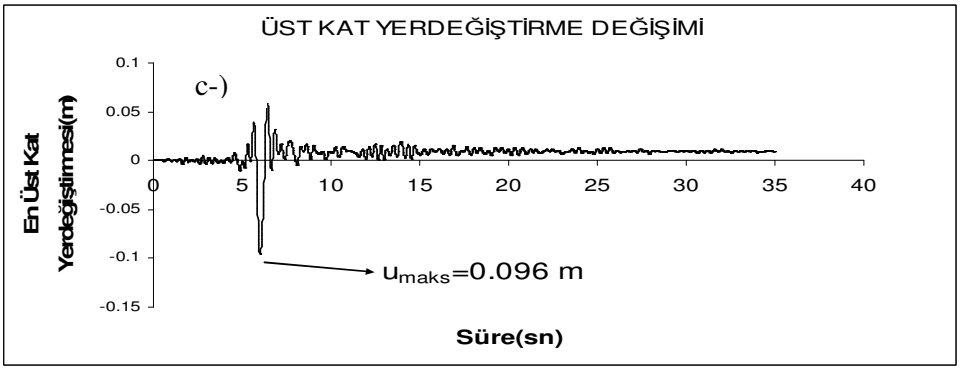
Şekil 6.35 Bolu DB güçlendirme sonrası duruma ait yerdeğiştirme zarfı

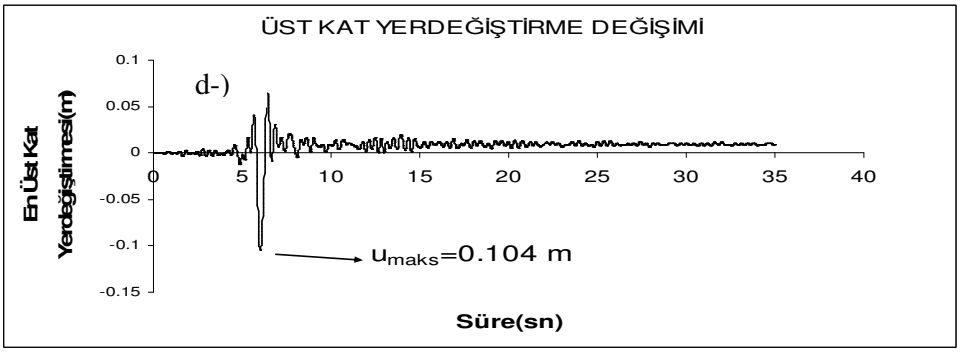


Şekil 6.36 Bolu DB güçlendirme sonrası duruma ait göreli kat ötelemeleri

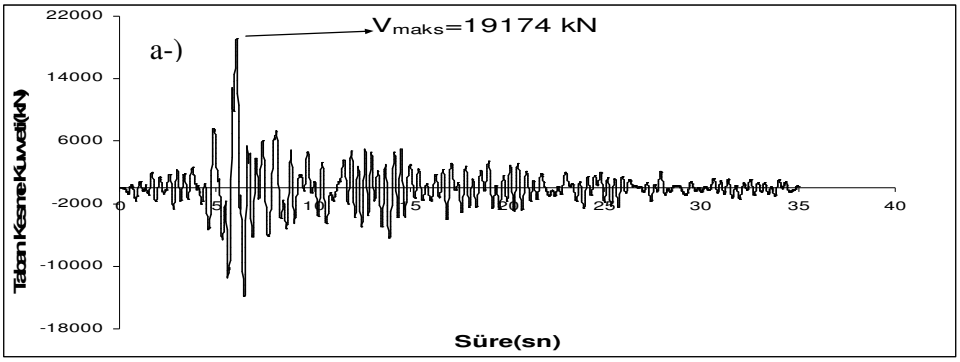


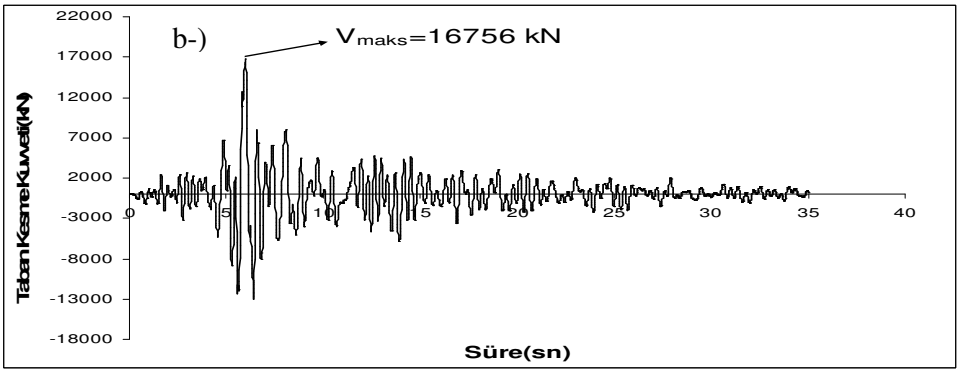


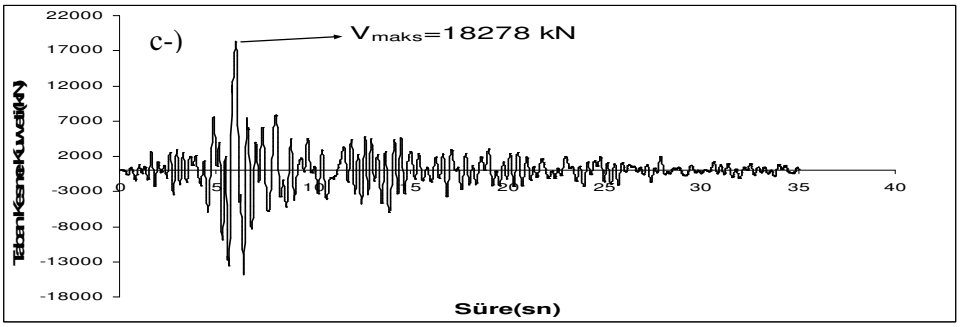


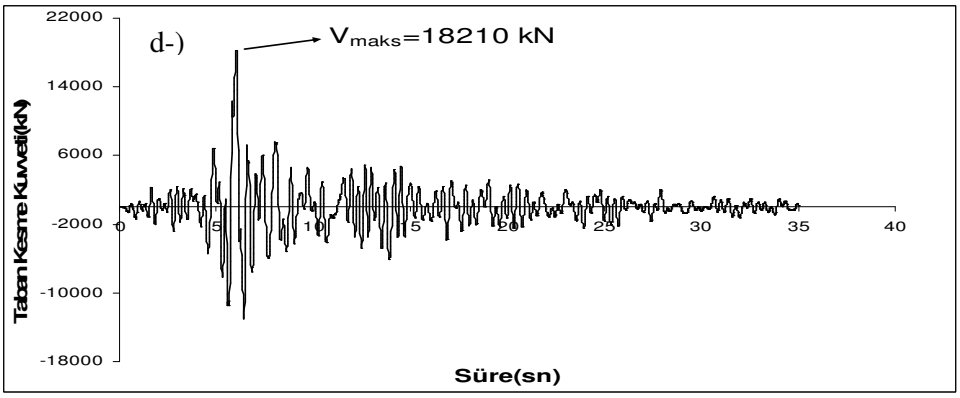


Şekil 6.37 Güçlendirme sonrası Bolu DB kaydı için en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

