

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİR YAPIDA DOLGU DUVAR ETKİSİNİN
DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK HESAP YÖNTEMİYLE
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ahmet TOKER**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2007

**BETONARME BİR YAPIDA DOLGU DUVAR ETKİSİNİN
DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK HESAP
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ahmet TOKER
501031242**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Beyza TAŞKIN
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Zeki HASGÜR (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Feridun ÇILI (İ.T.Ü.)**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Dünyada ve ülkemizde inşa edilmiş ve halen de inşa edilmekte olan özellikle konut amaçlı betonarme yapılar, büyük oranda çerçeve yada perde-çerçeve taşıyıcı sistemler olarak tasarlanmaktadır. Bu tip yapıların tasarımında ve çözümlemesinde, özellikle çok katlı binalarda rüzgar ve deprem gibi dinamik yatay yüklerde dolgu duvarlarının yapının yatay rijitliğine katkısı ihmal edilemeyecek düzeydedir. Bu çalışmada dolgu duvarlarının yapı davranışlarındaki etkilerini incelemek amacıyla, dolgu duvarlar gözönüne alınmadan başka bir çalışmada incelenmiş olan ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Yalova ilinde orta derecede hasar görmüş bir binanın, dolgu duvarlarının da modellemeye katılarak, güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası durumlarına ait doğrusal olmayan dinamik çözümleme sonuçları karşılaştırılarak dolgu duvarlarının yapının dinamik davranışına etkileri tespit edilmiştir.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesine başvurduğum, tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Beyza Taşkın'a göstermiş olduğu anlayış ve yardımları için, ayrıca tez kapsamında sunulan, önceki çalışmaya ait bilgilerin elde edilmesindeki yardımlarından dolayı İnş.Yük.Müh. Emrah Yılmaz'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2006

Ahmet Toker

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DOLGU DUVAR TAŞIYICI SİSTEM ETKİLEŞİMİ ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	3
3. DOLGU DUVAR ÖZELLİKLERİ VE DUVAR DAVRANIŞININ MODELLENMESİ	8
3.1. Dolgu Duvarların Yapısal Özellikleri	8
3.2. Dolgu Duvarların Davranış Biçimleri	8
3.3. Dolgu Duvarların Deprem Yükleri Etkisinde Taşıyıcı Sisteme Katkıları	11
3.4. Dolgu Duvar Davranışının Mekanik Modele Yansıtılması	13
3.4.1. Al-Chaar' ın Yöntemi ile Dolgu Duvarların Modellenmesi	16
4. YAPI SİSTEMLERİNİN DİNAMİK ANALİZİ	19
4.1. Doğrusal Sistemlerin Dinamik Analizi	20
4.2. Doğrusal Olmayan Sistemlerin Dinamik Analizi	21
4.3. Doğrusal Olmayan Sistemlerin Drain-2DX Programı ile Çözümlemesi	24
4.3.1. Analiz Adımları ve Çözümlemedeki Kabuller	25
4.3.2. Yapısal Modelin Drain-2DX Programı ile Hazırlanması	26
5. ÖRNEK BİR YAPININ DOLGU DUVARLARININ ETKİLERİ BAKIMINDAN DETAYLI İRDELENMESİ	30
5.1. Çalışmada Kullanılan Deprem Kayıtları ve Özellikleri	30
5.2. Yapının Güçlendirme Öncesi Doğrusal Olmayan Analizi	31
5.3. Yapının Güçlendirme Sonrası Doğrusal Olmayan Analizi	49
6. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR	67
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	93

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
BÇ	: Beton Çeliği
BS	: Beton Sınıfı
ÇSD	: Çok Serbestlik Dereceli
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri.....	22
Tablo 5.1. Kullanılan kuvvetli hareket kayıtlarının mühendislik şiddetleri- özgün kayıtlar.....	31
Tablo 5.2. Kısaltılmış kuvvetli hareket kayıtlarının mühendislik şiddetleri.....	31
Tablo 5.3. Elemanlardaki farklı enkesit özellikleri.....	33
Tablo 5.4. Elemanlardaki farklı akma değerleri.....	33
Tablo 5.5. Güçlendirme öncesi yapının duvarsız ve duvarlı analizlerindeki en üst kat yerdeğiştirmesine, taban kesme kuvveti talebine ve devrilme momenti talebine ait maksimum değerler.....	42
Tablo 5.6. Güçlendirme öncesi yapının duvarsız analizinde duvar ağırlıkları katılmadan hesaplanan en üst kat yerdeğiştirmesine, taban kesme kuvveti talebine ve devrilme momenti talebine ait maksimum değerler.....	42
Tablo 5.7. Dolgu duvarlı ve duvarsız yerdeğiştirme süneklikleri.....	45
Tablo 5.8. Güçlendirme sonrası yapının duvarsız ve duvarlı analizlerindeki en üst kat yerdeğiştirmesine, taban kesme kuvveti talebine ve devrilme momenti talebine ait maksimum değerler.....	57
Tablo 5.9. Güçlendirme sonrası yapının duvarsız analizinde duvar ağırlıkları katılmadan hesaplanan en üst kat yerdeğiştirmesine, taban kesme kuvveti talebine ve devrilme momenti talebine ait maksimum değerler.....	57

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Kayma gerilmesi sonucu duvarda oluşan kesme çatlakları.....	9
Şekil 3.2 : Diyagonal gerilme sonucunda oluşan orta şiddetteki çatlaklar....	10
Şekil 3.3 : Diyagonal gerilme sonucunda oluşan köşe çatlakları.....	10
Şekil 3.4 : Düzlem dışı yükler altında oluşan ağır şiddetteki düzlem dışı kırılmalar.....	11
Şekil 3.5 : Kısa kolon.....	13
Şekil 3.6 : Dolgu duvarlı çerçevenin Hrennikof eleman olarak modellenmesi.....	15
Şekil 3.7 : Dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük etkisindeki davranışı.....	16
Şekil 3.8 : Dolgu duvarlı çerçevede basınç çubuğu.....	16
Şekil 3.9 : Dolgu duvarın diyagonallar ile modellenmesi.....	17
Şekil 4.1 : Doğrusal olmayan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi.....	22
Şekil 4.2 : a) Elastoplastik davranış, b) Çift doğrulu davranış.....	23
Şekil 4.3 : 2-numaralı elemana ait eleman geometrisi ve moment-eğrilik bağıntısı.....	27
Şekil 4.4 : Eğilme momentinin a) sabit, b) değişken olduğu durumlara ait moment-dönme ve moment-eğrilik bağıntıları.....	28
Şekil 4.5 : 9-numaralı elemanın a) geometrisi, b) kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı.....	28
Şekil 5.1 : Yapının güçlendirilmemiş durumuna ait modellenen dolgu duvarları da gösteren zemin kat kalıp planı.....	32
Şekil 5.2 : Güçlendirilmemiş duruma ait dolgu duvarlı birleştirilmiş çerçeve.....	34
Şekil 5.3 : Güçlendirme öncesi dolgu duvarlı ve duvarsız ilk dört titreşim modu.....	36
Şekil 5.4 : Güçlendirme öncesi duvarsız duruma ait yerdeğiştirme zarfı.....	37
Şekil 5.5 : Güçlendirme öncesi duvarlı duruma ait yerdeğiştirme zarfı.....	37
Şekil 5.6 : Güçlendirme öncesi duvarsız duruma ait görelî kat ötelemeleri..	38
Şekil 5.7 : Güçlendirme öncesi duvarlı duruma ait görelî kat ötelemeleri....	38
Şekil 5.8 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarsız modellenen yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	39
Şekil 5.9 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarlı modellenen yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	39
Şekil 5.10 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarsız modellenen yapının taban kesme kuvveti taleplerinin zamanla değişimi.....	40
Şekil 5.11 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarlı modellenen yapının taban kesme kuvveti taleplerinin zamanla değişimi.....	40
Şekil 5.12 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarsız modellenen yapının devrilme momenti taleplerinin zamanla değişimi.....	41

Şekil 5.13 :	Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarlı modellenen yapının devrilme momenti taleplerinin zamanla değişimi.....	41
Şekil 5.14 :	Kocaeli ve Düzce depremlerinin çeşitli kayıtlarına göre dolgu duvarlı çözümlenedeki taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme değişimleri.....	45
Şekil 5.15 :	Güçlendirme öncesi duvarlı durum için Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan plastik mafsallar.....	47
Şekil 5.16 :	Kocaeli ve Düzce depremlerinin çeşitli kayıtlarına göre dolgu duvarlı çözümlenedeki taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme değişimleri.....	48
Şekil 5.17 :	Yapının güçlendirilmiş durumuna ait modellenen dolgu duvarları da gösteren zemin kat kalıp planı.....	49
Şekil 5.18 :	Güçlendirilmiş duruma ait dolgu duvarlı birleştirilmiş çerçeve.....	50
Şekil 5.19 :	Güçlendirme sonrası dolgu duvarlı ve duvarsız ilk dört titreşim modu.....	51
Şekil 5.20 :	Güçlendirme sonrası duvarsız duruma ait yerdeğiştirme zarfı.....	52
Şekil 5.21 :	Güçlendirme sonrası duvarlı duruma ait yerdeğiştirme zarfı.....	52
Şekil 5.22 :	Güçlendirme sonrası duvarsız duruma ait görel kat ötelemeleri.....	53
Şekil 5.23 :	Güçlendirme sonrası duvarlı duruma ait görel kat ötelemeleri.....	53
Şekil 5.24 :	Düzce depremi Bolu DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarsız modellenen yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	54
Şekil 5.25 :	Düzce depremi Bolu DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarlı modellenen yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	54
Şekil 5.26 :	Düzce depremi Düzce DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarsız modellenen yapının taban kesme kuvveti taleplerinin zamanla değişimi.....	55
Şekil 5.27 :	Düzce depremi Düzce DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarlı modellenen yapının taban kesme kuvveti taleplerinin zamanla değişimi.....	55
Şekil 5.28 :	Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarsız modellenen yapının devrilme momenti taleplerinin zamanla değişimi.....	56
Şekil 5.29 :	Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarlı modellenen yapının devrilme momenti taleplerinin zamanla değişimi.....	56
Şekil 5.30 :	Kocaeli ve Düzce depremlerinin çeşitli kayıtlarına göre güçlendirme sonrası dolgu duvarlı çözümlenedeki taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme değişimleri.....	58
Şekil 5.31 :	Güçlendirme sonrası duvarlı durum için Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan plastik mafsallar.....	60
Şekil 5.32 :	Kocaeli ve Düzce depremlerinin çeşitli kayıtlarına göre güçlendirme sonrası duvarsız ve dolgu duvarlı çözümlenedeki taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme değişimleri.....	61
Şekil 5.33 :	Güçlendirme öncesi ve sonrası dolgu duvarlı durumlara ait kapasite spektrumu ve talep spektrumu ilişkisi.....	62

Şekil A.1	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	70
Şekil A.2	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımca DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	71
Şekil A.3	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımca KG kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	72
Şekil A.4	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	73
Şekil A.5	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	74
Şekil A.6	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	75
Şekil A.7	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Düzce depremi Düzce DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	76
Şekil B.1	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre yapıdaki mafsal oluşumu.....	78
Şekil B.2	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımca DB kaydına göre yapıdaki mafsal oluşumu.....	79
Şekil B.3	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımca KG kaydına göre yapıdaki mafsal oluşumu.....	80
Şekil B.4	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce DB kaydına göre yapıdaki mafsal oluşumu.....	81
Şekil B.5	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre yapıdaki mafsal oluşumu.....	82
Şekil B.6	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıdaki mafsal oluşumu.....	83
Şekil B.7	: Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Düzce depremi Düzce DB kaydına göre yapıdaki mafsal oluşumu.....	84
Şekil C.1	: Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	86
Şekil C.2	: Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımca DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	87
Şekil C.3	: Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımca KG kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	88
Şekil C.4	: Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	89

Şekil C.5 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	90
Şekil C.6 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	91
Şekil C.7 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Düzce depremi Düzce DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri.....	92

SEMBOL LİSTESİ

A	: Elemanın donatı etkili enkesit alanı
A_e	: Herhangi bir kattaki etkili kesme alanı
A_g	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanları
A_k	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanları (kapı ve pencere boşlukları hariç)
A₁, A₂, A_d	: Hrennikof elemanların alanları
a	: İvme
a_{eff}	: Etkin yer ivmesi
a₁⁽ⁱ⁾	: i. İtme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal sözde ivme
D	: Eşdeğer diyagonal çubuğun boyu
d	: Dolgu duvarın köşegen uzunluğu
d₁⁽ⁱ⁾	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal sözde ivme
E	: Beton (çerçeve eleman) elastisite modülü
E_c	: Kolon elastisite modülü
E_d	: Duvar elastisite modülü
E_i	: Dolgu duvar elastisite modülü
F	: Eşdeğer diyagonal çubuk enkesit alanı
H	: Çerçeve yüksekliği
h	: Dolgu duvar yüksekliği
I	: Elemana ait donatı etkili atalet momenti
I_c	: Kolon atalet momenti
I_{EAP}	: Deprem hücum gücü şiddeti
I₁, I₂	: Hrennikof elemanların eylemsizlik momentleri
K_e	: Yapının elastik olmayan durumdaki rijitliği
l	: Dolgu duvar uzunluğu
M	: Elemanın eğilme momenti
M_y⁺	: Elemanın pozitif akma momenti
M_y⁻	: Elemanın negatif akma momenti
M(t)	: t anında elemandaki eğilme momenti
M_{max}	: Yapıda oluşan en büyük devrilme momenti
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
m	: Tek serbestlik dereceli sistemin kütlesi
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S_a	: İvme spektrumu
SI_{0.20}	: Housner şiddeti
S_{pv}	: Yalancı hız spektrumu
T	: Titreşim periyodu

t	: Dolgu duvar kalınlığı
t_{eff}	: Etkin süre
$u(t)$: Zamana bağılı yerdeğiştirme
u_{max}	: Yapının en üst katında oluşan en büyük yerdeğiştirme
u_u	: Taşıma gücü durumundaki yerdeğiştirme
u_y	: Akma anındaki yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(i)}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
V_{max}	: Yapıda oluşan en büyük taban kesme kuvveti
$V_{x1}^{(i)}$: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvveti
w	: Eşdeğer basınç çubuğu genişliği
λl	: Dolgu duvarlı çerçevenin görelî rijitlik katsayısı
θ	: Diyagonal çubuğun yatayla açısı
ν	: Poison oranı
η_{ci}	: Dayanım düzensizliği katsayısı
α	: Gerilme pekleşmesi oranı
α	: Sönüme etki eden kütle faktörü
β	: Sönüme etki eden rijitlik faktörü
θ	: Elemanda oluşan dönme
ΔM	: Elemandaki moment değişimi
Δt	: Süre değişimi
ϕ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
μ_1, μ_2, μ_3	: Yerdeğiştirme süneklilikleri
τ	: Sonsuz küçük periyot değişkeni
Ψ	: Elemanda oluşan eğrilik
ω	: Harmonik titreşime ait açısal frekans
ω_n	: Doğal titreşim frekansı
$\{f_D\}$: Sönüm kuvveti vektörü
$\{f_I\}$: Eylemsizlik kuvveti vektörü
$\{f_S\}$: İç kuvvet vektörü
$\{u\}$: Yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{u}\}$: Hız vektörü
$\{\ddot{u}\}$: İvme vektörü
$[C]$: Sönüm matrisi
$[K]$: Rijitlik matrisi
$[K_\beta]$: Sönüme etki eden rijitlik
$[M]$: Kütle matrisi
$\{P(t)\}$: Dış yük vektörü

ÖZET

Bu çalışmada, bölme duvarlar gözönüne alınmadan başka bir çalışmada incelenmiş olan ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Yalova ilinde orta derecede hasar görmüş bir binanın, dolgu duvarlarının da modellemeye anlatılan modeller uyarınca katılarak, güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası durumlarına ait doğrusal olmayan dinamik çözümleme sonuçları karşılaştırılmıştır.

DRAIN-2DX programı kullanılarak yürütülen analizde, dolgu duvarları Al-Chaar' ın yatay yükler etkisi altındaki dolgu duvarlı çerçevenin şekil değiştirmelerini esas alarak geliştirdiği, duvarların iki adet eşdeğer basınç çubuğu ile modellendiği yöntemle tanımlanmıştır. İncelenen yapının tersinir dinamik deprem yükleri altında doğrusal olmayan analizinde, yapı davranışının çift doğrulu histeretik modele uyduğu kabul edilmiştir. Dolgu duvarlarının, yapısal davranışa olan etkisinin doğrusal olmayan dinamik yöntemlerle irdelenmesi amaçlandığından, hesap yükünü azaltmak amacıyla tüm betonarme elemanların, çift doğrulu çevrim modeline uygun davrandıkları kabul edilmiştir. Duvarsız ve dolgu duvarlı, doğrusal olmayan dinamik çözümleme hesap sonuçlarının sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için önceki araştırmacılar tarafından düzenlenmiş yıkıcı özellikli, yumuşak ve nispeten sert zeminlerde alınmış, içlerinde darbe tipi depremleri de temsil eden 7 farklı kayıt aynen kullanılmıştır.

Güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası için yapı dolgu duvarlı ve duvarsız olarak modellenerek kat yerdeğiştirmeleri ve görelî yerdeğiştirmeler ile en üst kat yerdeğiştirmeleri, taban kesme kuvveti ve devrilme momentinin zamanla değişimleri karşılaştırılmıştır. Örnek binanın, güçlendirme öncesi durumuna ait yerdeğiştirme sünekliği üç farklı yaklaşım için, kullanılan deprem kayıtlarına göre incelenmiş ve duvarsız durumla karşılaştırılmıştır. Plastik mafsalların ilk olarak duvarlarda, daha sonra kirişlerde ve en son da kolonlarda oluştuğu tespit edilerek yerleri hesaplanmış ve farklı deprem kayıtları için gösterilmiştir.

Yapının güçlendirme öncesi, duvarsız ve dolgu duvarlı durumlar için artımsal eşdeğer deprem yükü uygulanarak, birinci modda doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Yapının güçlendirme öncesi ve sonrası performansı, DBYBHY 7. bölümdeki açıklamalara göre belirlenmiştir. Çözümlemede elde edilen sonuçların, dolgu duvarlı yapının doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

EVALUATION OF THE EFFECT OF INFILL WALLS ON A RC BUILDINGS STRUCTURE CONSIDERING NON-LINEAR DYNAMIC BEHAVIOR

SUMMARY

A reinforced-concrete building structure which had experienced moderate damage during the August 17, 1999 Kocaeli earthquake is investigated by non-linear dynamic analysis procedures considering the contributions of the infill walls for the cases of as-built and strengthened structural systems, respectively.

During the analyses, which are realized by DRAIN-2DX computer program, infill walls are introduced within the structural system data considering the method developed by Al-Chaar who has focused on the deformations of the infill walls subjected to lateral loads and modeled the infill walls with two equivalent compression struts. It is assumed that bilinear hysteretic model represents the nonlinear force-displacement relationship of the structural members for the nonlinear dynamic analysis under the reversal seismic loads. This assumption is made in the means of decreasing the amount of required time and number of unknowns within the dynamic equation of motion during the analyses, since the main purpose is concentrated on investigating the infill walls' effect on structural behavior. In order to compare the analyses results, same building with and without infill walls are investigated considering 7 different strong motion records having the characteristics of destructive, soft and solid grounds.

Besides the existence of infill walls, the building is modeled for as-built and strengthened cases. 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. Considering three different approaches, displacement ductility of the example building for the as-built case is analyzed subjected to the above-mentioned earthquake records and compared for bare frame case of the building. It is found out that the plastic hinges first appear within the infill walls, than beams and finally on columns. By using this data, the locations of plastic hinges are determined and exhibited for different earthquake records.

Before strengthening, the incremental equivalent earthquake loads are implemented for the cases of the building with infill walls and without infill walls and the nonlinear static pushover analysis considering the first mode load pattern of the building is realized. The performance of the building before and after strengthening cases are determined according to regulations in the latest earthquake code of 2006. Based on the performance evaluation analysis, it is clearly seen that the structural behavior with infill walls are consistent with the analyses results obtained from nonlinear dynamic analysis.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada inşa edilmiş ve halen de inşa edilmekte olan özellikle konut amaçlı betonarme yapılar, büyük oranda çerçeve yada perde-çerçeve taşıyıcı sistemler olarak tasarlanmaktadır. Bu tip yapılar gerek imalat detayları, gerekse ekonomik ömürleri ile orantılı olarak yatırım maliyetlerinin uygunluğu bakımından tercih edilmektedirler. Günümüzde bu tip yapıların tasarımında ve çözümlemesinde bütün yükün taşıyıcı sistem elemanları olan perdeler, kolonlar ve kirişler tarafından taşındığı varsayılarak ikincil yapı elemanlarının katkıları ihmal edilmektedir.

Bina çözümlemesinde hesaba katılmayan ikincil elemanların en önemlisi mimari olarak kullanılan dolgu (cephe ve bölme) duvarlardır. Düşey yükler altında dolgu duvarlarının katkısı ihmal edilebilir. Ancak özellikle çok katlı binalarda rüzgar ve deprem gibi dinamik yatay yüklerde dolgu duvarlarının yapının yatay rijitliğine katkısı ihmal edilemeyecek düzeydedir. Bu yüzden araştırmacılar 50 yılı aşkın bir süredir dolgu duvar-taşıyıcı sistem etkileşimi üzerine bir çok çalışma yapmışlardır. Dolgu duvarların yapı davranışına etkisi ile ilgili ilk çalışma 1956 yılında Polyakov tarafından yapılmıştır. Polyakov' un ortaya attığı, dolgu duvarların diyagonal basınç çubuklarıyla temsil edilme düşüncesi ondan sonra da araştırmacılar tarafından kabul görmüş ve geliştirilmiştir. İlk araştırmalardan bu yana hesap kolaylığı açısından tercih edilen bu yöntem gerçek davranışı temsil etmenin en basit yoludur.

Dolgu duvarlarının bina davranışına etkisi kabul görse de, deprem yönetmelikleri bu durumu hesaplamalara yansıtmayıp, genellikle duvarların yerleşimi ile ilgili kısıtlamalar getirmektedir. Sunulan bu çalışmada, örnek bir binanın dolgu duvarlı ve duvarsız doğrusal olmayan dinamik analizi sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, dolgu duvar-taşıyıcı sistem etkileşimi üzerine yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan güncel çalışmalar da dolgu duvarların yapıların dinamik deprem yükleri altındaki davranışına olumlu yada olumsuz yönde ihmal edilemeyecek etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Dolgu duvarların davranışları ve farklı modelleme yöntemleri, çalışmanın üçüncü bölümde açıklanmıştır. Dolgu duvarlarda deprem sırasında oluşan, modellemeye ışık tutacak hasarlar, nedenleri ve taşıyıcı sistemdeki sonuçları şekiller yardımıyla anlatılmıştır. Dinamik deprem yüklerinde duvarlarda oluşan diyagonal çatlaklara bağlı olarak, Al-Chaar' ın dolgu duvarlarını diyagonal eşdeğer basınç çubukları olarak modelleyen yöntemi açıklanmış ve bu çalışmada da aynı yöntem kullanılmıştır.

Dördüncü bölümde yapının doğrusal olmayan dinamik analizinde kullanılan histeretik çevrim ilişkileri tanımlanmıştır. Drain 2DX, (**Prakash ve diğ., 1993**) bilgisayar yazılımı yardımıyla taşıyıcı sistem elemanları çift doğrulu histeretik davranış gösterecek şekilde 2-numaralı eleman tipine göre, dolgu duvarları temsil eden eşdeğer basınç çubukları da sadece aksenal basınç taşıyacak şekilde 9-numaralı eleman ile modellenmişlerdir.

Doğrusal olmayan dinamik çözümlemesinde dolgu duvarlarının da modellemeye katıldığı betonarme bina, duvarlar gözönüne alınmadan **Yılmaz, (2006)** tarafından çözümlemesi gerçekleştirilmiş, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde orta derecede hasar gördükten sonra kolonları mantolanarak ve perdeler eklenerek güçlendirilmiş 4 katlı betonarme konut yapısıdır. Beşinci bölümde güçlendirme öncesi ve sonrası için dolgu duvar etkileri ayrıntılı olarak incelenmiş ve duvarsız durumla karşılaştırılmıştır. Binanın dolgu duvarlı ve duvarsız çözümlenmesi sonucunda güçlendirme öncesi ve sonrası durum için mod şekilleri, toplam kat yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, en üst kat yerdeğiştirmeleri, taban kesme kuvveti talepleri, devrilme momenti talepleri, yerdeğiştirme süneklikleri, mafsallaşmalar ve performans seviyeleri çeşitli deprem kayıtlarına göre tablolar ve şekiller ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak dolgu duvarların depremin başında yapının yatay rijitliğine önemli ölçüde katkıda bulunduğu, ancak duvarların yük taşıyamaz hale geldiği zaman sistemin duvarsız davranışa doğru gittiği gözlenmiştir. Gelişmiş ülkelerin yönetmelikleri de dahil olmak üzere deprem yönetmeliklerinde dolgu duvar-taşıyıcı sistem etkileşiminin yapı davranışı üzerindeki etkisinin hesaba katılmaması bu konuyu daha önemli hale getirmektedir.

2. DOLGU DUVAR-TAŞIYICI SİSTEM ETKİLEŞİMİ ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Dolgu duvarlar, taşıyıcı sistemi oluşturan çerçevelerin mimari tasarımın gereği olan boşluklarının daha çok kil malzemeden yapılan tuğla elemanlarıyla örülmesiyle oluşturulurlar. Bu bağlamda, dolgu duvarlar yapı planında kullanıcının isteğine bağlı olarak düzenlenen, mimari ikincil yapı elemanları olarak görülürler. Halbuki dolgu duvarların çerçeveler ile etkileşimi, birbirleriyle olan yük aktarımı önlenmedikçe gözönüne alınmalıdır. İki eleman arasındaki etkileşim, taşıyıcı sistemin yatay yükler etkisindeki davranışına ihmal edilemeyecek düzeyde tesir eder. Depremlerde oluşan hasarların yapıyı oluşturan tüm elemanlarda görülmesi de bu düşünceyi destekler.

Günümüzde, Mart 2006 tarihli Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) de dahil olmak üzere dolgu duvar-taşıyıcı sistem etkileşimi birçok yönetmelikte hesaba katılmamakta, genelde yalnızca dolgu duvarların yerleşimi ile ilgili kıstaslar getirmektedir. Dolgu duvarların düzensiz yerleşimi, burulma düzensizliklerine ve komşu katlar arasındaki rijitlik farkından dolayı oluşacak yumuşak kat düzensizliğine neden olmaktadır. Depremlerde zemin katlarda oluşan kısa kolon etkisi de tamamen duvarlardan kaynaklanmaktadır. Bu yüzden dolgu duvar-taşıyıcı sistem etkileşimi ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların çoğunda numuneler üzerinde yatay yüklemeler yapılmış, çerçevelerin hareketleri incelenerek rijitlik kavramı üzerinde durulmuştur. Dolgu duvarlı çerçeveler ile ilgili ilk çalışma 1956 yılında Polyakov tarafından yapılmıştır, (**Al-Chaar, 2002**). Dolgu duvarların eşdeğer sanal basınç çubukları olarak çerçeveye çaprazlar şeklinde kenetlendiği kabulü, Stafford Smith tarafından 1962, 1966, 1967 yıllarında ortaya atılarak incelenmiş, günümüzde de hala temel olarak kabul gören basit bir yöntem olarak önemini korumuştur. Stafford araştırmalarında dolgu duvarlı çerçevelerin yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının sadece malzeme karakteristik özelliklerine değil, aynı zamanda birbirleriyle olan etkileşim yüzeylerine de bağlı olduğunu bulmuştur.

Liauw tarafından 1979 yılında tek açıklılı ve dört katlı dolgulu çerçevelere dinamik yüklemeler yapılmış, duvarda bulunan boşlukların sistem dayanımını ve rijitliğini azalttığını bulmuştur. Liauw ve Kwan 1983 yılındaki çalışmalarının sonucunda sistem eğilme rijitliğinin en önemli parametre olduğunu bulmuştur, **(Tüzün, 1999)**.

Bertero ve Brokken, 1981 yılında deprem davranışını temsil eden tersinir dinamik yükleme altında tek açıklıklı, dört katlı, dört farklı tipte dolgu duvar kullanılmış 18 adet örnek üzerinde yapılan çalışmaları kapsamında şu sonuçlara ulaşmıştır:

a) Dolgu tipi ne olursa olsun boşluklu çerçeveye oranla dolu çerçevelerin yatay rijitliği önemli ölçüde artmıştır.

b) Etki eden yükün uygulanma şekline bağlı olarak yatay rijitlik ve dayanım değişmiştir. Tersinir dinamik yükler altında dolgunun yerleştirilişi ile çerçeveye çalışma şekli, hem rijitliği hem de dayanımı önemli ölçüde etkilerken monoton yükler altında bu özelliklerde bir farklılık gözlenmemiştir.

c) Genellikle ilk mafsallaşmalar ve hasarlar birinci kat elemanlarında oluşmuştur.

d) Boş çerçeveye dolgunun eklenmesi sistemin dinamik özelliklerini de etkilemiştir. Sistemin yatay rijitliği artmış dolayısıyla periyoduda azalmıştır. Sonuçta sistemin tersinir dinamik yükler altında yaptığı maksimum yerdeğiştirmeler de azalmıştır, **(Karshoğlu, 2005)**.

Yatay yüklere maruz kalan yapılarda, dolgu duvarların gerçek dayanım ve rijitliğe etkisinin önemi uzun zamandır kabul edilmektedir. Kırk yıl boyunca yapılan yoğun çalışmalara rağmen dolgu duvarlar, yapısal davranışın çözümlenmesinde ayrı elemanlar olarak hala gözönüne alınmamaktadır. Bu da tasarımının karışıklığı ve uygun bir teorinin geliştirilememesinden kaynaklanmaktadır. Son zamanlarda çok katlı yapıların tasarımı ve çözümlenmesi hızlı bir şekilde gelişmiş ve P- Δ etkilerinin sınırlanması temel tasarım felsefesi haline gelmiştir. Çerçeveler ne kadar esnekse ikincil eğilme momentleri de o kadar fazla olduğundan dolayı, geçmişe oranla günümüzde dolgu duvarların etkisi daha önemlidir. Dolgu duvarlar yatay rijitliği arttırılarak P- Δ etkisini de minimize etmektedirler, **(Saneijad ve Hobbs, 1995)**.

Esnek taşıyıcı sistemlere sahip yapıların, rijit dolgu duvarlar ile birleşmesi durumunda yapının dinamik özellikleri değişmektedir. Kısa periyodlu titreşimler bir çok durumda sismik hareketlerin artmasına neden olurlar. Elastik bölgede ve küçük genliklerde bu hareketler, rijit dolgu duvarlar tarafından karşılanır. Eğer dolgu

duvarlar yatay yüklere karşı koyacak şekilde tasarlanmadıysa zarar görürler. Bu durumda dolgu duvarlardan gelen yükler ana taşıyıcı sisteme aktarılacaktır. Bazı durumlarda dolgu duvarların ve yapıdaki betonarme elemanların etkileşimi ile oluşan kuvvetler yapının beklenmedik bir davranışına sebep olabilir. Bu da bireysel yapı elemanlarının çeşitli zararlar görmesine ya da binanın bir kısmının, hatta tamamının göçmesine neden olabilir, **(Tomazevic, 1999)**.

Betonarme taşıyıcı sistemlerin tasarımında, dolgu duvarların sismik davranışa etkisi dikkatle kontrol edilmelidir. Dolgu duvarların yapının sismik davranışına etkisi ile ilgili yapım ve tasarım aşamasında iki yaklaşım aşağıda sunulmaktadır, **(Tomazevic, 1999)**:

- a) Dolgu duvarlar, taşıyıcı sistemde ikinci derece yapı elemanları olarak yapılmalıdır. Buna bağlı olarak duvarlar yapı taşıyıcı sisteminden özel detaylar (derzler) ile ayrı olmalı böylece deprem sırasında taşıyıcı sistemin titreşimine engel olmamalıdır.
- b) Dolgu duvarlar yapı sisteminde taşıyıcı olarak yapılırsa, deprem sırasındaki sisteme yararlı etkileri tasarım aşamasında dikkate alınmalıdır. Duvarlar ile betonarme elemanlar arasındaki bağlantı şekilleri de yapının sünek davranışını etkilemektedir.

Dolgu duvarlar ile çerçeveler arasındaki etkileşim, genellikle hesap kolaylığı ve tasarım sırasında bilgi girişini azaltarak, bilinmeyen sayısını indirmek bakımından ihmal edilir. Bu etkileşimin ihmal edilmesinin iki önemli nedeni vardır. Bunlardan ilki günümüzdeki rekabet ortamında özellikle yüksek rüzgar etkisi ve deprem bölgelerinde yapılan çok katlı yapıların, taşıyıcı sistemlerinin yatay yüklemeleri temele en verimli aktarabilecek olanlarının tercih edilmesidir. Dolgu duvarların rijitliğinin ihmal edilmesi, verimsiz ve ekonomik olmayan bir çerçeve tasarıma sebep olmaktadır. Halbuki dolgu duvarların katkısı hesaba katılarak çerçeve tasarımında rijitliğe ve dayanıma olan gereksinim önemli bir derecede düşürülebilir.