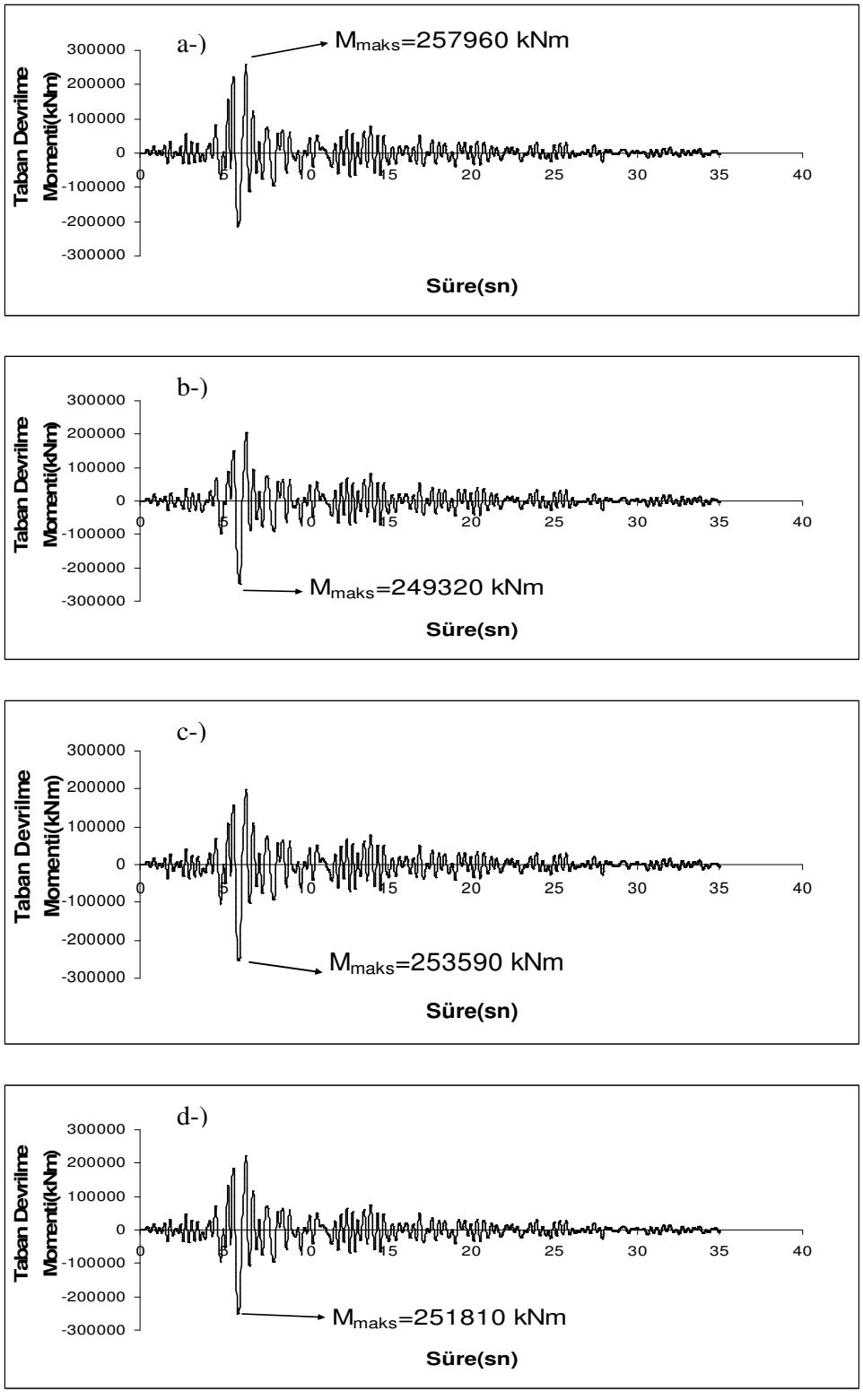




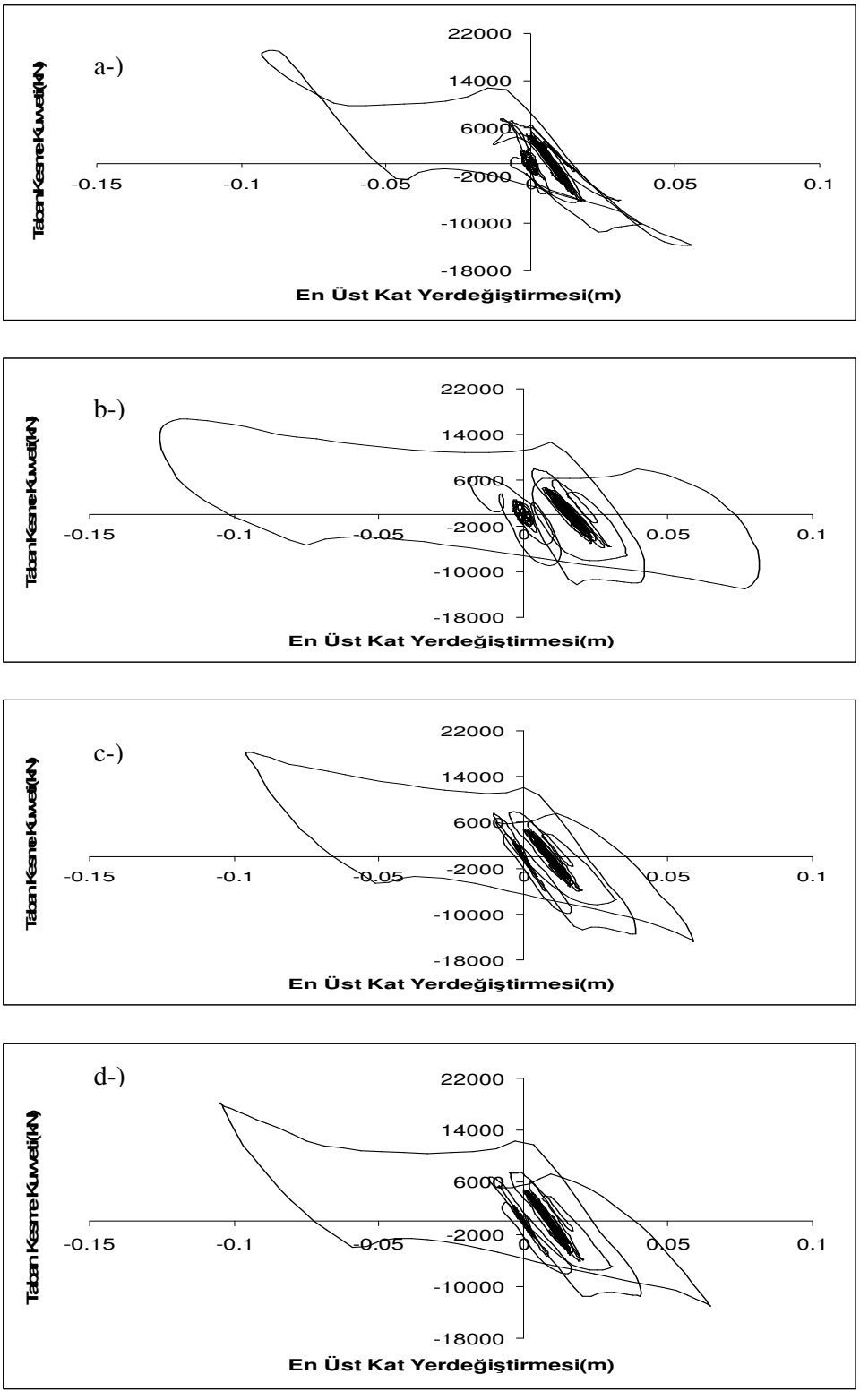




Şekil 6.38 Güçlendirme sonrası Bolu DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 6.39 Güçlendirme sonrası Bolu DB kaydı için taban devrilme momenti talebi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum



Şekil 6.40 Güçlendirme sonrası Bolu DB kaydı için taban kesme kuvveti talebi-en üst kat yerdeğiştirmesi değişimleri. a-)Duvarlı durum b-)Duvarsız durum c-) İlk kat duvarlı olmayan durum d-)Mimari durum

7. SONUÇLAR

Çalışmada 1999 Kocaeli depreminde orta derecede hasar görmüş ve sonradan güçlendirilmiş altı katlı betonarme bir yapının güçlendirme öncesi ve sonrası durumlarına ait dört farklı duvar yerleşim planı için beş farklı deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları incelenmiştir.

Yapının tekrarlı yükler altındaki doğrusal olmayan davranışının çift doğrulu (bilinear) histeretik modele uyduğu kabul edilmiş, yapıdaki kolon ve kirişler ile güçlendirme sonrasında yapıya eklenen perdeler bu davranış dikkate alınarak modellenmişlerdir. Analizde P-Δ etkisi ve eksenel kuvvet-moment etkileşimi ihmal edilmiştir.

Dolgu duvarların yapıya olan etkilerini araştırmak amacı ile bütün açıklıklarında dolgu duvarların bulunduğu, sadece ilk kattaki dolgu duvarların çıkarılarak diğer katlardaki duvarların korunduğu, mimari projeye uygun olarak duvarların yerleştirildiği ve sadece çerçevelerden oluşan dolgu duvarların etkisinin ihmal edildiği dört farklı sistem araştırma için Drain programında modellenmiştir.

Farklı deprem kayıtları için güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası elde edilen en üst kat maksimum yerdeğiştirme değeri, taban kesme kuvveti talebi ve taban devrilme momenti talebi değişimi değerleri farklı duvar tipleri için Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1 Güçlendirme öncesi ve sonrası durum için deprem kayıtlarına ait en üst kat yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti talebi ve taban devrilme momenti talebi değişimleri

DEPREM KAYDI	GÜÇLENDİRME ÖNCESİ				GÜÇLENDİRME SONRASI			
SAKARYA DB	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi(cm)	10.14	3.72	4.6	5.08	2.92	2.55	2.73	2.88
Taban Kesme Kuvveti Talebi(kN)	4172	6611	5235	5042	7993	12605	11783	11335
Taban Devrilme Momenti Talebi(kNm)	56576	117240	84654	80983	100440	206430	166560	131620

DEPREM KAYDI	GÜÇLENDİRME ÖNCESİ				GÜÇLENDİRME SONRASI			
YARIMCA DB	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi(cm)	9.39	4.73	5.85	6.52	3.09	1.95	1.99	2.10
Taban Kesme Kuvveti Talebi(kN)	4523	6653	4992	4929	9529	11117	10288	9923
Taban Devrilme Momenti Talebi(kNm)	52793	121460	82424	78650	134620	177970	149040	139870

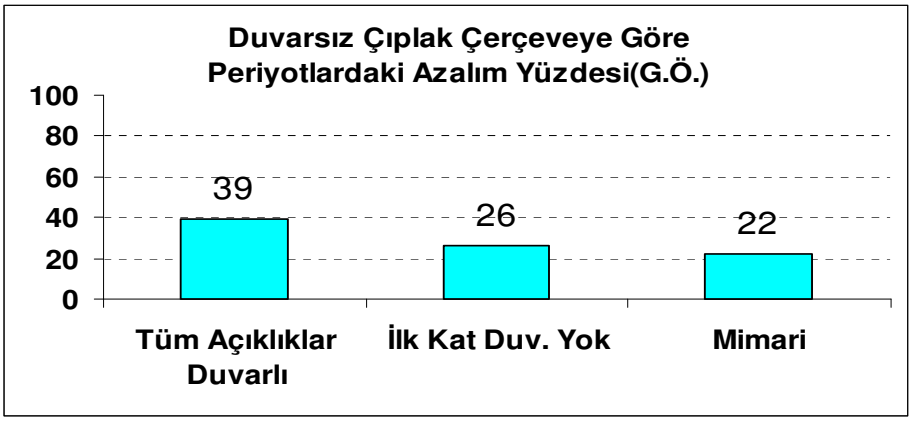
DEPREM KAYDI	GÜÇLENDİRME ÖNCESİ				GÜÇLENDİRME SONRASI			
YARIMCA DB (arttırılmış)	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi(cm)	36.8	18.1	18.3	20.17	7.69	5.21	5.47	6.30
Taban Kesme Kuvveti Talebi(kN)	7799	8776	8048	7834	14133	15984	14411	14264
Taban Devrilme Momenti Talebi(kNm)	90970	124890	98648	94135	189250	247990	212010	198330