İkinci, belkide daha önemli olan sebep ise dolgu duvarların katkısının görmezden gelinmesinin yapı için her zaman olumlu sonuçlar doğurmamasıdır. Dolgu duvarlar esnek çerçevenin yatay rijitliğini önemli derecede etkiler ve yatay yüklerin yapının çeşitli elemanlarında meydana getirdiği karşılıklı etkiler. Bu yüzden, beklenenden daha fazla yükler dolgu duvar tarafından karşılanmakta bu da duvarda hatta çerçeve elemanlarında aşırı yüklemeye kaynaklanan çatlaklara sebep olmaktadır.

Dolgu duvarların ve çerçevenin aşırı yük altında kalmasını önlemek ve uygun bir tasarım sağlamak için bu etkileşim göz önünde tutulmaktadır. Benzer şekilde dolgu duvarların kirişlerle etkileşimini ihmal etmek kirişlerin, uygun olmayan hatta yetersiz boyutlarda tasarlanmasına ve dolgu duvarlarda çatlaklara neden olabilir, (**Drysdale ve diğ., 1999**).

Celep ve Gençoğlu (2003), beş katlı bir taşıyıcı sistemde dolgu duvarların, binanın yatay yük davranışına olan etkisi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapıda deprem doğrultusundaki dolgu duvarlarının deprem kesme kuvvetinin kolonlarla olan paylaşımının ve bu paylaşımına duvar alanının etkisinin, duvarın üst ve alt kirişlerle ve iki yandaki kolonlarla olan bağlantısının etkisinin incelendiği çalışmada elde edilen önemli bulgular şöyledir:

a) Dolgu duvarların kat kesme kuvvetinin önemli bir kısmını karşıladığı görülmüştür. Bu durum mevcut yapılarda dolgu duvarlarının yatay yük kapasitelerinin göz önüne alınmasının önemine işaret etmektedir. Mevcut yapıların depreme karşı kapasitelerinin artırılmasında dolgu duvarlarının iyileştirilmesi ile de sağlanabileceği, dolgu duvarlarının doğrudan komşu olan kolonların kat kesme kuvvetlerinin önemli bir kısmını karşıladığı da görülmüştür.

b) Yurdumuzda meydana gelen depremlerde, dolgu duvarların boşluk oranının fazla olmasından dolayı sünek davranış göstermediği bunun sonucunda da hasarların oluştuğu tespit edilmiştir. Bu nedenle dolgu duvarları oluşturan blok malzemelerin belli bir yatay yük taşıma kapasitesine sahip, sünek olması gerekmektedir. Dolgu duvarların etkisi sistem çözümlemesinde dikkate alınmasa da yapıya sağladığı yatay rijitlik arttırımından dolayı tercih edilmelidir. Yapıların dolgu duvarlı çözümlemesi yapılırken duvarlardaki boşluk oranı, malzeme, harç ve işçilik kalitesi ihmal edilmemelidir.

c) Beş kata kadar olan yapıların güçlendirilmesinde, dolgu duvarların hasır çelik ile sünek bir hale getirilmesi maliyetinin düşük olması ve kolay yapılabilmesi bakımından önemlidir. Ancak, çerçevelerin tam dolu olmasının ve katlar arasındaki güçlendirilmiş dolgu duvarlarının üst üste olması gerektiği bu çalışmada da önerilmektedir. Bu yöntemle yönetmeliklerde bahsi geçen taşıyıcı sistemde ortaya çıkabilecek düzensizlikler de önlenmiş olacaktır.

Diğer yandan, **İrtem ve diğ., (2004)**, çalışmalarında dolgu duvarlarının betonarme yapı davranışına etkisinin incelendiği üç katlı betonarme yapıları irdelenmiş, DBYBHY' de öngörülen performans hedeflerinin büyük oranda gerçekleştiği ve dolgu duvarların dayanımının hesaplarda gözönüne alınmasıyla yapı davranışının değiştiği ve yapı performansı ile yapının başlangıç rijitliğinin önemli oranda arttığı belirlenmiştir.

Korkmaz ve Uçar, (2006) ülkemizde de oldukça sık karşılaşılan dolgu duvarlı yapıların deprem etkisindeki gerçek davranışlarında oldukça önemli olduğu belirlemişlerdir. Yapının deprem etkisi altındaki kapasitesinin, kat yatay yer değiştirmelerinin, görelî kat ötelemesi değerlerinin, sistemde oluşan plastik kesit dağılımlarının ve her plastik kesiti oluşturan yük değerleri üzerinde önemli etkisi olduğunu saptamışlardır. Bu etkilerin ihmal edilmesinin analizleri gerçek dışı bırakacağı ve yapısal analizle gerçek dışı sonuçlar elde edileceği sonucuna varılmıştır. Dolgu duvarlı çerçevede ilk plastik kesit dolgu duvar üzerinde meydana geldiği, sadece çerçeve sistemde ise ilk plastik kesitin kirişler üzerinde meydana geldiğini, bununla birlikte dolgu duvarlı çerçevelerde ilk plastik kesitlerin en üst kat yer değiştirmelerinin daha büyük değerlerinde meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada daha önce yapılmış araştırmalardan elde edilen bulguların ışığında detaylı olarak çözümlenmiş örnek bir yapı, dolgu duvarlı ve duvarsız olarak analiz edilerek, dolgu duvarların yapının yatay rijitliğine, enerji yutma kapasitesine ve dinamik davranışına etkisi üzerine sayısal karşılaştırmalar yapmaya yönelik bir biçimde doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleriyle incelenmiş, sonuçlar tartışmaya açılmıştır.

3. DOLGU DUVAR ÖZELLİKLERİ VE DUVAR DAVRANIŞININ MODELLENMESİ

3.1 Dolgu Duvarların Yapısal Özellikleri

Bu bölümde yapının önemli elemanlarından olan dolgu duvarlarının karakteristik özelliklerinden ve bunları etkileyen parametrelerden bahsedilecektir. Dolgu duvar etkilerinin taşıyıcı sistemin modellenmesinde tanımlanabilmesi için bu karakteristiklerin de bilinmesi gerekmektedir. Türkiye’ de inşa edilen yapılarda harman tuğlası, düşey delikli blok tuğla, dolu fabrika tuğlası, yatay delikli dolgu tuğlası ve son yıllarda da gazbeton kullanılmaktadır. Bu elemanları birleştirmek içinse az çimentolu kireç harcı, gazbeton içinse özel yapıştırıcı kullanılır. Bu durumda dolgu duvarların karakteristik değerleri başta kullanılan tuğla ve harcın çekme ve basınç dayanımlarına, harcın tuğlaya yapışma dayanımına, duvarın işçiliğine, derzlerin kalınlığına, tuğla elemanlarının boyutlarına, kullanılan harcın tazeliğine ve tuğlanın harcın suyunu emme kapasitesine bağlıdır.

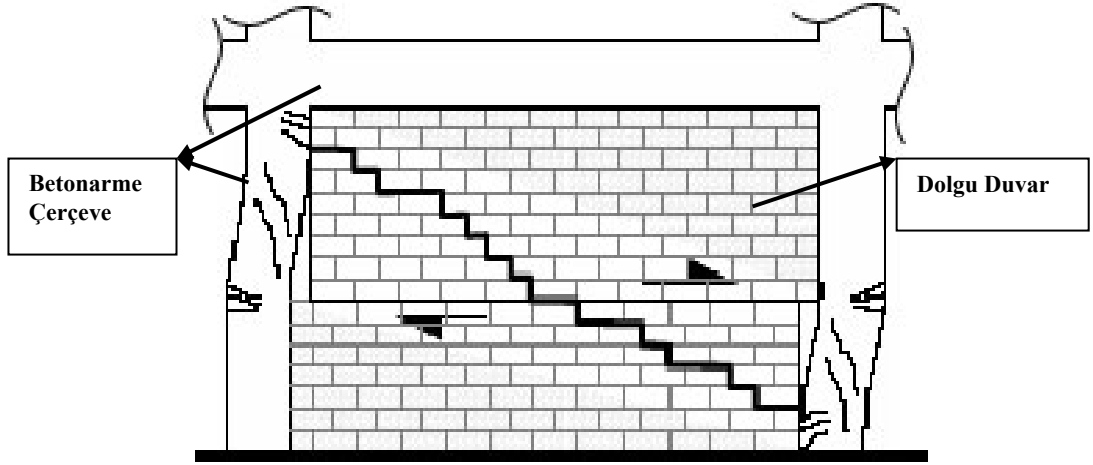
Dolgu duvarlarda dolgu malzemelerini birbirine bağlayan harç daha esnektir. Yatay yüklemeler altında dolgu duvarlarda harçlar ile dolgu malzemesi arasındaki aderans kuvveti harçta basınç, dolgu malzemesinde ise çekme gerilmesi oluşturur. Dolgu duvarların davranış şekilleri, herhangi bir yükleme sırasında oluşan şekil değiştirmeler bu ikilinin etkileşimi ile ilgilidir.

3.2 Dolgu Duvarların Davranış Biçimleri (Fema-306 ve 356)

Dolgu duvarları, yapının yatay rijitliğini ve enerji yutma kapasitesini (süneklik) arttırarak dinamik yükler altındaki davranışını da önemli derecede etkilemektedirler. Yapı rijitliğine sağladıkları artım nedeniyle, yapının mod şeklini ve periyodunu değiştirmekle beraber hesaba katılmayan kesme kuvvetlerinin ve normal kuvvetlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadırlar. Dolgu duvarlı çerçevesi yapı tiplerinin deprem sırasındaki davranışları incelendiğinde bazı karakteristik davranış biçimleri belirlenebilir.

a) Yatay Derz Kayması:

Dolgu duvarlarının orta bölgesinde oluşan kayma gerilmelerinin, harç tabakasının kayma dayanımı değerini aşması sonucu duvarda kayma kırılması meydana gelmektedir. Bunun sonucunda dolgu duvarları kesme kuvveti taşıyamaz duruma gelmekte ve yerdeğıştirmeler artarak kolonlardaki kesme kuvveti ve eğilme momentini arttırmaktadır. Bu davranış Şekil 3.1 de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Kayma gerilmesi sonucu duvarda oluşan kesme çatlakları

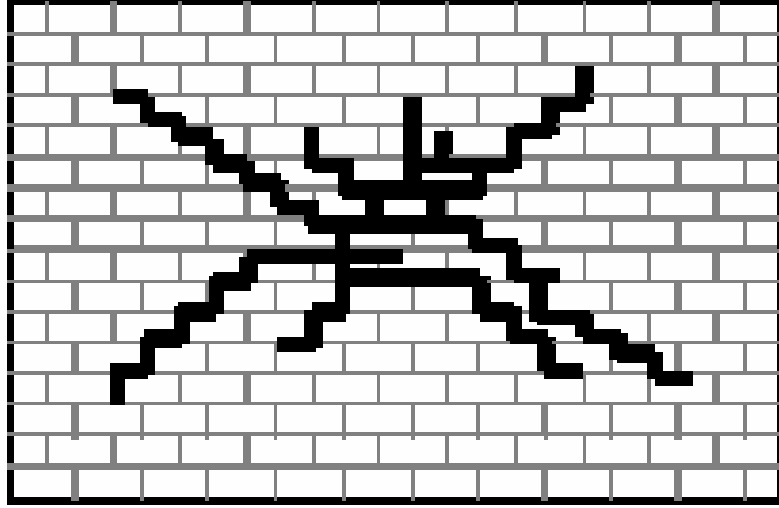
b) Çapraz Çatlama:

Dolgu duvarlı bir çerçevenin yatay yüklemelere maruz kalması durumunda duvarın köşegenleri doğrultusunda ve yüklemenin yönüne göre çekme ve basınç bölgeleri oluşur. Çerçeve sistemdeki birim yerdeğıştirme değerleri dolgu duvarın değerlerini aştığı zaman bu tür çatlaklar meydana gelmektedir. Katlar arasındaki yerdeğıştirme değerleri arttıkça çatlaklar köşelere doğru ilerleme eğiliminde olurlar. Şekil 3.2’de gösterilen, genellikle depremlerden sonra sıkça karşılaşılan bu çatlama biçimi dolgu duvarların modellenmesine de ışık tutmuştur.

c) Köşe Kırılması:

Köşe kırılması, yatay yüklemeye altındaki çerçevenin dolgu duvarlarında oluşan diyagonal gerilmelerin köşelerden herhangi birinde yüksek değerlere ulaşması ile meydana gelir. Rijit kolonların ve kirişlerin birleşim bölgeleri zayıf olduğundan dolayı bu tip köşe kırılmaları, Şekil 3.3’ deki gibi oluşmaktadır. Çerçeve

elemanlarında zayıf olduğu durumlarda bu elemanlarda da çatlaklar görülür. Yerdeğiştirme değerleri arttıkça köşe gerilmeleri sonucunda dolgu duvar köşeleri tamamen ezilmekte, zayıf olan çerçeve elemanlarında da çatlaklar orta bölgelere doğru ilerlemektedir.



Şekil 3.2 : Diyagonal gerilme sonucunda oluşan orta şiddetteki çatlaklar



Şekil 3.3 : Diyagonal gerilme sonucun oluşan köşe çatlakları

d) Düzlem Dışı Kırılma:

Yapının dolgu duvar düzlemine dik gelişen aşırı yükler ile zorlanması sonucu bu tür kırılmalar ortaya çıkmaktadır. Bu durumda dolgu duvarlarda hem düşey çatlaklar, hemde diyagonal çatlaklar meydana gelmektedir. Bu davranış Şekil 3.4' de görülmektedir.

$$[\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0.80] \quad (3.1)$$

$$\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0.15 \Sigma A_k \quad (3.2)$$

Yukarıdaki ifadelerde;

η_{ci} : Dayanım düzensizliği katsayısı,

ΣA_e : Herhangi bir katta etkili kesme alanı,

ΣA_g : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı,

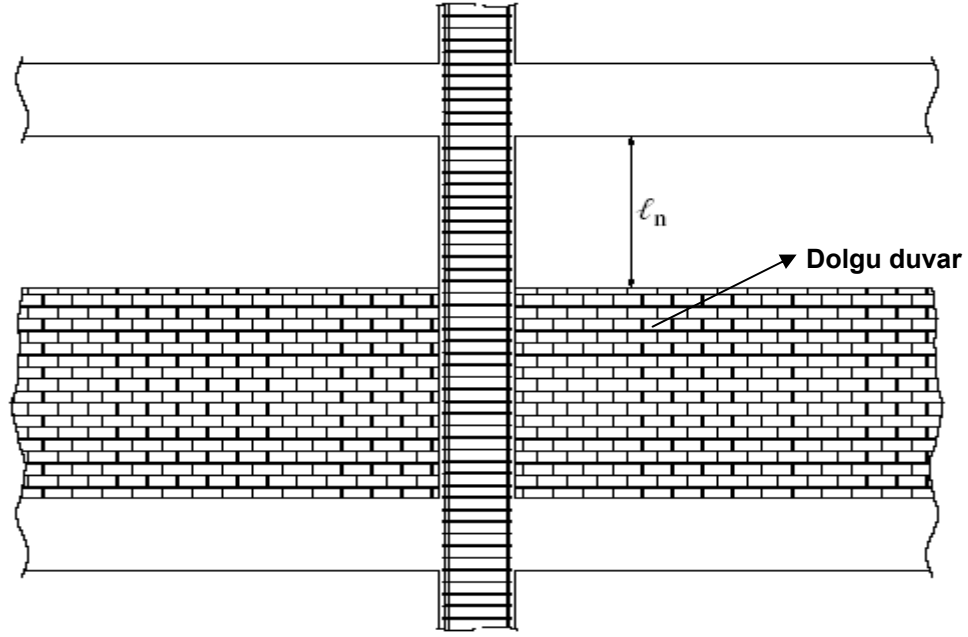
ΣA_k : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamıdır.

Bu düzensizlik dolgu duvarlarının yapının kesme kuvvetlerine olan dayanımına katkısını dikkate almaktadır.

c) Kısa kolonlar, dolgu duvarların farklı nedenlerle kolon boyunca süreklilik göstermediği durumlarda oluşurlar. Bu durum Şekil 3.5' de olduğu gibi l_n kolon etkili boyunun kısılmasına yolaçar. Kısa kolonlarda boyun kısılmasıyla meydana gelen rijitlik artımı, bu çerçeveler tarafından daha fazla yük istemi oluşmasına, dolayısıyla da kolonlarda oluşacak kesme kuvvetlerinde önemli artışlara neden olmaktadır. Dolgu duvarları kirişte oluşacak mafsallaşmayı önleyerek, plastik mafsalların kolon üst ucunda veya dolgu duvarın üstüne yakın bir yerde oluşmasına sebep olur. Kısa kolon oluşumu depremlerde hasar gören yapılarda da sıkça karşılaşılan bir durumdur.