DEPREM KAYDI	GÜÇLENDİRME ÖNCESİ				GÜÇLENDİRME SONRASI			
BOLU DB	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi(cm)	16.08	20.37	18.37	18.38	12.56	9.26	9.6	10.47
Taban Kesme Kuvveti Talebi(kN)	6644	11383	11147	9210	16756	19174	18278	18210
Taban Devrilme Momenti Talebi(kNm)	69493	129430	129130	106210	249320	257960	253590	251810

DEPREM KAYDI	GÜÇLENDİRME ÖNCESİ				GÜÇLENDİRME SONRASI			
YARIMCA KG	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari	Duvarsız	Duvarlı	1.Kat Duv.Yok	Mimari
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi(cm)	17.0	6.5	7.3	9.3	3.37	2.36	2.38	2.46
Taban Kesme Kuvveti Talebi(kN)	5220	7808	6200	5589	10318	11686	10643	10341
Taban Devrilme Momenti Talebi(kNm)	65395	120280	90113	85880	129610	193380	158710	135370

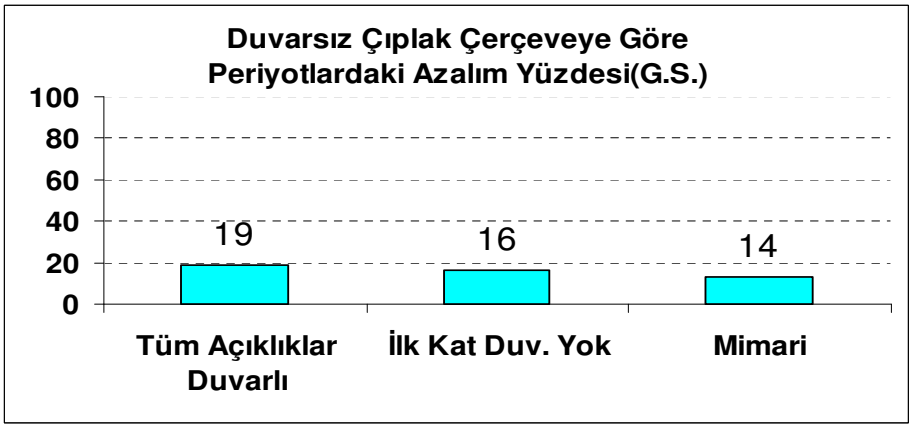
Tablolardan da anlaşılabileceği gibi güçlendirme öncesi, en üst kat yerdeğiştirmesi 36,8 cm ile Yarımca DB(arttırılmış)deprem kaydı duvarsız durum için elde edilmiş, taban kesme kuvveti talebi ve taban devrilme momenti talebinin maksimum değerleri ise Bolu DB kaydının duvarlı durumu için elde edilmiştir. Güçlendirme sonrasında ise en üst kat yerdeğiştirme değeri 12,56 cm ile Bolu DB deprem kaydının duvarsız durumu için gerçekleşirken, taban kesme kuvveti talebinin ve taban devrilme momenti talebinin maksimum değerleri yine bu deprem kaydı için duvarlı durumda elde edilmiştir.

İncelenen binanın güçlendirme öncesi duruma ait farklı deprem kayıtları için periyotların değişimi karşılaştırıldığında duvarsız durum için ortaya çıkan 0,76 sn değeri temel alınarak karşılaştırma yapılmış ve tüm açıklıkların duvarlı olması durumunda periyodun %39 oranında azalarak 0,46 sn olduğu, ilk kattaki duvarların çıkartılıp diğer katlardaki duvarların muhafaza edildiği durumda ise periyodun %26 oranında azaldığı, mimari durumda ise bu değerin %22 oranında azalarak 0,59 sn olduğu gözlemlenmiştir. Güçlendirme öncesi duruma ait periyotların değişimi Şekil 7.1 de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Güçlendirme öncesi duvarsız çıplak çerçeveye göre periyotlardaki azalım (%).

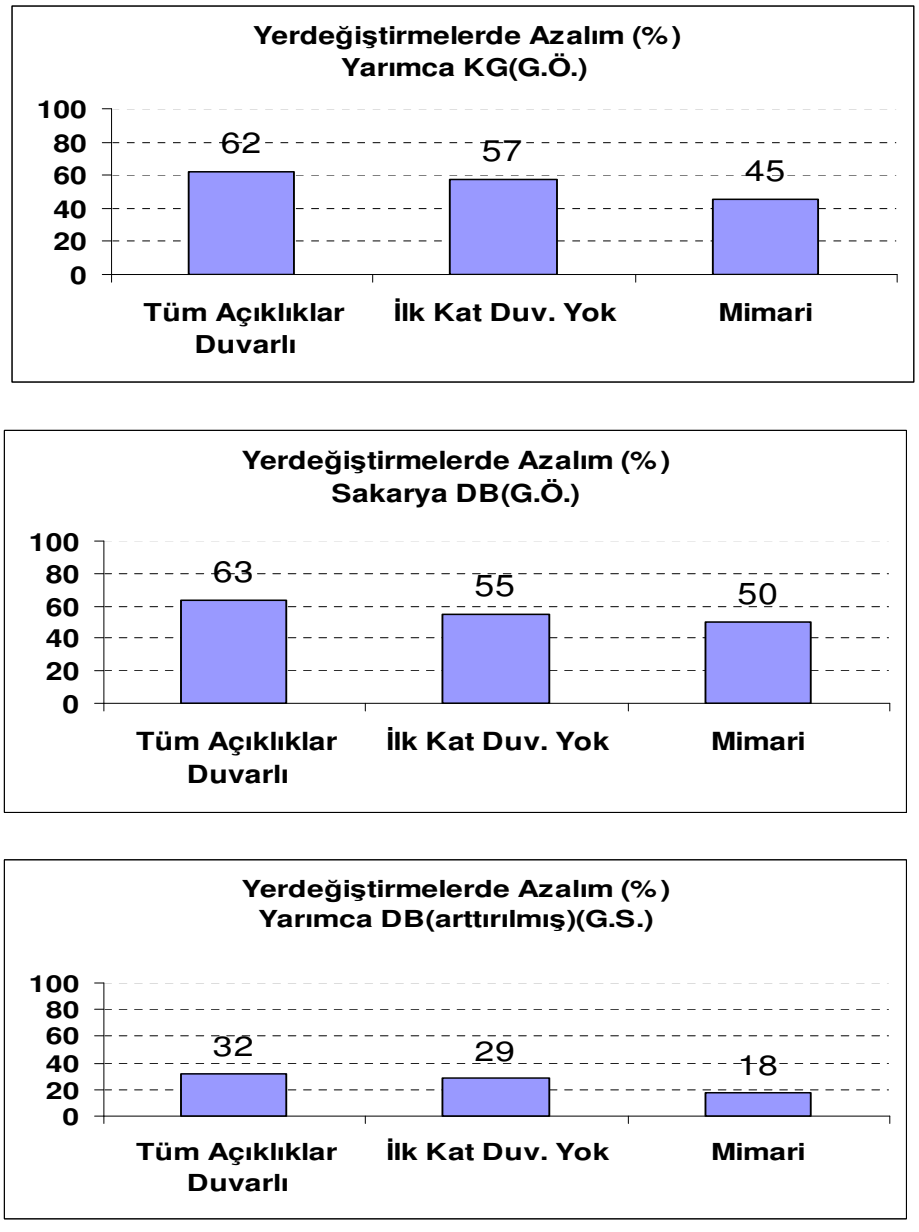
Güçlendirme sonrası için ise aynı şekilde duvarsız durum için periyot temel alınarak, diğer dolgu duvar sistemleri için periyotların değişimi Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2 Güçlendirme sonrası duvarsız çıplak çerçeveye göre periyotlardaki azalım (%).

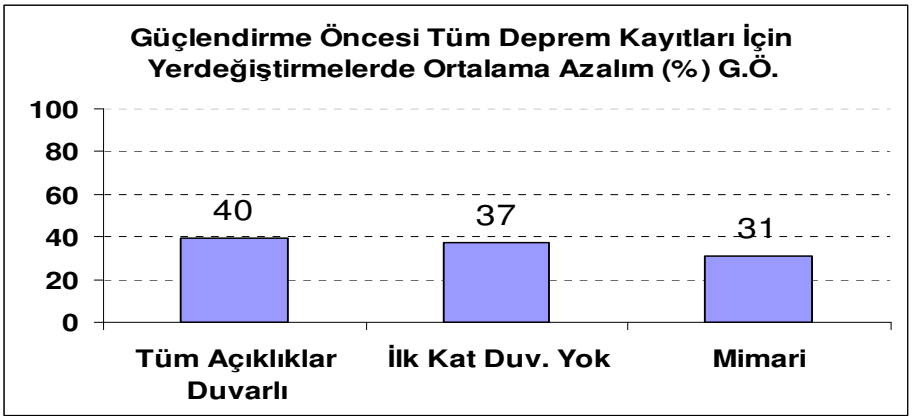
Güçlendirme sonrası durumda, duvarların etkisinin doğal periyotların güçlendirme öncesi duruma göre azaldığı ve duvarların sistem periyodunu azaltmadaki bu etki çeşitli duvar yerleşimlerine göre oldukça yakın olduğu söylenebilir.

Yerdeğiştirmelerin tüm deprem kayıtları için değişimleri incelendiğinde duvarsız durumda meydana gelen yerdeğiştirme temel alınmış ve bu değer diğer duvar sistemleri için Şekil 7.3'de yüzde olarak ifade edilmiştir.

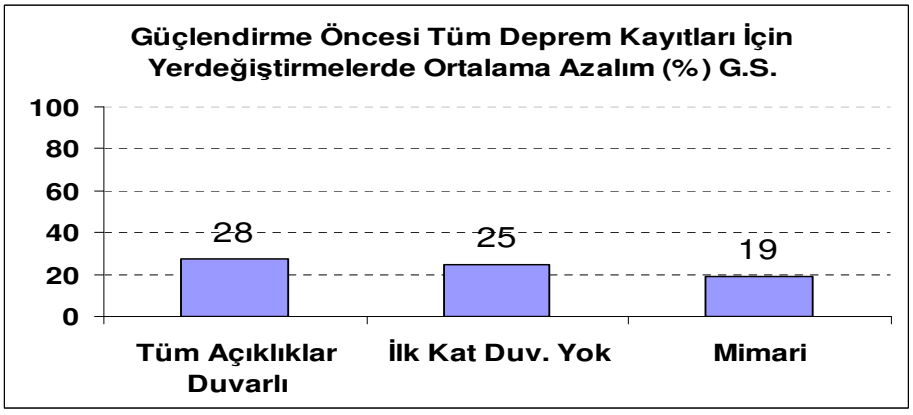


Şekil7.3 Duvarsız durumdaki yerdeğiştirmelere göre üç deprem kaydı için yerdeğiştirmelerdeki azalım(%).

Güçlendirme öncesi ve sonrası durumlar için yerdeğiştirmelerden elde edilen yüzdelik dilimlerin aritmetik ortalaması alındığında tüm açıklıkların duvarlı olması durumunda yerdeğiştirmelerin güçlendirme öncesi durumda %40 oranında azaldığı, güçlendirme sonrası durumda ise bu değerin %28 oranında gerçekleştiği, ilk kat duvarlarını olmadığı güçlendirme öncesi sistemde bu değerin %37 dolaylarında gerçekleştiği güçlendirme sonrasında ise bu değerin %25 olduğu, mimari durumda ise güçlendirme öncesi %31, güçlendirme sonrası durumda %19 olduğu gözlemlenmiştir. Yerdeğiştirmelerin aritmetik ortalamasının alınarak elde edilen yüzdelik değişim Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de gösterilmiştir.



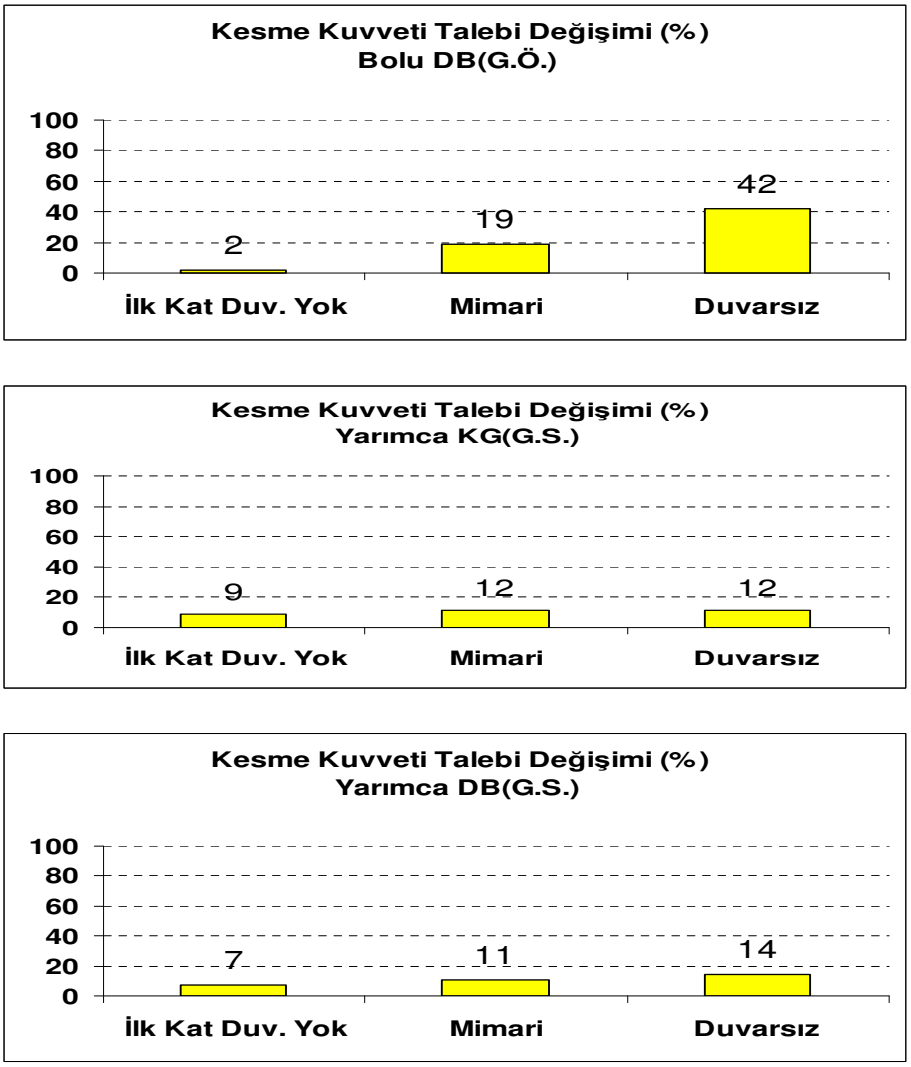
Şekil 7.4 Güçlendirme öncesi duvarsız çıplak çerçeveye göre yerdeğiştirmelerdeki azalım (%).



Şekil 7.5 Güçlendirme sonrası duvarsız çıplak çerçeveye göre yerdeğiştirmelerdeki azalım (%).

Taban kesme kuvveti talebinin güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası seçilen deprem kayıtları için elde edilen yüzdelik değişimleri Şekil 7.6'da gösterilmiştir. Bu

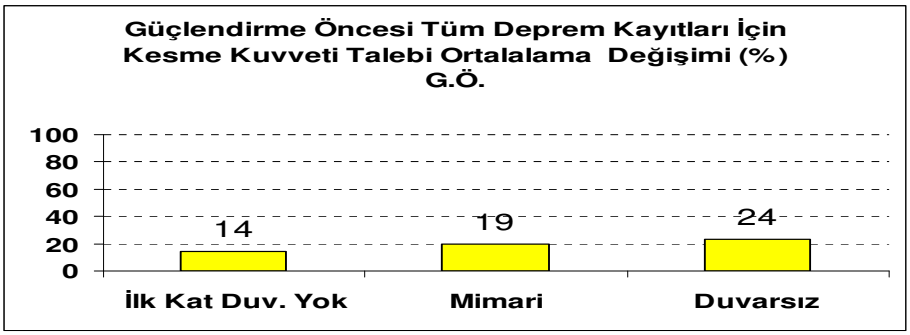
yüzdeler hesaplanırken duvarlı durumda elde edilen taban kesme kuvveti talebi değeri temel alınmış, diğer sistemlerin yüzdelik azalım değişimleri bu değere bağlı kalınarak hesaplanmıştır.



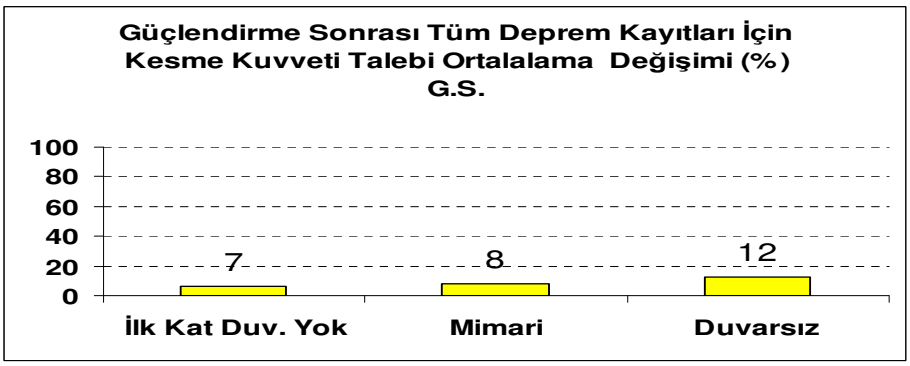
Şekil 7.6 Üç deprem kaydı için taban kesme kuvveti taleplerinin duvarlı çerçeveye göre azalım(%).

Güçlendirme öncesi ve sonrası durumlar için taban kesme kuvveti talebinden elde edilen yüzdelik dilimlerin aritmetik ortalaması alınıp, elde edilen değerler tüm açıklıkların duvarlı olduğu durumun kütlesinin, incelenen sistemin kütlesine oranlanıp bu iki değerin çarpılmasıyla elde edilmiştir. Buna göre güçlendirme öncesi durumda ilk kat duvarlarının olmadığı sistemde kesme kuvvetinin %14 oranında azaldığı, güçlendirme sonrası durumda ise bu değerin %7 oranında gerçekleştiği

görülmektedir. Diğer duvar sistemlerinde güçlendirme öncesi ve sonrası durumlar için ortalama yüzdelik değişimler Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 de verilmiştir.