Dolgu duvarların yapının yatay deprem yükleri altındaki davranışına etkileri aşağıdaki ana başlıklarda toplanabilir:

- a) Yapının yatay deprem yükleri altındaki rijitliğini arttırarak dinamik karakteristiklerini değiştirir ve periyodunu kısaltırlar.
- b) Çerçeveler boyunca taşıyıcı sistem elemanlarındaki kesme kuvveti dağılımlarının olumlu yada olumsuz yönde değişmesine neden olurlar.
- c) Dolgu duvarları harç derzlerinde oluşan sürtünme kuvvetleri ile yapının sönüm (enerji yutma) kapasitesini de arttırırlar.



Şekil 3.5 : Kısa Kolon

3.4 Dolgu Duvar Davranışının Mekanik Modele Yansıtılması

Dolgu duvarların analiz ve tasarımını geliştirme doğrultusundaki çalışmalar 1950 yılından itibaren birçok modelin gelişmesine yol açmıştır. İlk olarak tuğla dolgu duvarlı çerçevelerle, daha sonra da boşlukların dikkate alındığı testlerin ilk uygulamaları Benjamin ve Williams tarafından 1957 ve 1958 yıllarında yapılmıştır. Gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda dolgu duvarların nihai dayanımı ve rijitliği hakkında yaklaşık formüller üretmişlerdir. Palyakov 1956 yılında, dolgu duvarların diyagonal çubuklarla tanımlanabileceği fikrini ortaya atmıştır. Bu fikre bağlı olarak Holmes 1961 yılında diyagonalların kalınlığının dolgu duvarla aynı ve eninin de dolgu duvarın köşegen uzunluğunun 1/3' üne eşit olduğunu savunmuştur. Bu kural çerçeve görelî rijitliğine ve dolgu duvarların rijitliğine bakılmaksızın önerilmiştir. Smith 1962 yılındaki çalışmasında bu fikre katılmamış, görelî rijitlikteki çeşitliliğin diyagonal çubuk genişliğinde %100 farklılıklar yarattığını yaptığı testlerle ortaya koymuştur. Smith bu sorunu daha mantıklı bir yoldan düşünmüş ve genişlik ile görelî rijitlik arasında bir ilişki kurarak aşağıdaki görelî rijitlik parametresini elde etmiştir.

$$\lambda l = l^4 \sqrt{\frac{E_i t}{4EI l^i}} \quad (3.3)$$

(3.3) ifadesindeki değişkenler aşağıdaki gibidir:

λ : Dolgu duvarlı çerçevenin görelî rijitlik katsayısı

E_i : Dolgu duvar elastisite modülü

E : Çerçeve eleman elastisite modülü

t : Dolgu duvar kalınlığı

I : Çerçeve eylemsizlik momenti

l : Çerçeve uzunluğu

l' : Duvar uzunluğu

1971 yılında Mainstone dolgu duvarlı çerçeveler üzerinde deneysel araştırmalar yaparak aynı ilişkiyle aşağıdaki ifadeyi geliştirmiştir.

$$w = 0.175d(\lambda)^{-0.4} \quad (3.4)$$

Burada,

w : eşdeğer basınç çubuğunun genişliğini

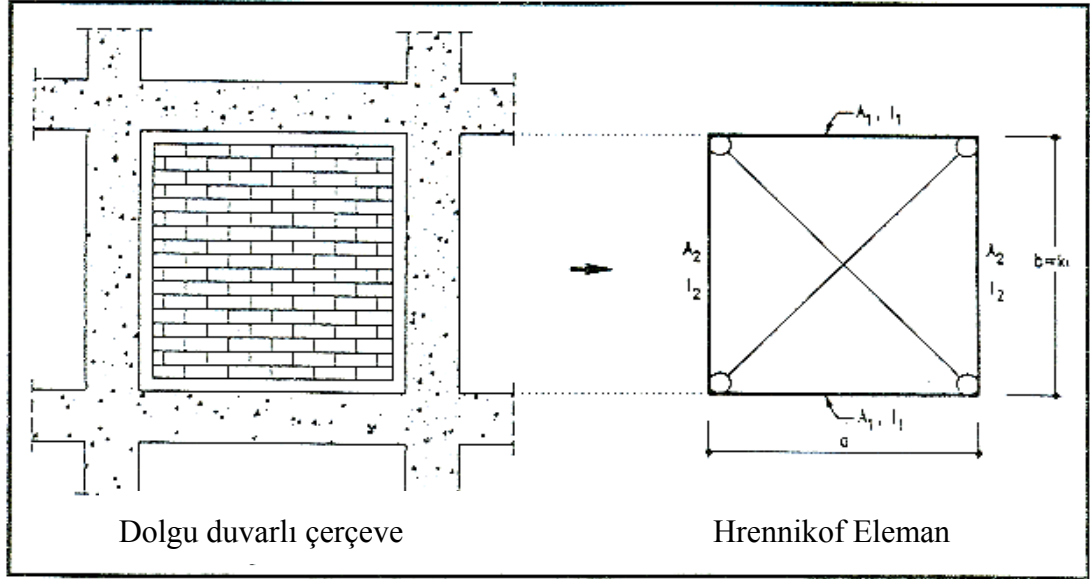
d : dolgu duvarın köşegen uzunluğunu

λ : görelî rijitlik katsayısını belirtmektedir.

Bu ampirik bağıntılar ile günümüze kadar önemli sayıda çalışmadaki eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımını (iki eşdeğer basınç çubuğu ile duvarın modellenmesi) basitleştirildiği için, başarılı bir şekilde tasarım ve dolgu duvarların değerlendirme çalışmalarında kullanılmıştır. Bu yaklaşım aynı zamanda **Fema-356, (2005)**' da da kabul edilmektedir.

Dolgu duvarlarının olumlu ve olumsuz etkileri sonlu elemanlar yöntemi ile tanımlanmaya başlandığında, daha da açıkça anlaşılmıştır. Bu olumsuzluklar köşe kırılması veya diyagonal çekme çatlamlarıdır. Bu yöntemin avantajı oluşturulan elemanlarda yoğunlaşan gerilmenin yardımıyla olumsuz hareketlerin rahatça gözlenebilmesidir. Dezavantajı ise çok karmaşık olmasıdır, basit bir mühendislik modeli oluşturulamaz. Bundan dolayı diyagonal modeline benzer bir dolgu duvar modelini oluşturma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu noktada tasarım mühendislerince çerçeve çalışma modeli uygulanarak daha basit bir uygulama modeli oluşturulmuştur. Burada çerçeve elemanlarına bitişik olan yüzey boyunca

dört kenar desteği, iki adet de diyagonal tanımlanmıştır. Bu yaklaşım ilk olarak **Hrennikof, (1941)** tarafından Şekil 3.6' daki gibi bir modele yansıtılmıştır.



Şekil 3.6 : Dolgu duvarlı çerçevenin Hrennikof eleman olarak modellenmesi

$$A_1 = \frac{at}{2(1-\nu)} \left(k - \frac{\nu}{k} \right) \quad (3.5)$$

$$I_1 = \frac{a^3 t}{24} \frac{1-3\nu}{1-\nu^2} k \quad (3.6)$$

$$A_2 = \frac{at}{2(1-\nu^2)} (1-k^2\nu) \quad (3.7)$$

$$I_2 = I_1 k \quad (3.8)$$

$$A_d = \frac{vat}{2(1-\nu^2)} \frac{(\sqrt{1+k^2})^3}{k} \quad (3.9)$$

Bu ifadelerde:

A_1, A_2, A_d : Hrennikof elemanların alanlarını,

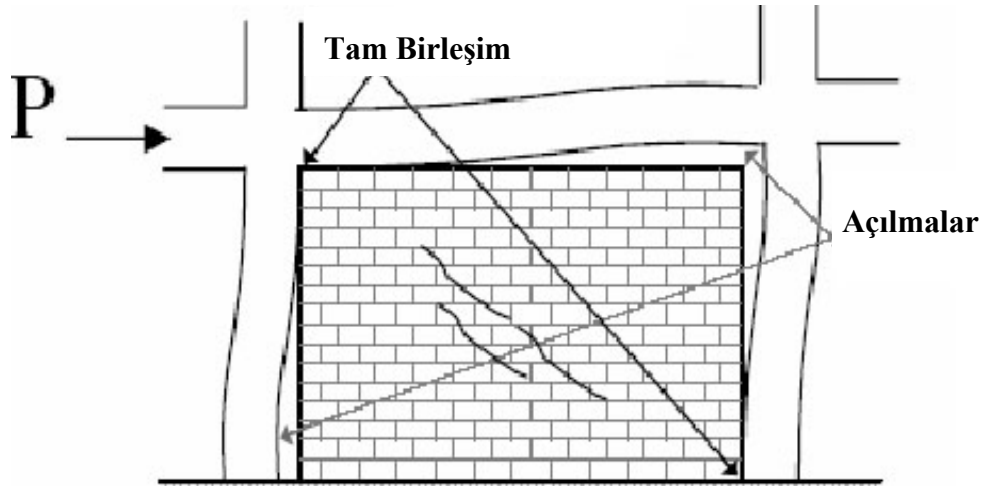
I_1, I_2 : Hrennikof elemanların eylemsizlik momentlerini,

t : Duvarın net kalınlığını,

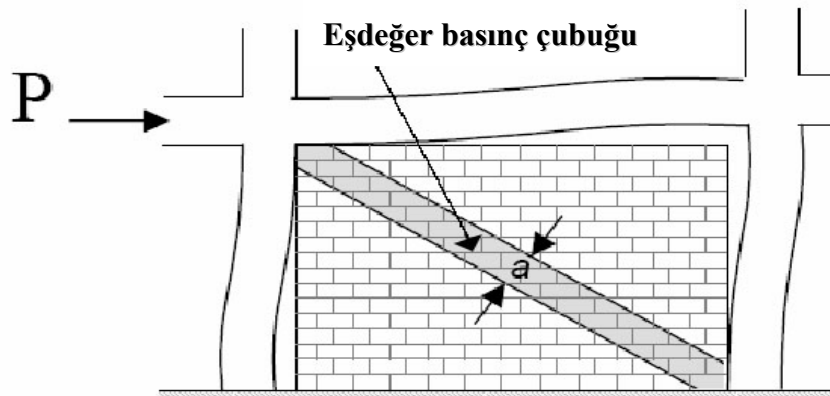
ν : Poisson oranını belirtmektedir.

3.4.1 Al-Chaar' ın Yöntemi İle Dolgu Duvarlarının Modellenmesi

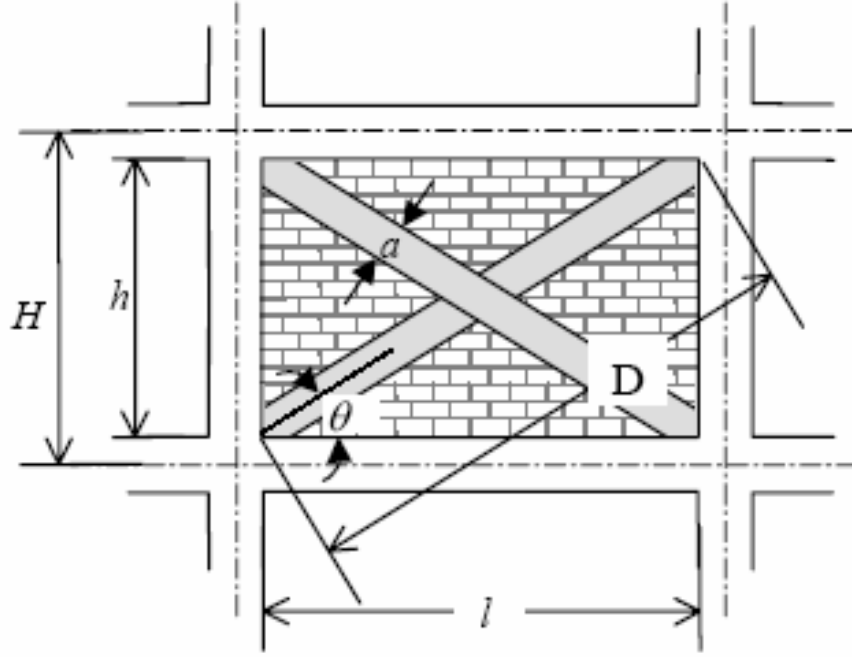
Bu yöntem yatay yükler etkisi altındaki dolgu duvarlı çerçevenin şekil değiştirmeleri esas alınarak geliştirilmiştir. Bu davranışa göre, duvarın yük aldığı köşegen doğrultusunda duvar orta bölgesinde artan basınçtan dolayı diyagonal çatlaklar oluşmaktadır. Duvarın yük almadığı köşegen doğrultusunda ise köşelerde duvar ve çerçeve birleşimlerinde açılma dolayısıyla da bu doğrultuda çekme oluşmaktadır. Bu durumda tersinir deprem yükleri etkisinde duvarın modellenmesinde iki adet diyagonal tanımlanmıştır. İki diyagonalı basınç çubuklarıyla oluşturulan bu sistem davranışı ilk olarak Polyakov tarafından 1956 yılında ortaya atılmıştır. Matematiksel modelin oluşturulmasında duvarların eşdeğer basınç çubuklarıyla temsil edilebileceği düşüncesi tasarım aşamasında sistemi çok basitleştirmiştir, (Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9).



Şekil 3.7 : Dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük etkisindeki davranışı



Şekil 3.8 : Dolgu duvarlı çerçevede basınç çubuğu



Şekil 3.9 : Dolgu duvarın diyagonallar ile modellenmesi

Dolgu duvar davranışını temsil eden a genişliğinde ve t kalınlığındaki bir eşdeğer basınç çubuğu aşağıdaki eşitlikler kullanılarak modellenmiştir.

$$\lambda_1 H = H \frac{E_d t \sin 2\theta^{\frac{1}{4}}}{4E_c I_c h} \quad (3.10)$$

$$a = 0.175D(\lambda_1 H)^{-0.4} \quad (3.11)$$

$$F = at \quad (3.12)$$

Burada,

λ_1 : duvardan çerçeveye gelen bağıl rijitliğe,

H : çerçeve yüksekliğine,

h : dolgu duvar yüksekliğine,

D : eşdeğer diyagonal çubuğun boyuna,

F : eşdeğer diyagonal çubuğun enkesit alanına,

l : dolgu duvar uzunluğuna,

t : dolgu duvar kalınlığına,

θ : diyagonal çubuğun yatayla açısına,

E_d : duvar elastisite modülüne,

E_c : kolon elastisite modülüne,

I_c : kolon atalet momentine,

karşı gelmektedir.

Yukarıdaki eşitlikler kullanılmak suretiyle, duvardan çerçeveye olan bağıl rijitlik tanımlanmıştır. Bu çalışmada da, dolgu duvarların tersinir deprem yükleri etkisinde betonarme taşıyıcı sisteme olan etkileri incelenirken, Al-Chaar tarafından önerilen modelleme yöntemi benimsenmiştir. Dolgu duvarlar modellenirken çatlama yüküne kadar elastik, daha sonra plastik davranış modeline göre modellenmiştir.

4. YAPI SİSTEMLERİNİN DİNAMİK ANALİZİ

Zamana bağılı olarak etkiyen yükler altında değişen sistem karakteristiklerini de gözönüne alarak, taşıyıcı sistemde oluşan iç kuvvetlerin, yerdeğiştirmelerin, dönmelerin, vb. sistem karşılıklarının zamana bağılı değişimlerinin incelenmesi yapı dinamiğinin konusunu oluşturur. Dinamik çözüm, statik çözüm gibi basit ve tek tek değerli değildir; yükler zamanla değiştiği için, elde edilen sistem karşılıkları da zamana bağılı bir çözüm ailesinden oluşur. Bu iki çözümleme yöntemi arasındaki en önemli fark, dinamik yerdeğiştirme sırasında mevcut konumunu korumaya çalışan sistemde eylemsizlik kuvvetlerinin meydana gelmesidir. Bir sisteme etkiyen yük dinamik özelliğe sahipse, zamana bağılı olarak meydana gelecek yerdeğiştirmeler, ivmeleri ve eylemsizlik kuvvetlerini ortaya çıkarırlar. Bu durumda sistemde harekete sebep olan dış yük ve mevcut konumunu korumaya çalışan eylemsizlik kuvvetlerinden bahsedilebilir. Bu iki etkiye karşı koyacak kesit tesirleri ve hareketi sönümleyici iç kuvvetler meydana gelir. Bu sebeplerden dolayı eylemsizlik kuvvetleri hesaplanmadan sistemde oluşan iç kuvvetler ve sönüm kuvvetleri hesaplanamaz. Fakat eylemsizlik kuvvetleri de, yerdeğiştirmelerin oluşmasına neden olan kuvvetlere bağılıdır. Bu bağımlılıkları gözönüne alarak hesap yapabilmek için zamanla değişen dış yük ile buna karşı koyan eylemsizlik kuvvetleri arasındaki kuvvetler dengesini ifade eden bir diferansiyel denklem kurulabilir. Taşıyıcı sistemin zamanla değişen dinamik yükler altındaki davranışını temsil eden diferansiyel denklemin çözülebilmesi için, harekete başlamadan önceki başlangıç koşullarının bilinmesi gerekir. Sistem dış yük etkisiyle veya mesnet yerdeğiştirmesiyle harekete başlayabilir. Yapı davranışının tam anlamıyla belirlenebilmesi için, hareket denklemini uygun başlangıç ve sınır koşulları altında çözülür, **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.

$$\{f_I\} + \{f_D\} + \{f_S\} = \{P(t)\} \quad (4.1)$$

$\{f_I\} = [M]\{\ddot{u}\}$ eylemsizlik kuvvetlerine, $\{f_D\} = [C]\{\dot{u}\}$ sönüm kuvvetlerine, $\{f_S\} = [K]\{u\}$ iç kuvvetlerine bağılı olarak yukarıdaki ifade:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada [M] kütle matrisini, $\{\ddot{u}\}$ ivmeyi, [C] sönüm matrisini, $\{\dot{u}\}$ hızı, [K] rijitlik matrisini, $\{u\}$ yerdeğiştirmeyi ve $\{P(t)\}$ ise dış yük vektörü ifade etmektedir.

4.1 Doğrusal Sistemlerin Dinamik Analizi:

İç kuvvet-şekil değiştirme arasındaki ilişkinin ve malzeme davranışının doğrusal olduğunun kabul edildiği sistemler doğrusaldır. Doğrusal sistemde dış yükler sonucunda oluşan iç kuvvetlerle, (f_s), meydana gelen yerdeğiştirmeler, (u), arasında, $\{f_s\} = [k]\{u\}$ ilişkisi vardır. Yük boşalması ve ters yükleme durumlarında da sistem davranışı yine doğrusal kabul edilir. Tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerin doğrusal davrandığı kabulüne dayanan çeşitli çözüm yöntemleri vardır.

Doğrusal sistemin hareket halindeki konumu bir parametrenin verilmesiyle elde edilebiliyorsa, bu tür sistemler tek serbestlik dereceli (TSD) sistemler olarak tanımlanır. Sisteme etkiyen kuvvetlere, eylemsizlik kuvvetlerinin de eklenmesiyle oluşan hareket denkleminin çözümü klasik diferansiyel denklem yöntemi, Duhamel integrali, dönüşüm metodları ve yaklaşık sayısal yöntemler ile elde edilebilir. Genel ve özel olmak üzere iki çözümden oluşan diferansiyel denklemin çözümünde, denklemi oluşturan sistemin başlangıç koşullarının çözümde dikkate alınmasıyla özel çözüm, diferansiyel denklemin çözümü ile de genel çözüm elde edilir.

(4.2) ifadesi ile doğrusal sisteme uygulanan dış yükü, bir dizi sonsuz derecede kısa itki şeklinde ifade eden Duhamel integrali görülmektedir. Herhangi bir t anında $P(t)$ dış kuvvetine karşı sistemin tepkisi, o zaman adımına kadar olan tüm itkilerdeki tepkilerin toplanmasıyla bulunur.

$$u(t) = \frac{1}{m\omega_n} \int_0^t p(\tau) \cdot \sin \omega_n(t - \tau) d\tau \quad (4.3)$$

Bu denklemde m TSD sistemin kütleini, ω_n doğal titreşime ait açısız frekansı ifade etmektedir.

Yapı sistemlerine t zamanı süresince etkiyen dinamik yükler, zamana bağlı bir denklem şeklinde ifade edilebilirler. Fakat karmaşık titreşimleri, dolayısıyla da

deprem hareketlerini böyle bir denklemle ifade etmek imkansızdır. Bu nedenle deprem kaydındaki her bir ivme için yapı sisteminin karşılığı sayısal yöntemlerle hesaplanır.

Çok serbestlik dereceli (ÇSD), viskoz sönüme sahip, doğrusal sistemlerin dinamik davranışı klasik modal analiz ile belirlenebilir. Bu tür sistemlerde hareket denklemleri modal koordinatlara dönüştürülerek ayrık hale getirilir, doğal frekanslar ve titreşim modları çözümlenir. Böylece her titreşim modu için karşılıklar ayrı ayrı hesaplanabilir ve modal karşılıklar sistem toplam karşılığını belirlemek için birleştirilebilir. Her mod, kendi mod şekline, kendi yerdeğiştirme dizilimine, kendi doğal frekansına ve sönüm değerine sahiptir, (**Chopra, 2001**).

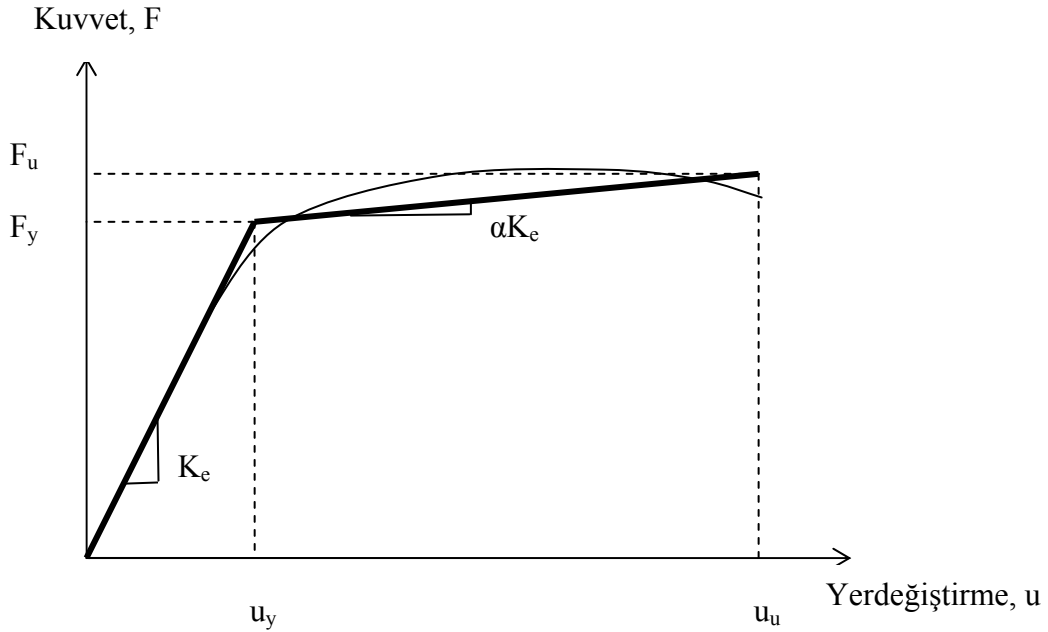
4.2 Doğrusal Olmayan Sistemlerin Dinamik Analizi

Sistemlerin doğrusal davrandığı kabulüne dayanan hesap yöntemlerinde, yerdeğiştirme değerlerinin çok küçük olduğu varsayılır ve gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal ve elastik olarak alınarak hesap kolaylığı sağlanır. Buna karşılık yapının dış yükler etkisinde yer ve şekil değiştirmeleri arttıkça, yani yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal ve elastik sınırı aşmakta, yerdeğiştirmelerde ihmal edilemeyecek değerlere çıkmaktadır. Genel olarak malzemenin doğrusal ve elastik olmamasıyla gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının ve geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmaması yapı sistemlerinin dış yükler altında doğrusal davranış göstermemesine neden olurlar. Tablo 4.1' de yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan sebepler ve bunların dayandıkları teoriler bulunmaktadır, (**Özer, 2004**).

Dinamik deprem kuvvetleri gibi ardışık yüklemelerde, elemanlar elastik sınırı aşarak kalıcı plastik şekil değiştirmeler yapmaya başlar. Şekil 4.1 doğrusallığını kaybeden sistemler için kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisini göstermektedir. Doğrusal-elastik bölümünden sonraki ikinci doğru parçası gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin doğrusal olmayan kısmını içerir, bu kısmın hesaba katılmasıyla çözümleme doğrusal olmayan, diğer bir deyişle elastik olmayan çözümleme haline dönüşür. Doğrusal olmayan çözümleme yüklemelerin sistemin taşıma gücünü aşmadan önceki kısmını da içerdiği için doğrusal çözümü de içine alır.

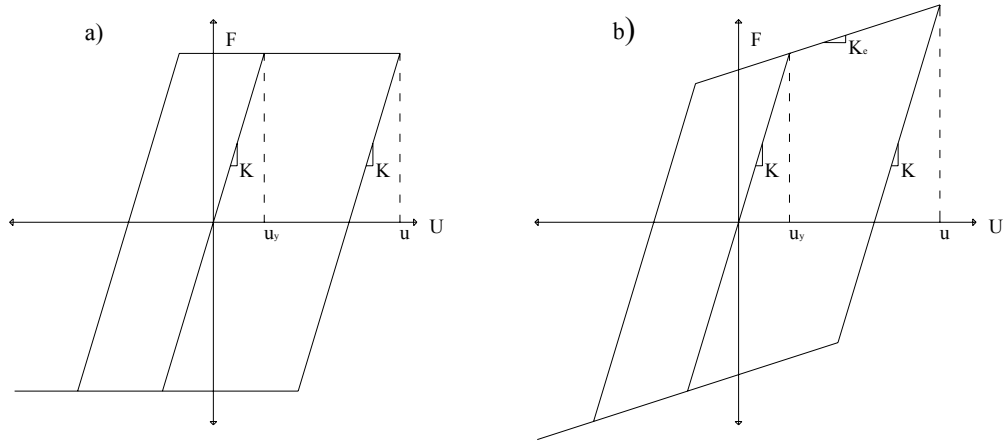
Tablo 4.1: Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Gerilme-Şekil Değişirme Bağlılıkları	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Değil	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Elastik	Doğrusal-Değil	Doğrusal-Değil
Denge Denklemlerindeki Yerdeğişirmeler	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil	Küçük Değil
Geometrik Uygunluk Koşullarındaki Yerdeğişirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük	Küçük Değil

**Şekil 4.1:** Doğrusal olmayan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Ardışık yüklemeler altındaki yapısal bir elemanın, kuvvet-yerdeğiştirme bağıntısında malzeme davranışı elastik değilse, histeretik ve çevrimsel bir sistem davranışı ile karşılaşılır. Bu davranışa bağlı kalınarak, etkiyen yükün de tersinir karakteristiklerini kapsayacak şekilde bir dizi yapısal kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi çeşitli araştırmacılar tarafından modellenmiştir. “Histeretik Model” olarak adlandırılan bu ilişkiler, sistem elemanlarının yükleme, boşalma ve yeniden yükleme altındaki karşı gelen

yerdeğiştirme zarflarını ifade etmektedir. Araştırmacılar taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizinde kullanılmak üzere çeşitli histeresis modelleri üzerinde çalışmışlardır. Şekil 4.2' de bahsi geçen modellerden, bu çalışmada da basitliği bakımından kullanılacak olan çift doğrusal çevrim modeli, elastoplastik ve pekleşmeli durumlar için gösterilmektedir.



Şekil 4.2: a) Elastoplastik davranış; b) ift doğrusal davranış

Elastoplastik modelde iç kuvvet-şekil değiştirme eğrisinin doğrusal olan ilk kısmı, kesitin akma anına kadar ki davranışını temsil edecek şekilde doğrusal artmaktadır. Kesit akma anından sonra taşıma gücüne ulaşana dek yk taşımamakta ve rijitliği sıfır olmaktadır. Yük boşalması ise elastik kısmın başlangıç rijitliğinde gerçekleşir.

Gerilme pekleşmesi özelliğinin dikkate alındığı çift doğrusal modelde, sistemin akmasından sonra oluşan rijitlik kolaylık bakımından, akmadan önceki elastik kısmın rijitliği cinsinden ifade edilir. Akma anından sonraki yk boşalımı ve ters yüklemede oluşacak rijitlik azalımını dikkate almasa da elastoplastik modelden daha gerçekçi bir modeldir.

Çift doğrusal histeretik model, taşıyıcı sistem elemanlarının içerisinde eğilme modunun hakim olduğu elemanlar için iyi bir yaklaşım sağlamaktadır. Betonarme perdeler gibi, kesme kuvvetlerinin büyük olduğu, buna bağlı olarak da kayma şekil değiştirmelerinin mutlaka gözönüne alınması gerekli olan elemanlar içinse başlangıca yönelik çevrim modeli gibi daha yakınsak sonuçlar veren modeller mevcuttur. Ancak bu çalışmada duvarların, yapısal davranışa olan etkisinin doğrusal olmayan dinamik yöntemlerle irdelenmesi amaçlandığından, hesap yükünü azaltmak amacıyla tüm betonarme elemanların, çift doğrusal çevrim modeline uygun

davrandıkları kabul edilmiştir. Sisteme güçlendirme sonrasında eklenen betonarme perdelerin de kesme kuvveti nedeniyle göçmeye ulaşmadığı ve dolayısıyla da yine çift doğrulu histeretik modelle temsil edilebilecekleri kabul edilmiştir.

Dinamik yükler altındaki doğrusal olmayan sistemler sabit bir davranış göstermediği için her yüke karşılık gelen zaman adımında sistem karşılıklarının hesaplanması için, daha önceden de belirtildiği gibi sayısal hesaplama yöntemleri kullanılır. Kullanılan hesap yöntemlerinden bazıları aşağıda açıklanmaktadır.

Newmark metodu, Δt zaman artımlarında ivmelerin doğrusal olarak değiştiğini kabul eder. Hesaplanmak istenen zaman adımındaki ortalama deprem ivmesi belirlenir ve $(t+\Delta t)$ süresindeki yerdeğiştirme ve hız değerleri, t başlangıç durumundaki yerdeğiştirme, hız ve ivme değerleri ile $(t+\Delta t)$ süresindeki ivme değeri cinsinden yazılır. Diferansiyel denklemde elde edilen veriler yerlerine konularak çözülür ve $t+\Delta t$ anındaki hız ve yerdeğiştirme değerleri hesaplanır.

Wilson- θ metodu'nda, t 'den $(t+\theta\Delta t)$ zamanına kadar ivmelerin doğrusal olarak değiştiği varsayılır ve dolayısıyla Newmark metodu da kapsanır. İvmenin doğrusal değişim gösterdiği bu zaman aralığında $(t+\tau)$ zamanında oluşacak ivme, hız ve yerdeğiştirmeler t ve t_θ anındaki değerler cinsinden yazılır. Denklem sabiti τ 'nın $\theta\Delta t$ değerine eşit olduğu t_θ anındaki hız ve yerdeğiştirmedeki farklar yine t ve t_θ anındaki değerler cinsinden yazılır ve hareket denkleminde yerine konularak çözülür.

4.3 Doğrusal Olmayan Sistemlerin Drain-2DX Programı ile Çözümlemesi

Programlama dili olarak Fortran tabanlı olan ve doğrusal olmayan dinamik analiz yapan Drain-2DX bilgisayar yazılımı California Üniversitesi, Berkeley' deki araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir, (**Prakash ve diğ., 1993**). Drain-2DX programı, çözüm adımlarını denetleyen ve bilgileri yöneten bir ana program ile elemanlar ile ilgili detayları kontrol eden ve farklı özellikteki elemanlar için yazılmış olan alt programlardan oluşmaktadır. Bu iki program arasındaki bilgi alışverişi her eleman için aynı olan bir arayüz ile gerçekleşmektedir. Ana program iletilen bilgiler dışında elemanlar hakkında bilgiye sahip olmadığı için alt programlar ile sürekli olarak yeni eleman modelleri tanımlanabilmektedir. Bu program, düğüm noktalarından birbirine bağlı, doğrusal olmayan elemanlardan oluşan çerçeveler kullanılarak

modellenen yapının işletme yükleri altında çözümlenmesinin yanısıra doğrusal olmayan statik ve dinamik analizini de gerçekleştirebilmektedir.