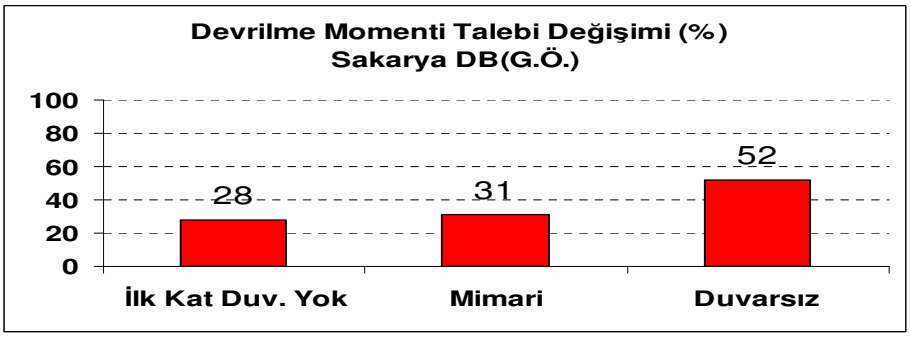


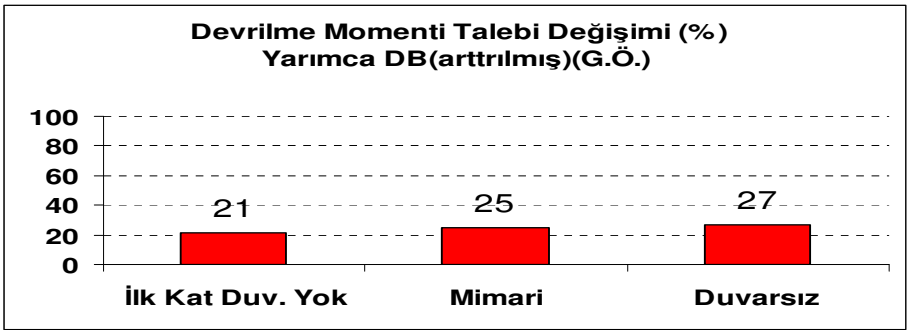
Şekil 7.7 Güçlendirme öncesi taban kesme kuvvetleri taleplerinin duvarlı çerçeveye göre ortalama yüzde değişimi.

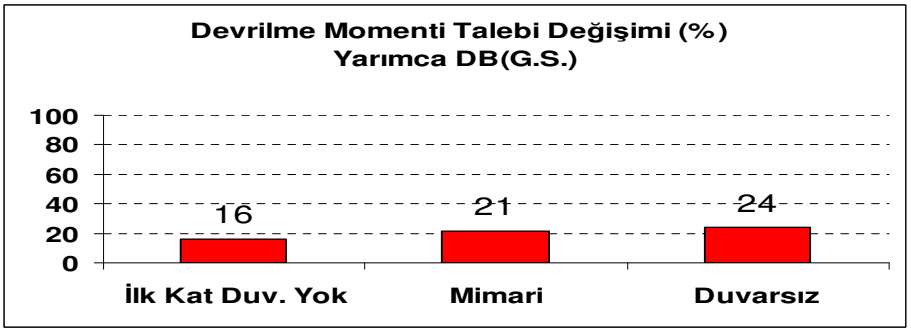


Şekil 7.8 Güçlendirme sonrası taban kesme kuvveti taleplerinin duvarlı çerçeveye göre ortalama yüzde değişimi

Taban devrilme momenti talebinin güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası seçilen deprem kayıtları için elde edilen yüzdelik değişimleri Şekil6.9'da gösterilmiştir. Bu yüzdeler hesaplanırken duvarlı durumda elde edilen taban devrilme momenti talep değeri temel alınmış, diğer sistemlerin yüzdelik değişimleri bu değere bağlı kalınarak hesaplanmıştır.

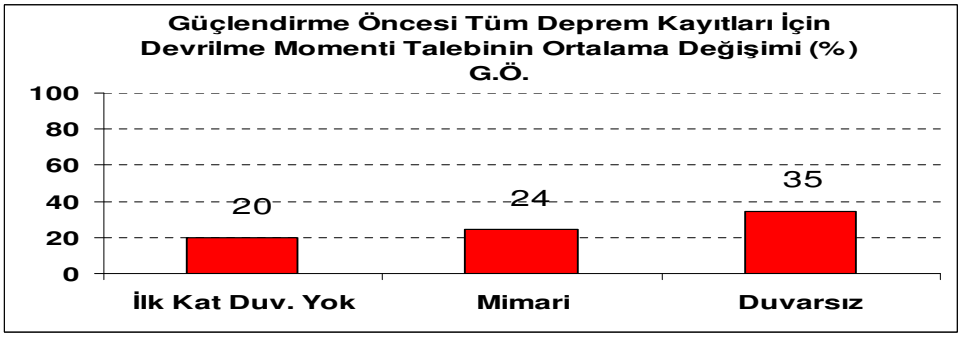




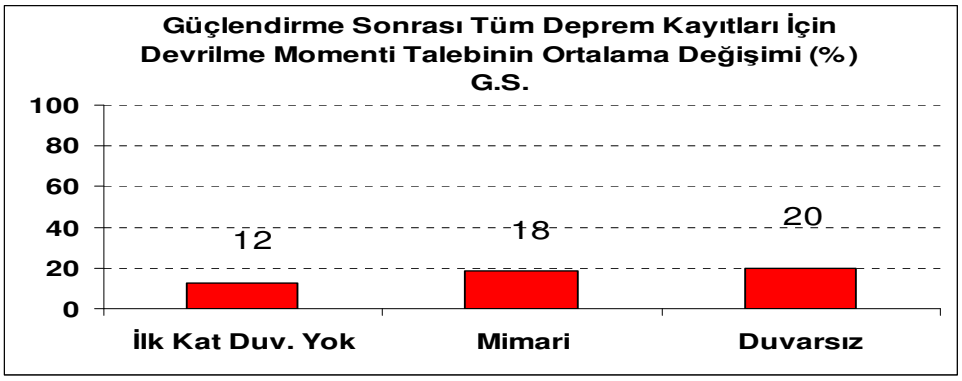


Şekil 7.9 Üç deprem kaydı için taban devrilme taleplerinin duvarlı çerçeveye göre azalım(%).

Güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası beş farklı deprem kaydından elde edilen dört farklı duvar sistemi için hesaplanan ortalama yüzdelik değişimlerin(kütle oranları dikkate alınarak) grafikleri Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7.10 Güçlendirme öncesi taban devrilme momenti taleplerinin duvarlı çerçeveye göre azalımı(%).



Şekil 7.11 Güçlendirme sonrası taban devrilme momenti taleplerinin duvarlı çerçeveye göre azalımı(%).

Plastik mafsalların yüzde değişimi incelenecek olursa Yarımca KG deprem kaydı için güçlendirme öncesi duvarsız durumda kolonlarda oluşan mafsal sayısı %21 oranında azalırken, bu değer kirişlerde %28 oranında gerçekleşmiştir. Aynı deprem kaydı için güçlendirme sonrası durumda kolonlarda oluşan plastik mafsal sayısı duvarlı sistemde %14 oranında azalmış, kirişlerde ise bu değer %20 olmuştur.

Bolu DB deprem kaydı güçlendirme öncesi durum için mimari durum dikkate alınarak duvarların sisteme olan etkisinin dikkate alınmadığı sistem ile kıyaslama yapılmış, oluşan plastik mafsal sayısı kolonlarda %9, kirişlerde ise %12 oranında azalırken, aynı deprem kaydının güçlendirme sonrası durum için kolonlarda oluşan plastik mafsal sayısı %6, kirişlerde ise %7 oranında azalmıştır.

Yarımca DB deprem kaydının ilk kat duvarlarının olmadığı diğer duvarların ise mevcut olduğu ve mimari sistem için güçlendirme öncesi durumda kolonlardaki plastik mafsal sayısı %11 oranında, kirişlerde ise %14 oranında azaldığı, güçlendirme sonrasında ise bu durumun kolonlarda %8, kirişlerde ise %9 oranında gerçekleştiği görülmüştür.

Beş ayrı deprem kaydı için hasarın ilk ortaya çıktığı duvar ve zaman adımı ile bu duvarın taşıma gücünü yitirdiği zaman adımını gösteren analiz sonuçları Tablo 7.2'de gösterilmiştir.

Deprem Kaydı	Görüldüğü Sistem	Hasarın İlk Görüldüğü Duvar	Bulunduğu Kat	Duvarda İlk Hasarın Görüldüğü Zaman Adımı(sn)	Hasarın İlk Görüldüğü Duvarın Taşıma Gücünü Yitirdiği Zaman Adımı(sn)
Yarımca KG	Duvarlı(Güç.Önc.)	35	1. Kat	0.81	3.83
Yarımca KG	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Önc.)	41	2. Kat	0.8	1.49
Yarımca KG	Mimari(Güç. Önc.)	36	1. Kat	0.79	1.03
Yarımca KG	Duvarlı(Güç. Son.)	32	1. Kat	1.21	5.16
Yarımca KG	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Son.)	33	2. Kat	0.96	5.11
Yarımca KG	Mimari(Güç. Son.)	34	1. Kat	0.8	3.83
Sakarya DB	Duvarlı(Güç.Önc.)	35	1. Kat	0.48	3.11
Sakarya DB	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Önc.)	35	2. Kat	0.44	1.76
Sakarya DB	Mimari(Güç. Önc.)	42	1. Kat	0.42	1.12
Sakarya DB	Duvarlı(Güç. Son.)	38	1. Kat	0.96	4.78
Sakarya DB	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Son.)	37	2. Kat	0.89	4.54
Sakarya DB	Mimari(Güç. Son.)	39	1. Kat	0.88	3.84