4.3.1 Analiz Adımları ve Çözümlemedeki Kabuller

Doğrusal olmayan elemanların histeretik davranışlarını tanımlamak için farklı modeller olmakla birlikte, bu çalışmada Drain-2DX programında var olan ve çözümlene sırasında kolay uygulanabilmesi ve gerçek davranış modeline yakınlığından dolayı rijitlik azaltımlı (pekleşmeli) çift doğrulu çevrim modeli tercih edilmiştir. Her bir zaman adımında yüklemeye oluşan etkilerin sistemin davranışına olan etkilerine bakılır ve gerekiyorsa rijitlik tekrar hesaplanarak, yeni değerlerle doğrusal olmayan çözümlene devam eder.

Statik çözümlene, rijitlik değişimini esas alacak bir biçimde doğrusal olmayan statik analiz olarak yapılabilir. Yükün uygulandığı her adımda, programda bir sonraki rijitlik değişiminin ortaya çıktığında bitecek bir yük alt adım aralığı belirlenerek, yapı rijitliği düzeltilir ve diğer alt adımda bir analiz gerçekleştirilir. Analiz istenilen yerdeğiştirme değerine ulaşıldığında yada bütün yükler uygulandığında sonlanır.

Doğrusal olmayan dinamik analiz, kabul edilebilecek değerde bir sapma düzeyi ve/veya analiz adımı değerlerinin değişmesi dışında statik analizdeki gibi kontrol edilir. Her hesaplama adımında rijitlik değişimlerinin hesaba katılması önerilmektedir. İzin verilen sapma miktarı elemanların bazılarının önce akmasına veya yük boşalmasına izin vermek ve yapının rijitlik matrisinin daha kısa zamanda kurulmasını sağlamak için her elemana göre ayrı ayrı belirlenebilir. Eğer sapma miktarı değeri büyük olursa, dengelenmemiş ve yüksek düzeyde yük değerlerine sebep olur. Sabit yada değişken tanımlanabilen zaman adımı eğer değişken olursa, kabul edilebilecek üst ve alt hata değerleri adım genişliğini kontrol edebilmek için tanımlanır. Programda herhangi bir zaman adımı için hesaplanan hata değerinin üst sınırı aşması durumunda zaman adımı düşürülerek adım tekrarlanır. Genellikle programda zaman adımı azaltma ve arttırma faktörleri sırasıyla 0.5 ve 2.0 olur.

Yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışını temsil eden çift doğrulu davranış modelinde, gerilme pekleşmesi oranı, yapısal model hazırlanırken doğrusal olan kısımdaki ve yük boşalım durumundaki rijitlik değerleri gibi ilgili parametrelerin belirtilmesiyle ortaya konulur.

$P-\Delta$ etkisi dikkate alınmak istendiğinde, sistem karşılıkları her elemanın rijitlik matrisine eklenen bir geometrik rijitlik matrisi ile hesaplanır. Bu geometrik rijitlik matrisi doğrusal olmayan statik analizde her rijitlik azalımında değişir. Fakat dinamik analizde isteğe bağlı olarak belirlenir.

Statik ve dinamik analiz için *enerji dengesi* hesapları yapılabilir. Elemanlar üzerindeki elastik ve plastik işi, düğüm noktaları üzerindeki işi, viskoz sönüm işini ve kinetik enerjii hesaplar. Ancak enerji dengesizliği varsa analiz sonuçları geçersizdir.

Program yüklerden kaynaklanan hataları dikkate alır. Sistem elemanlarının kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları çok doğrulu ise, sapma toleransları küçük seçilmiş ve elemanın geometrik rijitliği hızlı değişmiyorsa denge durumuna yakın bir çözüm elde edilecektir. Dengelenmemiş küçük yük durumları oluşacaktır. Bununla birlikte bazı elemanlara ait kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları eğrisel olarak tanımlanmış, sapma toleransları büyük seçilmiş veya eleman geometrik rijitlikleri hızlı değişiyorsa dikkate alınması gereken dengesizlikler meydana gelebilir. Drain-2DX programı her yük adımında hesapladığı dengesizliği bir sonraki adımda uygular. Analiz sonucunda büyük dengelenmemiş yükler elde ediliyorsa analiz daha geniş bir yük adımında tekrar edilir.

4.3.2 Yapısal Modelin Drain-2DX Programı ile Hazırlanması

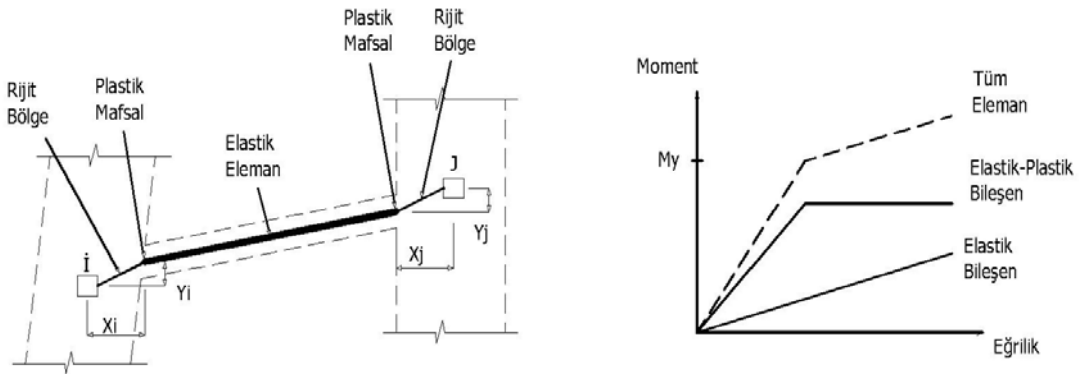
Programda analiz için giriş verileri hazırlanırken, ilk olarak yapı sisteminin düğüm noktaları X ve Y global eksenlerinde koordinatları ile tanımlanır. Elemanlar bu düğüm noktalarında tanımlanacakları için elemanların uzunluklarını girmeye gerek kalmaz. Düzlem çözüme uygun olarak düğüm noktaları X ve Y global eksenlerinde öteleme, Z ekseninde de dönme olmak üzere üç serbestliğe sahiptir. Düğüm noktaları, diğer düğüm noktalarına bağlı çalışacaksa veya mesnetli ise ilgili program kısımlarında komutlarla belirtilir. Kütle matrisi, yapının tüm kütlelerinin düğüm noktalarında toplandığı düşünülerek düzenlenir.

Yapı sistemini oluşturan taşıyıcı olan veya olmayan elemanların özelliklerine göre, programın içerisinde önceden tanımlanmış ve doğrusal yada doğrusal olmayan davranış özelliklerine sahip bir eleman tipi belirlenir. $P-\Delta$ etkisinin gözönüne alınıp alınmamasına göre bu elemana ait kesit akma değerleri ve rijitlikler belirlenir. Seçilen eleman tipine göre elastisite modülü, eylemsizlik momenti, rijitlikler, gerilme

pekleşmesi oranı, sönüme etki edecek rijitlik faktörü (β), akma şekil değiştirmesi, akma momentleri, enkesit alanları, plastik mafsalları yerleri, rijit uç bölgelerine ait boylar girilerek tanımlanır. Seçilen eleman tipine göre tanımlanan, aynı davranışı gösteren fakat farklı fiziksel özelliklere sahip yapı elemanı sayısı kadar eleman tanımlanır. Yapı sisteminin elemanlarının karakteristikleri bu grup numaralarıyla atanır ve uç düğüm noktaları tanımlanır. Bu çalışmada, yapıdaki kiriş ve kolonlar için 2- numaralı plastik mafsallı kiriş-kolon elemanı; çerçeveleri birbirine bağlayan elemanlar ve dolgu duvarlarını temsil eden diyagonallar için 9- numaralı bağlantı elemanı kullanılmıştır.

Şekil 4.3’ de gösterilen 2- numaralı eleman, doğrusal davranışı temsilen elastik bir parça, doğrusal olmayan davranışı temsilen bu parçanın uçlarında oluşturulan iki plastik mafsallı ve isteğe göre uzunluğu tanımlanabilen rijit uç kısımlardan meydana gelmektedir.

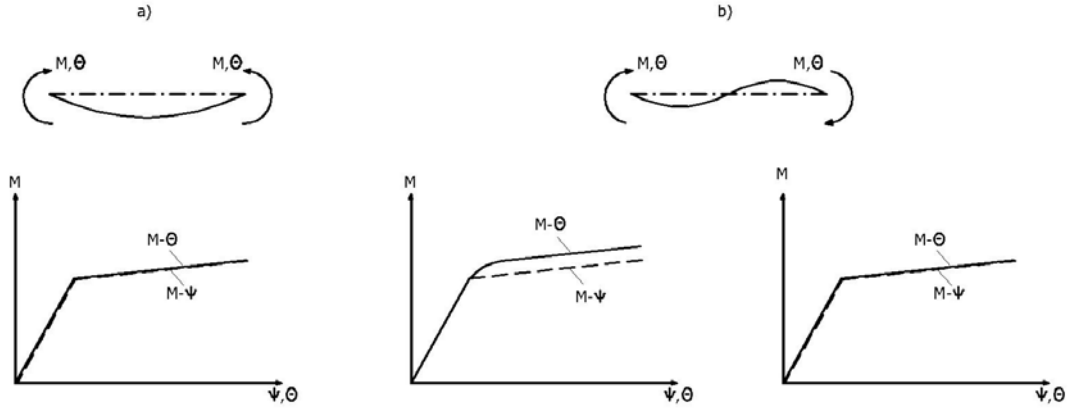
Akmanın oluştuğu plastik mafsallarda akma momentleri, elemanın her iki ucunda pozitif ve negatif eğilme durumları için ayrı ayrı tanımlanabilir. Bileşik eğilme aksel kuvvet-eğilme momenti etkileşimi akma yüzeyleri tanımlanarak hesaba katılmasına rağmen, plastik mafsalların elastik olan aksel şekil değiştirme durumunda oluşmadıkları, eğilme momenti etkisinde oluştukları varsayılmaktadır.



Şekil 4.3: 2-numaralı elemana ait eleman geometrisi ve moment-eğrilik bağıntısı

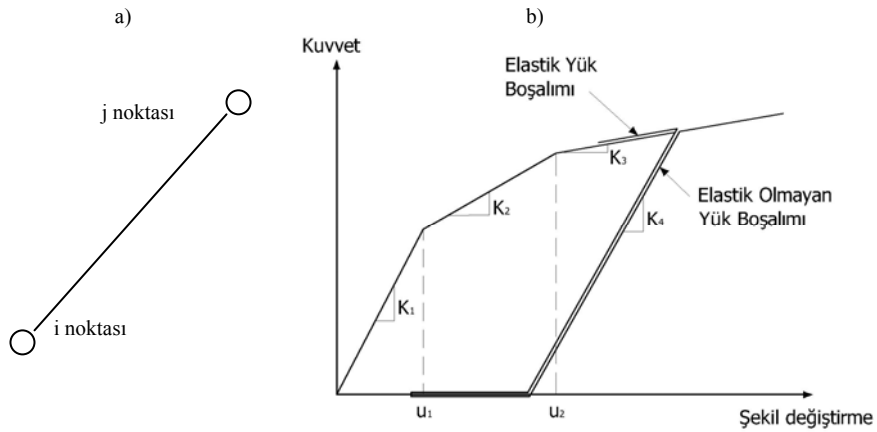
Şekil 4.3’ de gösterildiği gibi 2-numaralı eleman çift doğrusal davranışı temsil etmektedir. Burada modelin akma öncesindeki elastik davranışı ve akma sonrasındaki gerilme pekleşmesi elastik eleman ve plastik mafsallın birleşimi ile tanımlanır. Akma momenti aşılmaya başlanca oluşan plastik mafsallar, şekildeki elastik olmayan davranışı, yine akma sonrası elastik bileşendeki moment artımları da çift

doğrulu davranıştaki gerilme pekleşmesini ifade eder. Şekil 4.4’ de moment-eğrilik ve moment-dönme bağıntıları momentin sabit ve değişken olmasına göre gösterilmektedir. Kiriş üzerindeki eğilme momenti sabitse, moment-dönme bağıntısı ile moment-eğrilik bağıntısı Şekil 4.4(a)’ da gösterildiği gibi aynı olacaktır. Şekil 4.4(b)’ de gösterildiği gibi kiriş üzerindeki eğilme momenti değişken olursa moment-dönme bağıntısı ve moment-eğrilik bağıntısı aynı olmayacaktır.



Şekil 4.4: Eğilme momentinin a) sabit, b) değişken olduğu durumlara ait moment-dönme ve moment-eğrilik bağıntıları

9-numaralı bağlantı elemanı ise Şekil 4.5(a)’ da gösterilen belli bir uzunluğa sahip, sadece aksel kuvvet taşıyan ve basınç veya çekme kuvveti taşıyacak şekilde modellenebilen bir elemandır. Bu eleman basınç çubuğu olarak tanımlanırsa çekme, çekme çubuğu olarak tanımlanırsa da basınç yükü almamaktadır. Bu özelliğinden dolayı dolgu duvarlarının diyagonal basınç çubukları olarak modellenmesinde 9-numaralı eleman tipi kullanılmıştır.



Şekil 4.5: 9-numaralı elemanın a) geometrisi, b) kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı

Şekil 4.5(b)' de 9-numaralı elemana ait kuvvet-şekil değiştirme bağıntısı gösterilmektedir. Eleman üzerinde önceden oluşmuş bir kuvvet yada Şekil değiştirme değeri, elastik ve elastik olmayan yük boşalım Şekli tanımlanabilir.

Elemanın sönüm matrisi,

$$[C]=\sum\alpha.[M]+\sum\beta.[K_{\beta}] \quad (4.4)$$

Şeklinde kütle matrisi ve rijitlik matrisi ile orantılı olarak tanımlanmaktadır. Bu eşitlikte kütle, sönüme bağlı olarak her düğüm noktasında ($\alpha[M]$) değeri kadar sönümleme oluşturur. α değerleri istendiği takdirde her düğüm noktası için tek tek farklı değerlerde tanımlanabilir. Rijitlik de yine sönüme bağlı olarak sönüm oluşturur. β değerleri de her eleman grubu için farklı değerler alabilir. Rijitlik matrisi, $[K_{\beta}]$, her eleman için sabit kalır ve çoğu eleman için $[K_{\beta}]$ başlangıç rijitliğine eşit olur.

Drain-2DX programının hesap sonuçları olarak, düğüm noktalarının yerdeğiştirme değerleri, hız ve ivme-zaman değişimleri, düğüm noktalarına ait yerdeğiştirme zarfları, iç kuvvet zarfları, elemanlara ait dönme değerleri, iç kuvvet değerleri, plastik mafsalları oluşum sıraları ve konumları çıktı olarak alınabilir.

Yapıya ait özellikler belirtildikten sonra statik veya dinamik analiz için parametreler ve yükleme bilgileri tanımlanır. Dinamik analiz için bunlar ivme kayıtları, davranış spektrumları, kuvvet kayıtları, yerdeğiştirme veya hızdır. Statik analiz için kullanılan kontrol değerleri dinamik analizde belirtilen maksimum iterasyon sayısı, zaman adımı ve çeşitli ölçek faktörlerinin belirtildiği parametreler ile verilir.

5. ÖRNEK BİR YAPININ DOLGU DUVARLARININ ETKİLERİ BAKIMINDAN DETAYLI İRDELENMESİ

Doğrusal olmayan dinamik çözümlemesinde dolgu duvarlarının da modellemeye önceki bölümlerde anlatılan modeller uyarınca katılan betonarme bina, duvarlar gözönüne alınmadan **Yılmaz, (2006)** tarafından çözümüleri gerçekleştirilmiş, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde orta derecede hasar gördükten sonra kolonları mantolanarak ve perdeler eklenerek güçlendirilmiş 4 katlı betonarme konut tipi bir yapıdır. Daha önceki duvarsız modellemeye benzer olarak karşılaştırma yapılabilmesi için zayıf olan y-y eksenini doğrultusunda analiz yapılmıştır. Dolgu duvarlı modellemesi yapılan binanın güçlendirme öncesi kalıp planı ve modellenen dolgu duvarlar Şekil 5.1' de görülmektedir. Yapıda dolgu duvarlar modellenirken, DBYBHY' de öngörülen boşluklu tuğla elastisite modülü 1000 Mpa olarak ve yapı malzemeleri de C14 (BS14) betonu ve S220 (BÇI) çeliğinin değerleri alınarak kullanılmıştır.

Yapı sistemini oluşturan taşıyıcı elemanların boyutları, pozitif ve negatif eğilme için akma momentleri, eylemsizlik momentleri, enkesit alanları değerleri ile kat ağırlıkları, aynı yapı üzerinde gerçekleştirilen yukarıdaki duvarsız çalışmadan alınmıştır.

5.1 Çalışmada Kullanılan Deprem Kayıtları ve Özellikleri

Çözümüleri yapılan betonarme binanın bulunduğu Yalova ilinde kuvvetli hareket kayıt şebekesine ait herhangi bir cihaz bulunmadığından dolayı, yöreye ait ivme kayıtları yoktur. Dolayısıyla bu çalışmada doğrusal olmayan dinamik çözümleme yapabilmek amacıyla 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri sırasında Marmara Bölgesi içinde alınan kayıtlardan yararlanılmıştır.

Araştırmaya konu olan binanın çözümlemesinde karşılaştırma yapabilmek amacıyla **Yılmaz, (2006)** tarafından düzenlenmiş kayıtlar aynen kullanılmıştır. Tablo 5.1' de doğrusal olmayan analizde kullanılan deprem kayıtlarının karakteristik özellikleri, Tablo 5.2'de ise **Yılmaz, (2006)** tarafından düzenlenmiş ve doğrusal olmayan

hesaplamalarda süre ve hesap yükünün azaltılabilmesi amacıyla kısaltılmış olan halleri sunulmaktadır. Tablolarda görülen mühendislik şiddetleri sırasıyla etkin yer ivmesi (a_{eff}), etkin süre (t_{eff}), Housner şiddeti, ($Sl_{0,2}$), I_{RS} , I_{RMS} ve Deprem Hücum Gücü, (I_{EAP}) dür.

Tablo 5.1: Kullanılan Kuvvetli Hareket Kayıtlarının Mühendislik Şiddetleri-Özgün Kayıtlar

Deprem Kayıtları	Mühendislik Şiddetleri					
	A_{eff} (mG)	t_{eff} (sn)	$Sl_{0,2}$	I_{RS}	I_{RMS}	I_{EAP}
17 Ağustos 1999 Kocaeli						
Sakarya DB ($a_{maks}=407$ mG)	195.0	44.0	80.8	352.3	0.9	256.7
Yarımca DB($a_{maks}=230$ mG)	110.0	33.2	95.0	321.0	2.4	92.3
Yarımca KG($a_{maks}=322$ mG)	125.0	31.9	107.7	323.7	2.4	88.7
Düzce DB($a_{maks}=373$ mG)	218.0	12.1	138.7	296.4	10.9	45.6
Düzce KG($a_{maks}=314$ mG)	175.0	11.9	97.5	266.3	9.8	51.2
12 Kasım 1999 Düzce						
Bolu DB($a_{maks}=805$ mG)	433.0	9.0	155.3	397.2	7.1	60.5
Düzce DB($a_{maks}=513$ mG)	240.0	10.9	157.8	436.5	16.9	39.8

Tablo 5.2: Kısaltılmış Kuvvetli Hareket Kayıtlarının Mühendislik Şiddetleri

Deprem Kayıtları	Mühendislik Şiddetleri					
	A_{eff} (mG)	t_{eff} (sn)	$Sl_{0,2}$	I_{RS}	I_{RMS}	I_{EAP}
17 Ağustos 1999 Kocaeli						
Sakarya DB ($a_{maks}=407$ mG)	195.0	14.6	80.8	343.5	6.9	84.7
Yarımca DB($a_{maks}=230$ mG)	110.0	32.0	83.9	315.8	7.9	100.7
Yarımca KG($a_{maks}=322$ mG)	125.0	31.1	92.2	319.9	8.0	101.3
12 Kasım 1999 Düzce						
Bolu DB($a_{maks}=805$ mG)	433.0	9.0	155.3	396.4	11.3	59.9

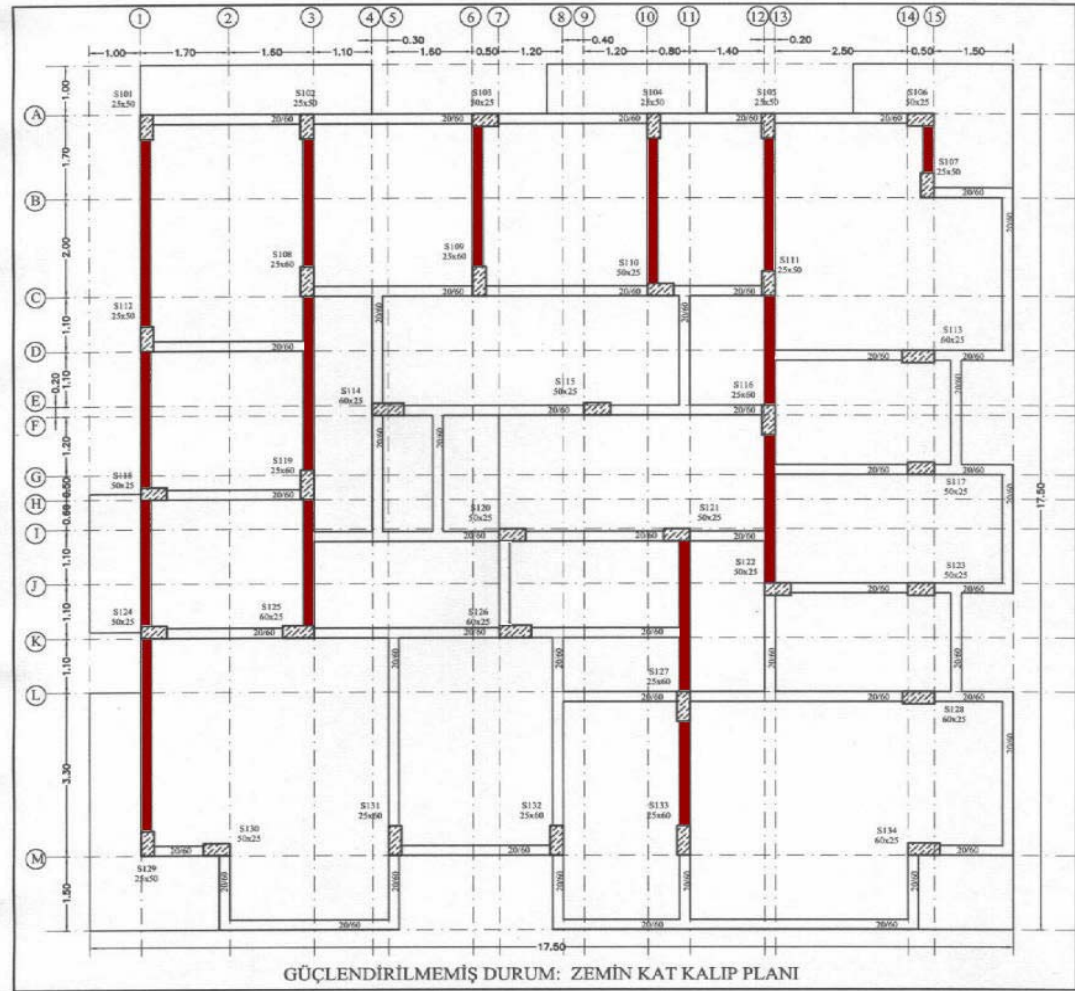
Seçilen kayıtlar farklı karakteristiklere sahip yıkıcı özellikli depremleri temsil etmektedir. Örneğin; Sakarya DB kaydı yumuşak zemin karakteristiklerini yansıtan, Bolu DB kaydı kısa sürede darbe etkisi yaratan depremlerdir.

Bu çalışmada da, aynı kayıtlar kullanılmak suretiyle, duvarsız ve duvarlı durumlar karşılaştırılacaktır.

5.2 Yapının Güçlendirme Öncesi Doğrusal Olmayan Analizi

Şekil 5.1' de görüldüğü üzere güçlendirme öncesi kalıp planında binada yapı elemanlarının yerleşimi çok düzensizdir. Planda y-y yönündeki 8 adet çerçeve arasındaki dolgu duvarlar da, herhangi bir boşluk (kapı, pencere v.b.) dikkate alınmadan tam dolu olarak modellemeye katılmıştır. Ancak 4 nolu çerçevenin boş olduğu mimari fonksiyonundan yola çıkılarak modellemeye yansıtılmamıştır. Yukarıda özellikleri anlatılan yapı dolgu duvarların da etkileri hesaba katılarak

Drain-2DX programı ile iki boyutlu olarak çözümlenerek, incelenecektir. Yapının iki boyutlu olarak modellenmesi için çerçeveler arasındaki kuvvet aktarımı, rijitlikleri oldukça yüksek ve elastik davranan, bağlantı elemanları ile sağlanmıştır. Böylelikle yapı taşıyıcı sistemi Drain-2DX programına göre iki boyutlu düzenlenmiş, katların rijit diyafram etkisi gösterdiği kabul edilerek çerçeve davranışı tanımlanmıştır. Bu davranış programda sadece aksel basınç veya çekme kuvveti taşıyabilen 9-numaralı eleman ile oluşturulmuştur. Yine dolgu duvarı modellerken de 9-numaralı eleman tipi seçilerek diyagonallar basınç kuvveti taşıyacak şekilde modellenmiş ve fiziksel özelliklerine göre basınç dayanımları değişiklik gösteren 14 farklı duvar modeli oluşturulmuştur.



Şekil 5.1 : Yapının güçlendirilmemiş durumuna ait, modellenen dolgu duvarları da gösteren zemin kat kalıp planı

Yapı sisteminin ana taşıyıcı elemanları olan kolon ve kirişler program kullanım kılavuzundaki 2-numaralı kolon-kiriş eleman olarak tanımlanmıştır. Kolon-kiriş bağlantı elemanını tanımlarken her bir farklı kiriş veya kolon için enkesit alanına,

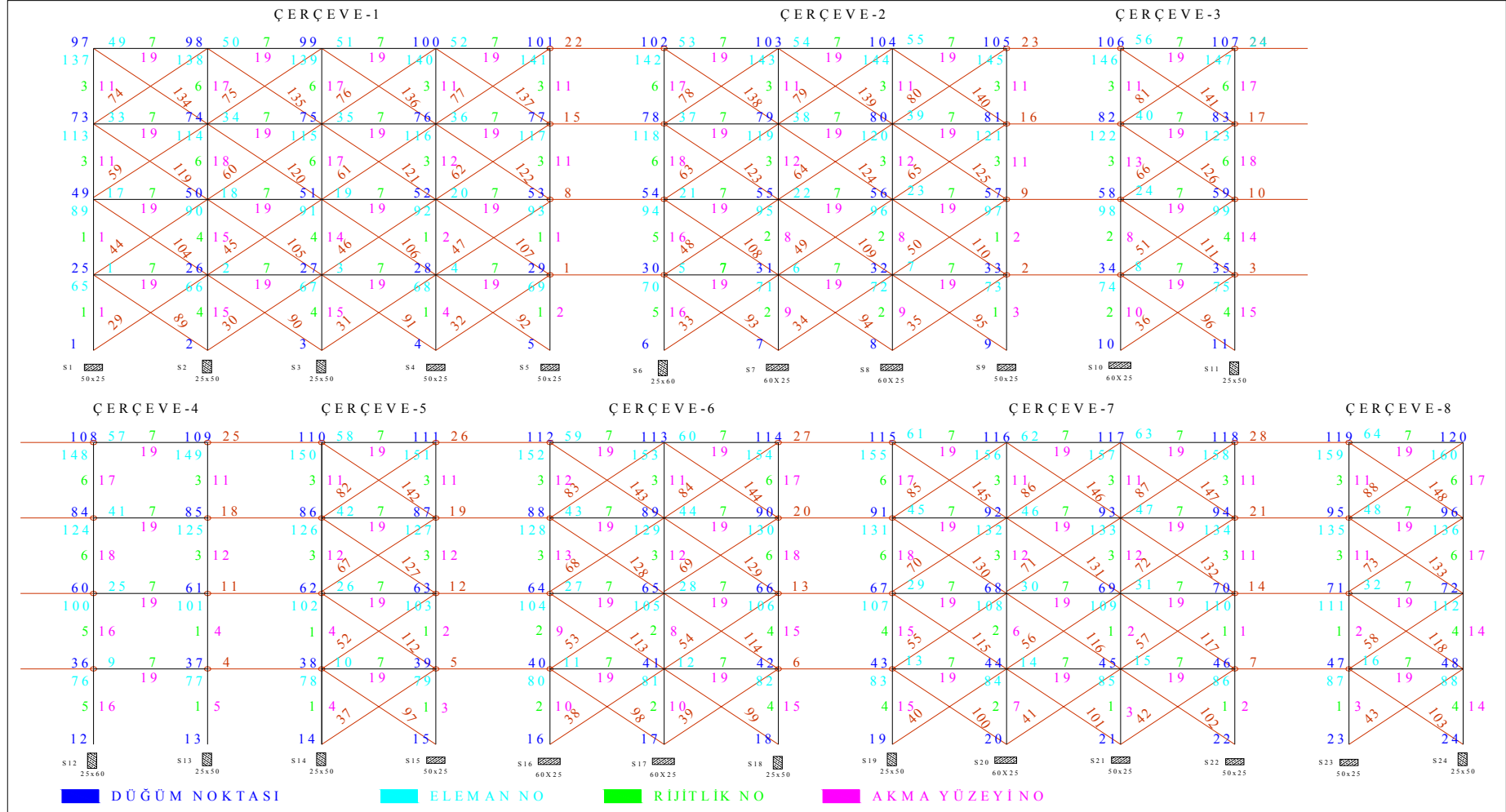
elastisite modülüne ve rijitliğine göre Tablo 5.3’ de görüldüğü üzere bir rijitlik numarası oluşturulur. İncelenen binada tablodan da görüleceği gibi 7 farklı rijitlikte eleman vardır. Taşıyıcı elemanların farklı pozitif (M_y^+) ve negatif (M_y^-) akma momentlerine göre Tablo 5.4’ deki gibi 19 kesit bulunmaktadır. Bağlantı elemanları ile birbirine bağlanmış 8 çerçevesel ve dolgu duvarlı birleştirilmiş düzlem çerçeve Şekil 5.2’ de gösterilmiştir. Şekil 5.2’ de her bir elemanın, eleman numarası, rijitlik numarası, akma kesiti ve bağlı olduğu düğüm noktaları belirtilmiştir.

Tablo 5.3 : Elemanlardaki farklı enkesit özellikleri

Rijitlik no	Elastisite Modülü, E (kN/m ²)	Enkesit Alanı, A (m ²)	Eylemsizlik Momenti, I (m ⁴)
1	2.60E+07	1.31E-01	2.90E-03
2	2.60E+07	1.58E-01	4.95E-03
3	2.60E+07	1.04E-01	1.45E-03
4	2.60E+07	1.31E-01	6.88E-04
5	2.60E+07	1.58E-01	8.37E-04
6	2.60E+07	1.04E-01	5.58E-04
7	2.60E+07	3.04E-01	6.38E-03

Tablo 5.4 : Elemanlardaki farklı akma değerleri

Akma Enkesiti	Pozitif Akma Momenti, M_y^+ (kNm)	Negatif Akma Momenti, M_y^- (kNm)
1	8.60E+01	8.60E+01
2	9.50E+01	9.50E+01
3	1.06E+02	1.06E+02
4	1.15E+02	1.15E+02
5	1.31E+02	1.31E+02
6	1.10E+02	1.10E+02
7	1.27E+02	1.27E+02
8	1.48E+02	1.48E+02
9	1.63E+02	1.63E+02
10	1.70E+02	1.70E+02
11	4.40E+01	4.40E+01
12	5.80E+01	5.80E+01
13	7.13E+01	7.13E+01
14	3.40E+01	3.40E+01
15	4.40E+01	4.40E+01
16	6.10E+01	6.10E+01
17	2.50E+01	2.50E+01
18	3.35E+01	3.35E+01
19	8.70E+01	3.00E+02

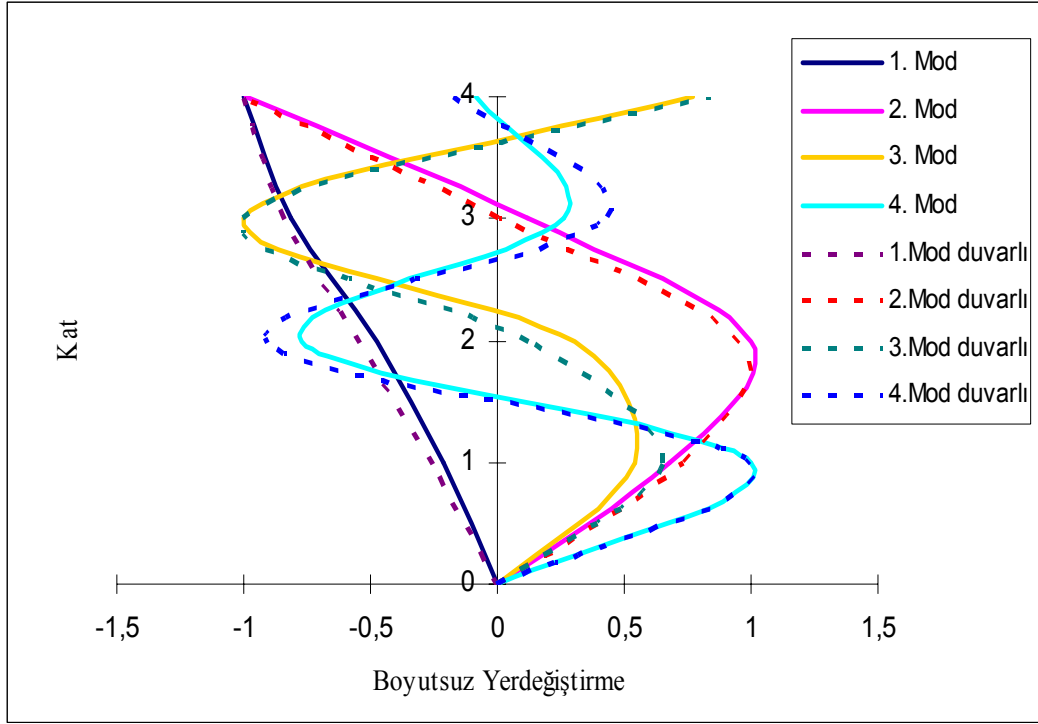


Şekil 5.2 : Güçlendirilmemiş duruma ait dolgu duvarlı birleştirilmiş çerçeve

Yapı taşıyıcı sistem elemanları, kolon ve kirişlerin çift doğrulu davranışa göre akma sonrasındaki gerilme pekleşmesi oranı 0.03 olarak alınmıştır. Bu şekilde yapı elemanlarının akma sonrasındaki rijitlikleri akma öncesindeki K rijitliklerinin $\alpha=0.03$ katı olarak belirlenmiş ve çift doğrulu davranış modellenmiştir. Modellenen taşıyıcı sistem elemanlarında $P-\Delta$ etkisi, kesme kuvveti etkisindeki kayma şekil değiştirmeleri ve eksenel kuvvet-moment etkileşimi ihmal edilmiştir.