Deprem Kaydı	Görüldüğü Sistem	Hasarın İlk Görüldüğü Duvar	Bulunduğu Kat	Duvarda İlk Hasarın Görüldüğü Zaman Adımı(sn)	Hasarın İlk Görüldüğü Duvarın Taşıma Gücünü Yitirdiği Zaman Adımı(sn)
Yarımca DB	Duvarlı(Güç.Önc.)	38	1. Kat	0.98	2.78
Yarımca DB	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Önc.)	34	2. Kat	0.77	2.85
Yarımca DB	Mimari(Güç. Önc.)	34	1. Kat	0.78	2.36
Yarımca DB	Duvarlı(Güç. Son.)	32	1. Kat	1.78	5.18
Yarımca DB	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Son.)	33	2. Kat	1.67	5.51
Yarımca DB	Mimari(Güç. Son.)	34	1. Kat	1.62	5.45
Yarımca DB(art.)	Duvarlı(Güç.Önc.)	40	1. Kat	0.22	2.87
Yarımca DB(art.)	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Önc.)	38	2. Kat	0.22	2.78
Yarımca DB(art.)	Mimari(Güç. Önc.)	37	1. Kat	0.18	2.71
Yarımca DB(art.)	Duvarlı(Güç. Son.)	39	1. Kat	0.5	7.01
Yarımca DB(art.)	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Son.)	35	2. Kat	0.49	6.63
YarımcaDB(art.)	Mimari(Güç.Son.)	36	1. Kat	0.49	5.03

Deprem Kaydı	Görüldüğü Sistem	Hasarın İlk Görüldüğü Duvar	Bulunduğu Kat	Duvarda İlk Hasarın Görüldüğü Zaman Adımı(sn)	Hasarın İlk Görüldüğü Duvarın Taşıma Gücünü Yitirdiği Zaman Adımı(sn)
Bolu DB	Duvarlı(Güç.Önc.)	35	1. Kat	0.77	4.32
Bolu DB	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Önc.)	35	2. Kat	0.21	4.11
Bolu DB	Mimari(Güç. Önc.)	40	1. Kat	0.15	3.54
Bolu DB	Duvarlı(Güç. Son.)	38	1. Kat	1.21	5.78
Bolu DB	İlk Kat Duvarları Yok(Güç.Son.)	38	2. Kat	1.11	5.44
Bolu DB	Mimari(Güç. Son.)	39	1. Kat	0.96	4.71

Tablo 7.2 Deprem kayıtları için duvarların taşıma gücünü kaybetme süreleri

Tablodaki değerleri incelediğimiz zaman hasarların ilk olarak 1. katta oluşmaya başladığı ve hasarın oluşmaya başladığı ortalama ilk zaman adımının 0.78 sn olduğu, 3.95 sn de ise hasarın ilk görüldüğü duvarın taşıma gücünü yitirdiği görülmektedir.

Bu tez kapsamında dolgu duvarlar ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda dolgu duvarların sistem rijitliğini önemli derecede arttırdığı, buna bağlı olarak da sistemin periyodunda, yerdeğiştirmelerde ve oluşan plastik mafsal sayısında azalma olduğu, taban kesme kuvveti talebi ve taban devrilme momenti taleplerini ise arttırdığı görülmüştür.

Ayrıca dolgu duvarların plandaki dağılımının da yapı davranışını değiştirdiği bu çalışma ile bir kez daha ortaya konmuştur. Dolgu duvarlarının planda simetrik ve düzgün olarak dağılımı sağlanmazsa ve belli akslarda duvarlar yer alır diğer akslarda duvarlar yer almazsa, bölgelerdeki rijitlik merkezi kütle merkezine göre kayar ve yapıda burulma etkileri meydana gelir. Buda sistemin periyodunu, yerdeğiştirmesi gibi bir çok etkeni önemli oranda etkileyecektir ve artmasına neden olacaktır.

Eğer yapı sistemleri, çerçeveler içinde yer alan dolgu duvarlarının neden olduğu rijitlik artışları göz önünde bulundurularak gerekli yapı güvenliğini sağlayacak şekilde boyutlandırılırsa, deprem esnasında önce duvarlar ile çerçeveler arasında oluşan çatlaklardaki sürtünme yüzeylerinde başlar ve duvar taşıma gücünü yitirir, bu olgu bu yapı örneğinde, 1. katta 3.5 saniyede, güçlendirilmiş yapı için 5.8 saniyede tamamlanmaktadır. Bu durumda ilk duvar hasarının orta büyüklükteki depremler için deprem toplam süresinin (1/10)~(2/10) unda oluştuğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,** 1998**.** T.C İmar ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara

[2] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,** 2006. T.C İmar ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara

[3] **Aydan, Ö. , Ulusay, R., Hasgür, Z. and Taşkın, B.,** 2000. A site investigation of Kocaeli earthquake of August 17, 1999, *Turkish Earthquake Foundation Earthquake Report*, **TDV/DR 08-49**, İstanbul, Turkey.

[4] **Celep, Z., Gençoğlu, M.,** 2003. Deprem Etkisindeki Betonarme Çerçeve ve Taşıyıcı Sistem Davranışına Bölme Duvarlarının Etkisi**,** *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı ,Bildiriler,*İstanbul, 26 Mayıs 2003

[5] **Stafford, S.B.** Lateral Stiffness of Infilled Fames, J. Struc. Eng. ASCE, Vol 88, pp 183-193, 1962

[6] **Stafford, S.B.** Behavior of Square Infilled Frames, J. Struc. Eng. ASCE, Vol 92, pp 31-38, 1965

[7] **Ersoy, U., Uzsoy, Ş.** Dolgulu Çerçevelerin Davranış Mukavemeti Ankara , 1971

[8] **Korkmaz, A., Uçar, T.,** 2006. *Betonarme Binaların Deprem Davranışına Dolgu Duvarların Etkisi*, İzmir, **101-108**

[9] **Govindan, P., Santhakumar A. R.** Ductility of Infilled Frames, ACI Journal, 567-567, Jully-August 1986

[10] **Negro P., Verzeletti G.** Effect of Infills on the Global Behaviour of R/C Frames: Energy Considerations from Pseudu-dynamic Tests, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25,753-773, 1996

[11] **Zarnic, R. ve diğ.,** Experimental Study of Methods for Repair and Strengthening of Masonry Infilled Reinfoced Concrete Frames, 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, 1986

[12] **Zarnic, R., Tomazevic, M.,** The Behaviour of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames Subjected to Cyclic Lateral Loding, References for Data Base of Confined Masonry Walls Proceeding of 8WCEE, pp. 863-870

[13] **Zarnic, R., Tomazevic, M.,** Modelling of Response of Masonry Infilled Frame, 10th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, 1995

[14] **Sönmez, S.**, 2005. Deprem Etkisinde Betonarme Binalarda Hasarın Oluşmasında Dolgu Duvarların Modellenmesi ve Taşıyıcı Sisteme Katkısı, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] **Pinto, A.V., Negro, P.** *Analysis Of The 4 Storey R/C Building To Be Tested In The ELSA-Reaction Wall Facility*, Rotterdam, 1995

[16] **Prakash, V., Powell G. H. and Campbell S.,** 1993. DRAIN-2DX base program description and user guide, SEMM Report, **UCB/SEMM-93/17**, University of California-Berkeley, CA.

[17] **Powell, G. H.,** 1993. DRAIN-2DX Element description and user guide for element type 01, type 04, type 06, type 09 and type 15, SEMM Report, **UCB/SEMM-93/18**, University of California-Berkeley, CA.

[18] **Hasgür, Z. ve Taşkın, B**., **2002.** Güçlendirme öncesi ve sonrası hasar indislerinin betonarme perdeli-çerçeveli yapılarda tayini, *Prof.Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri,* İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 30 Mayıs

[19] **Celep, Z., Kumbasar, N.** Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1996

[20] **Ersin, U. D.**, 1997. Küçük Titreşim Ölçümleri ve Dolgu Duvarların Mekanik Modele Yansıtılması , *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[21]**Yılmaz, E.**, 2006. 1999 Kocaeli Depremi Sonrasında Güçlendirilmiş Betonarme Bir Binanın Doğrusal Olmayan Dinamik Analizle Performansının Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[22] **Cheng, Franklin Y.,** 2001. Matrix Analysis of Structural Dynamics: Applications and Earthquake Engineering, Marcel Dekker, New York.

[23] **Bertero, V.V., & Brokken. S. T.** Studies on Effects of Infills in Seismic Resistans Reinforced Concrete Construction, **UBC/EERC-81/12**, Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkley, 1981

[24] **Yıldırım, M.**, 2004. Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarların Çeşitli Yönlerden incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

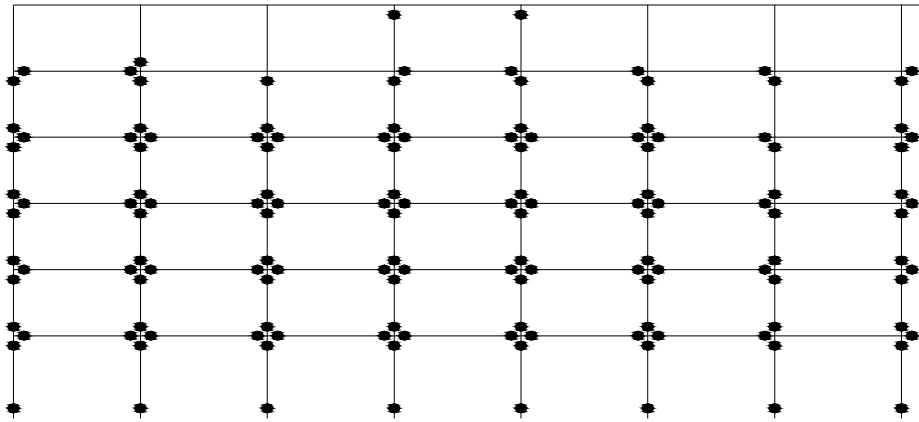
[25] **Gürel, M. Arif.**, 2001. Kargir Dolgu Duvarların Düzlemlerine Dik Deprem Etkileri Altında Davranışı, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EK-A

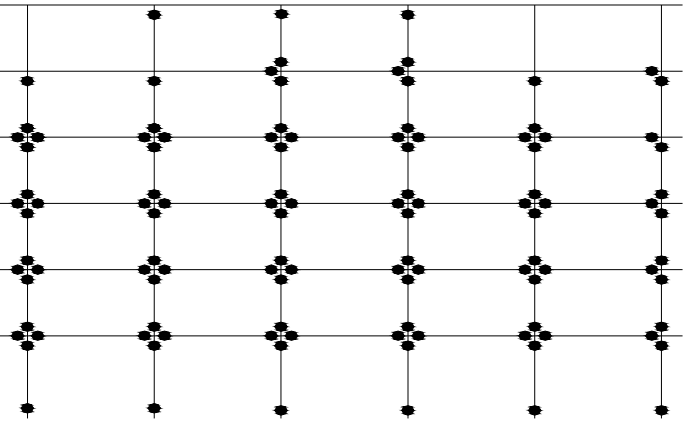
GÜÇLENDİRME ÖNCESİ ve SONRASI DURUM İÇİN

YAPIDAKİ MAFSAL OLUŞUMLARI

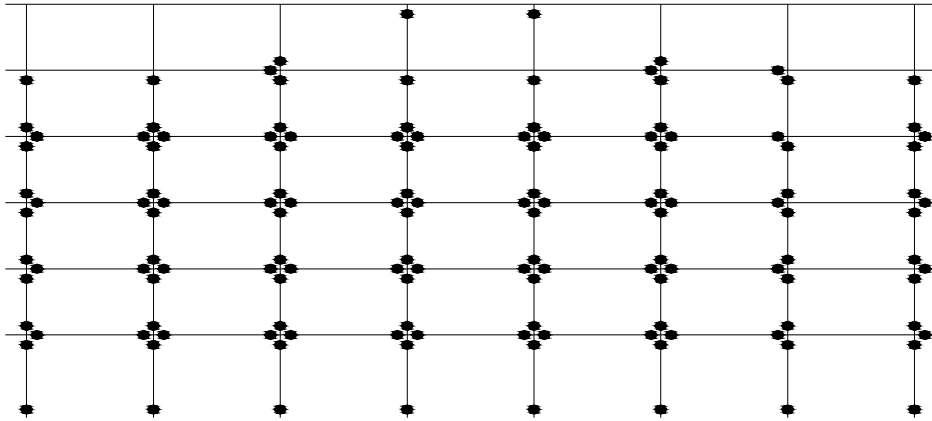
ÇERÇEVE-1



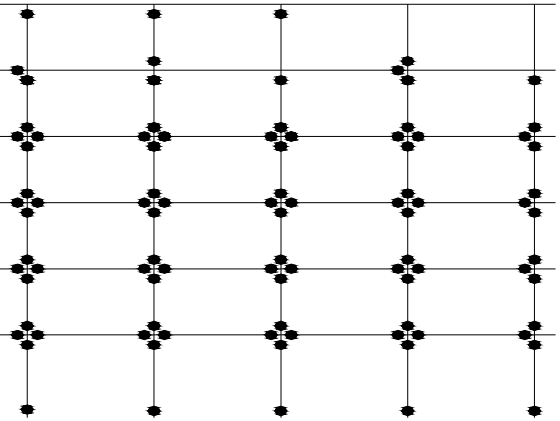
ÇERÇEVE-2

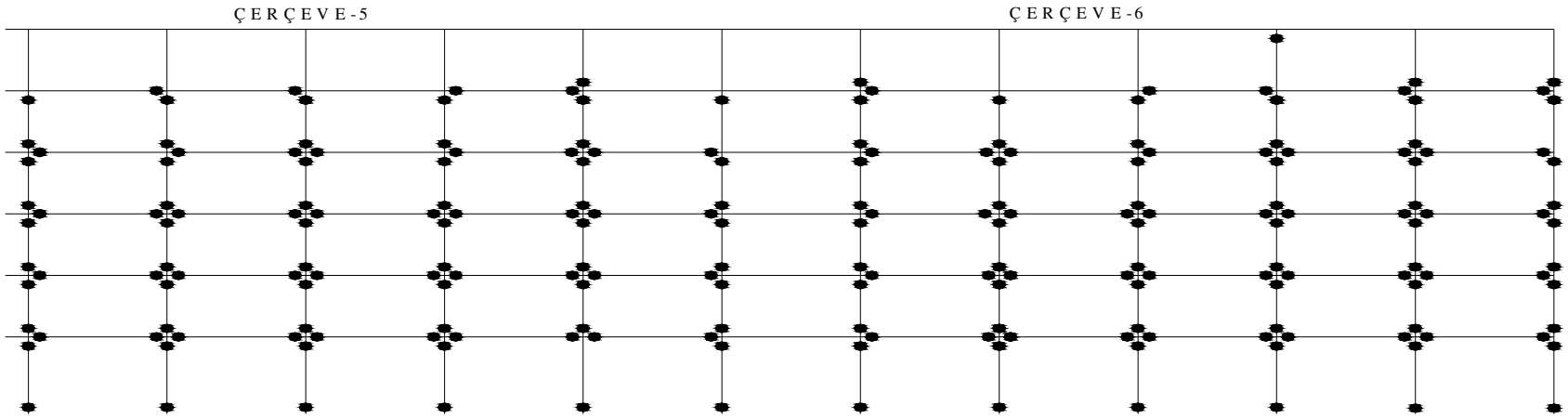


ÇERÇEVE-3

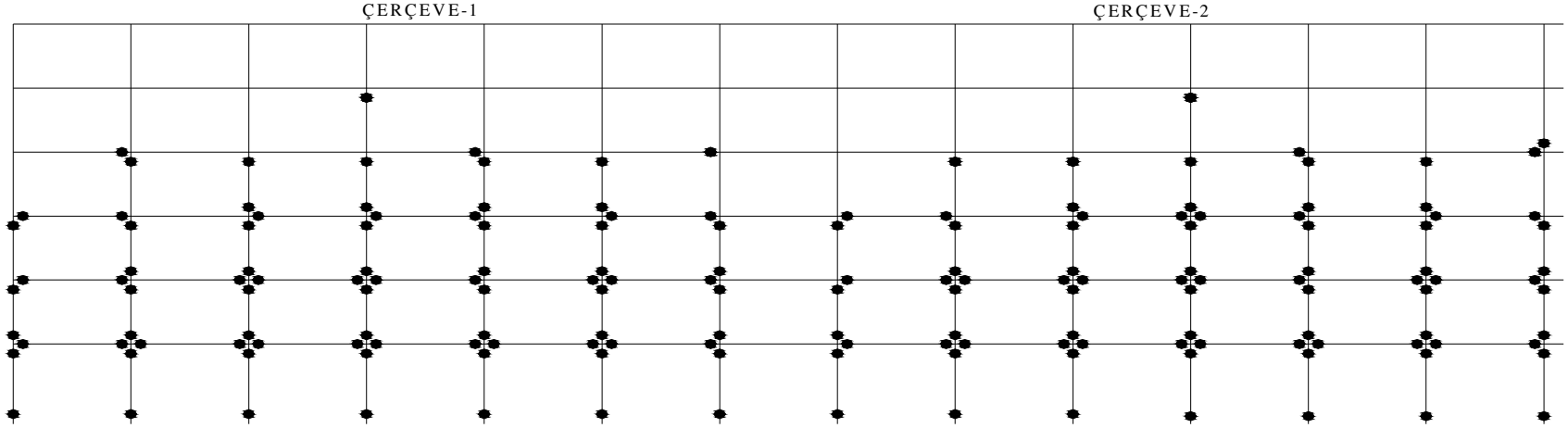


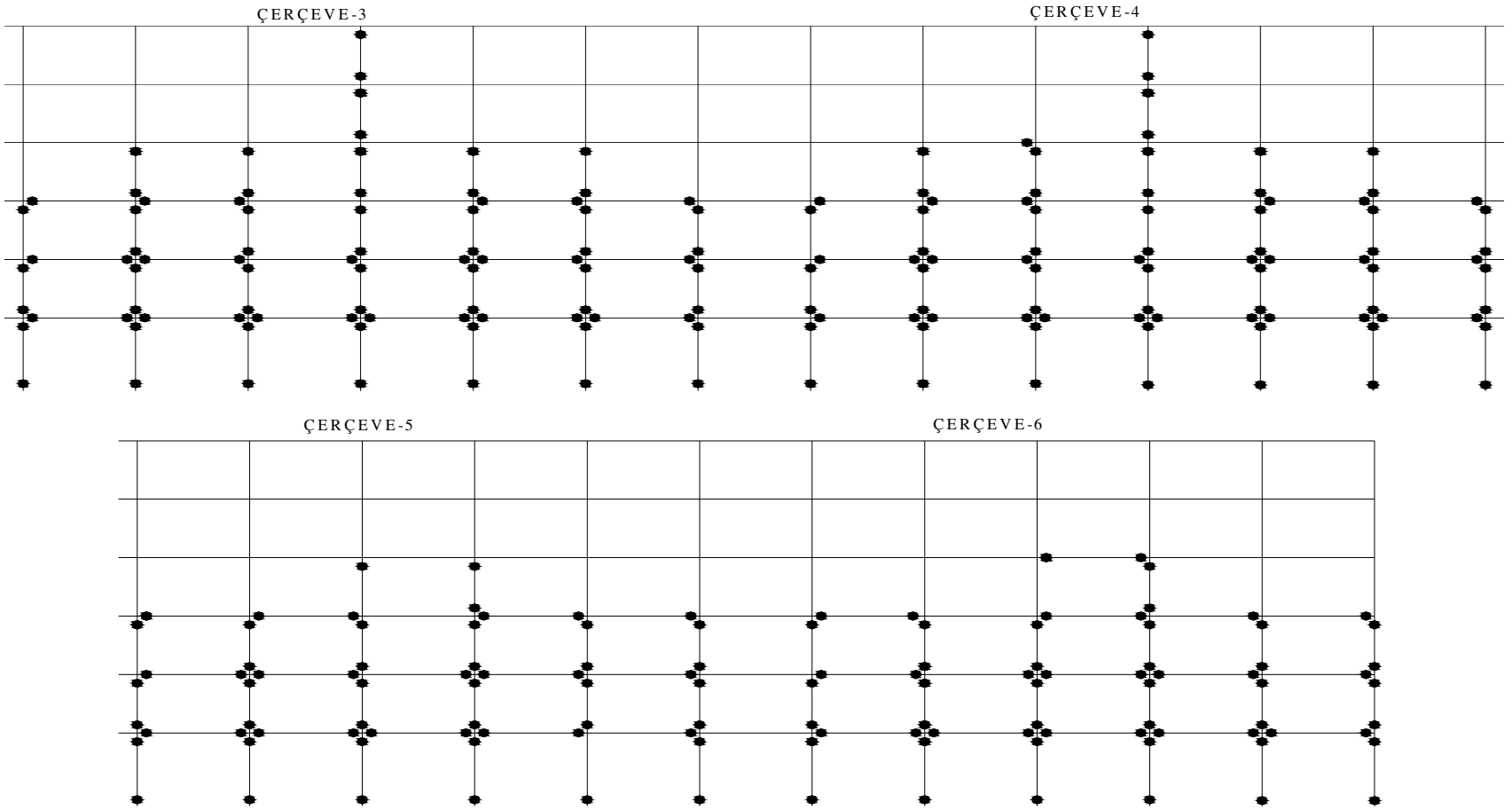
ÇERÇEVE-4



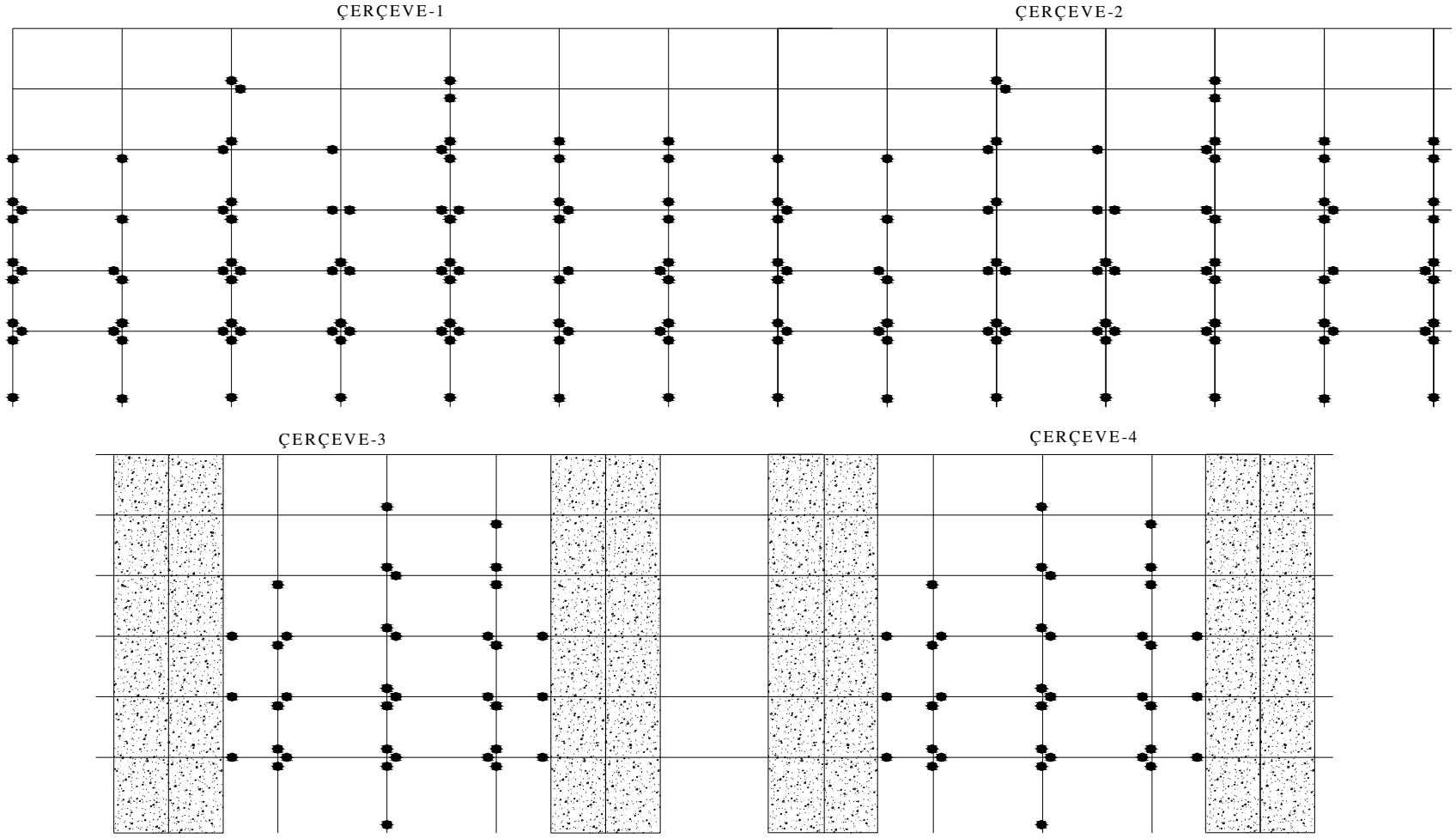


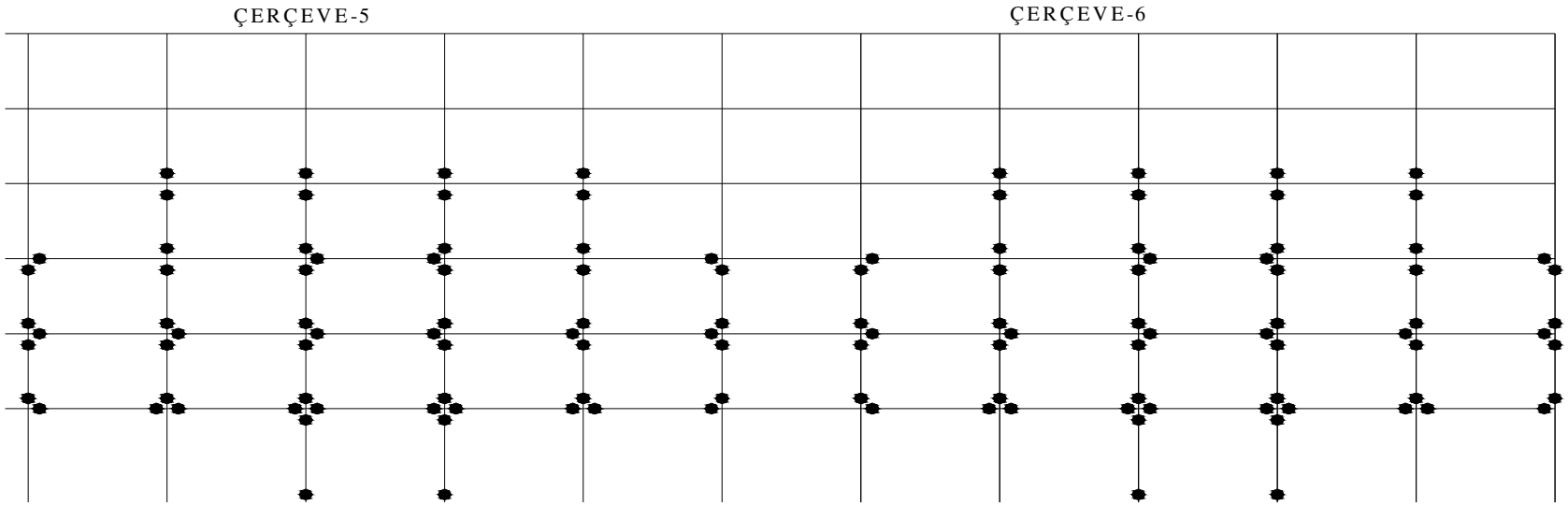
Şekil A.1 Güçlendirme öncesi Bolu DB duvarsız sistemde oluşan plastik mafsallar





Şekil A.2 Güçlendirme öncesi Yarımca DB ilk kat duvarlarının olmadığı sistem için plastik mafsalların oluşumu


ÇERÇEVE-1
ÇERÇEVE-2
ÇERÇEVE-3
ÇERÇEVE-4



Şekil A.3 Güçlendirme sonrası Bolu DB mimari durum için plastik mafsalların oluşumu

ÖZGEÇMİŞ

A. Volkan Akkuzu 1980 yılında Samsun'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Atatürk İlköğretim Okulu, Samsun Anadolu Lisesi ve 19 Mayıs Lisesin de tamamladıktan sonra, 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmiştir. 2003 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde İnşaat Mühendisliği anabilim dalı Yapı Mühendisliği programında yüksek lisans yapmaya başlamıştır. Halen aynı bölümde yüksek lisansına devam etmektedir.