Kat ağırlıkları hesap kolaylığı için katlardaki düğüm noktalarına eşit olarak dağıtılmıştır. Bu doğrultuda en üst kat ağırlığı olan 3300 kN 24 adet düğüm noktasına eşit dağıtılarak düğüm noktası başına 137.50 kN, diğer katlarda da 4600 kN luk kat ağırlığı düğüm noktalarına dağıtılarak düğüm noktası başına 191.67 kN luk ağırlıklar elde edilmiştir. Düğüm nokta ağırlıkları dolgu duvarlarının ağırlıklarını da içermektedir. Sönüm etki katsayıları α ve β değerleri sırasıyla 0.25 ve 0.005 olarak tanımlanmıştır. Dolgu duvarlarını temsil eden diyagonal basınç çubukları mafsallarla X ve Y yönünde öteleme, Z eksenini etrafında dönme yapacak şekilde üç serbestlik verilmiş düğüm noktalarına bağlanmıştır. Kat yerdeğiştirmeleri bakımından her kattaki düğüm noktaları ilk düğüm noktasına X eksenini yönündeki öteleme yönünden bağlıdır. Ancak aynı kattaki düğüm noktaları Y eksenini doğrultusunda öteleme ve Z eksenini boyunca dönme yönünde birbirinden bağımsızdır. Dinamik analizde sabit zaman adımı 0.002 sn olarak alınmış ve her adımda rijitliğin tekrar hesaplaması için maksimum 150 iterasyon yapılmasına izin verilmiştir.

Dolgu duvarların etkilerinin de dikkate alındığı yapı sisteminin ilk dört moduna ait sönümsüz serbest titreşim periyotları sırasıyla $T_1=0.469$ sn, $T_2=0.167$ sn, $T_3=0.106$ sn, $T_4=0.082$ sn olarak hesaplanmıştır. Bu mod şekillerinin duvarsız modeldeki periyotlarının ise $T_1=0.624$ sn, $T_2=0.226$ sn, $T_3=0.144$ sn, $T_4=0.099$ sn olduğu ifade edilmiştir, (Yılmaz, 2006). Yapının sönümsüz serbest titreşim periyodundaki bu hatırı sayılır azalmanın nedeni dolgu duvarların yapının yatay rijitliğine yaptığı katkıdır. Dolgu duvarlar yapının yatay rijitliğini arttırarak daha rijit bir davranış göstermesine neden olmaktadır. Dolgu duvarlı ve duvarsız modellerin ilk dört titreşim modlarının karşılaştırmaları Şekil 5.3' de görülmektedir.

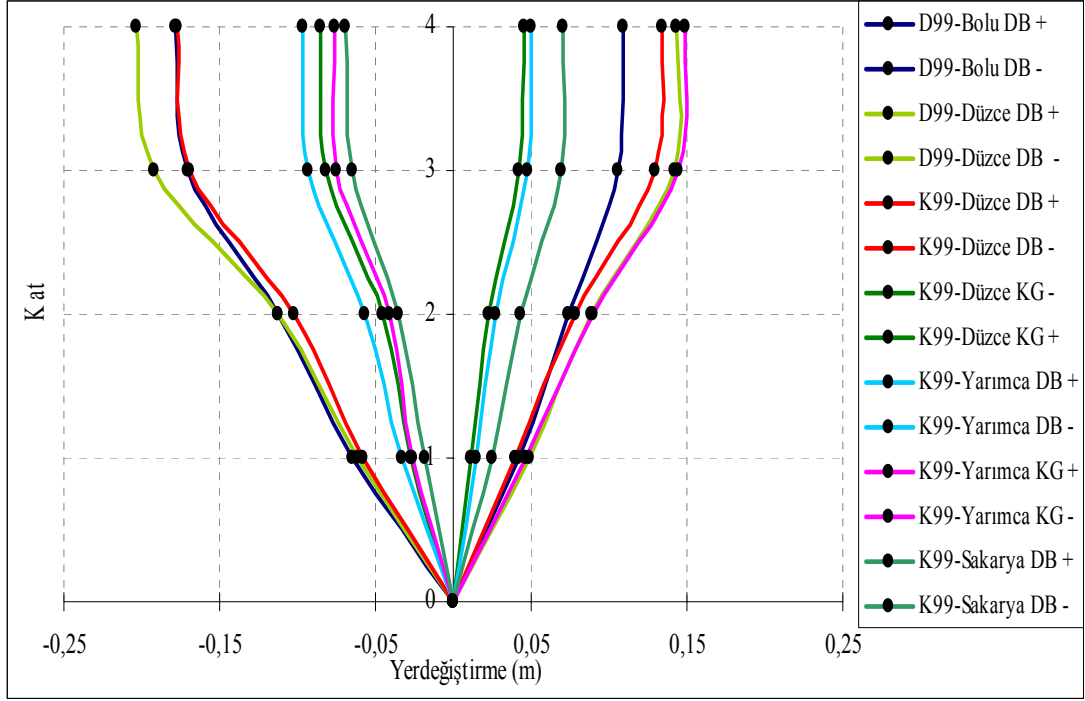


Şekil 5.3 : Güçlendirme öncesi dolgu duvarlı ve duvarsız ilk dört titreşim modu

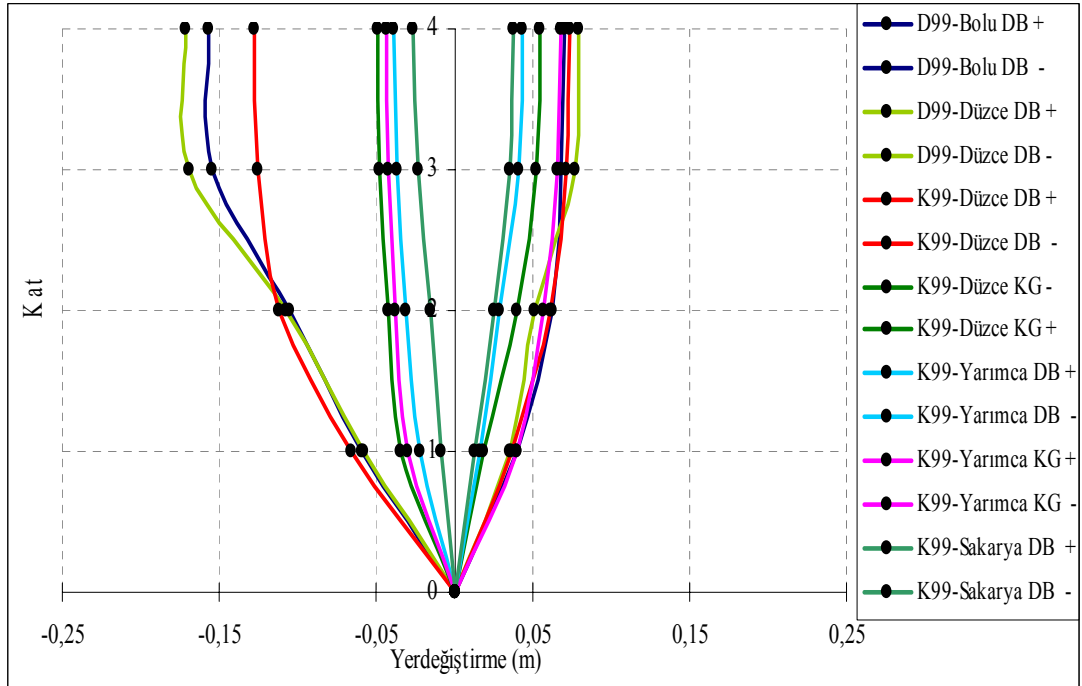
Yukarıdaki şekle bakıldığında dolgu duvarların modellemeye katılmadığı durumdaki mod şekilleri daha doğrusaldır. Örneğin 1. modda duvarsız modelleme de 3. ve 4. katın rijitlikleri ilk iki kata göre daha az olduğundan o katlardaki yerdeğiştirme daha fazladır. Ancak duvarların da modellemeye katıldığı tasarımda, duvarların yatay rijitliğe yaptığı katkı ile daha doğrusal bir değişim gözlenmektedir.

Duvarsız sistemde oluşan yerdeğiştirme zarfları ve dolgu duvarlı sistemde oluşan yerdeğiştirme zarfları sırası ile Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’ de görülmektedir.

Dolgu duvarsız analizde farklı deprem kayıtları için katlarda oluşan artı ve eksi yönlerdeki toplam yerdeğiştirme değerleri ile, dolgu duvarlı modellemede oluşan yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında, bazı kayıtlarda dolgu duvarlı durumda oluşan birinci kat toplam yerdeğiştirme değerleri duvarsız duruma göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni yapı sisteminin rijitliğinin artmasıyla yapı tabanına gelen kesme kuvveti taleplerinin de artıp, birinci katta daha fazla yerdeğiştirmelerin meydana gelmesine sebep olmasıdır. Üst katlara çıkıldıkça dolgu duvarlı sistemde oluşan yerdeğiştirme değerleri azalmakta ve sonuçta en üst kat yerdeğiştirme değerleri duvarsız duruma göre daha düşük değerlere ulaşmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda dolgu duvarlı modellemede öncelikle birinci katın mafsallaşarak yük taşıyamaz duruma geldiği ve büyük yerdeğiştirmeler yaptığı tespit edilmiştir.



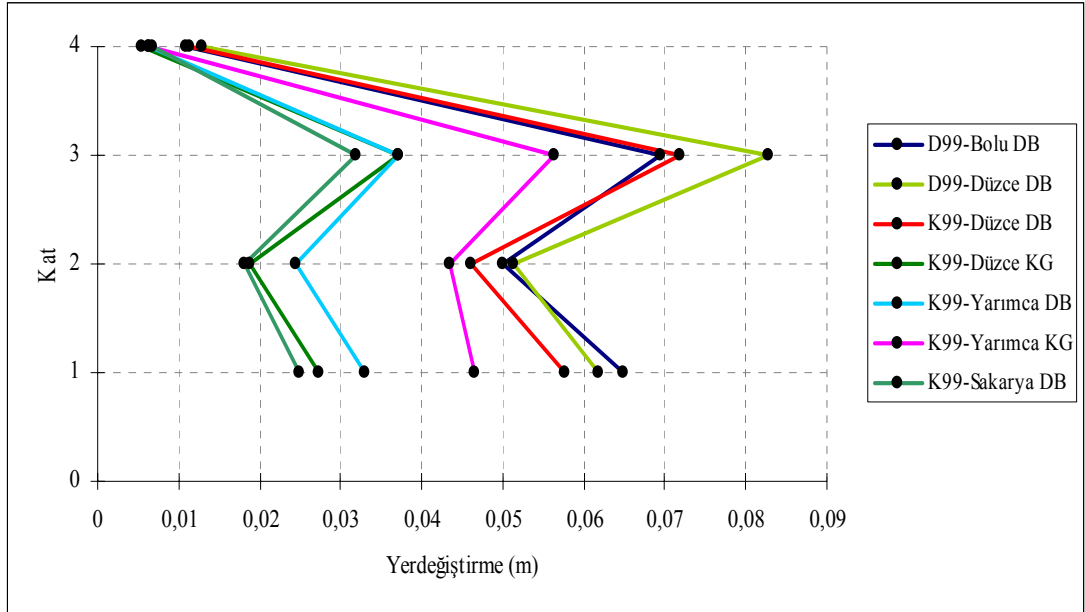
Şekil 5.4 : Güçlendirme öncesi duvarsız duruma ait yerdeğiştirme zarfı



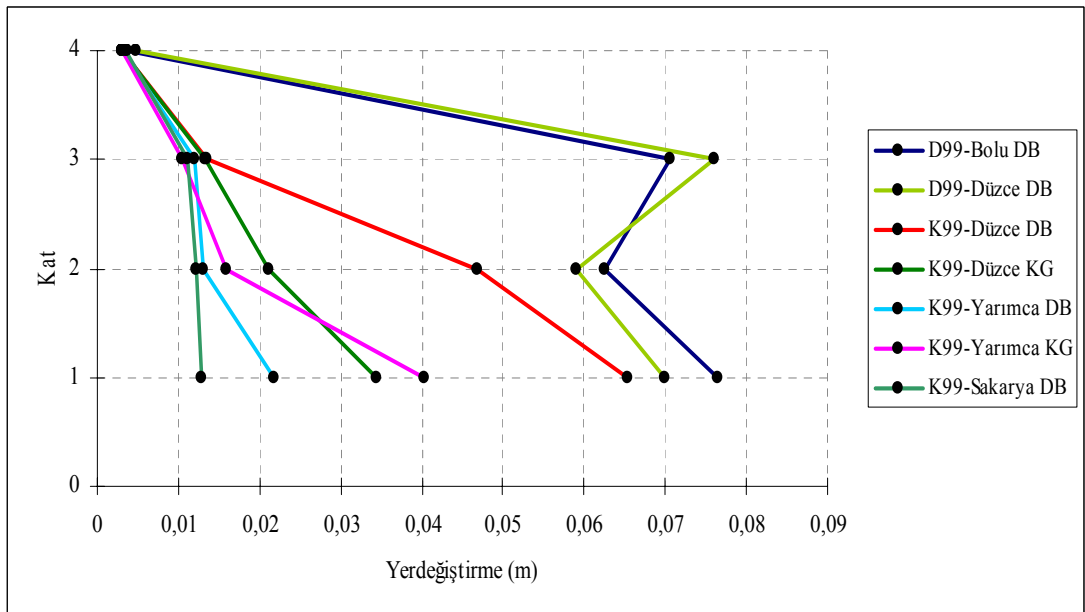
Şekil 5.5 : Güçlendirme öncesi duvarlı duruma ait yerdeğiştirme zarfı

Şekil 5.6' da dolgu duvarsız modellemeye oluşan görel kat ötelemelerinin alt katlarda üst katlara oranla daha büyük olduğu görülmektedir. Birinci kata gelen taban kesme kuvveti talebinden dolayı maksimum görel öteleme de bu kattadır. Şekil 5.7'

de ise dolgu duvarlı modelde oluşan görel kat ötelemesi değerleri bulunmaktadır. Birinci ve ikinci kat rijitlikleri birbiriyle aynı olması ve duvarlarında katkısıyla görel yerdeğıştirmeler çok yakındır. Üçüncü ve dördüncü katın rijitlikleri, ilk iki kata göre daha düşük değerdedir. Ancak duvarların etkisi ile oluşan görel yerdeğıştirmeler bu katlarda da duvarsız duruma göre daha düşük değerler almıştır. Dolgu duvarların yapı yatay rijitliğine yaptığı katkı ile yine duvarsız duruma göre yerdeğıştirme değerlerinin daha az olduğu görülmektedir.

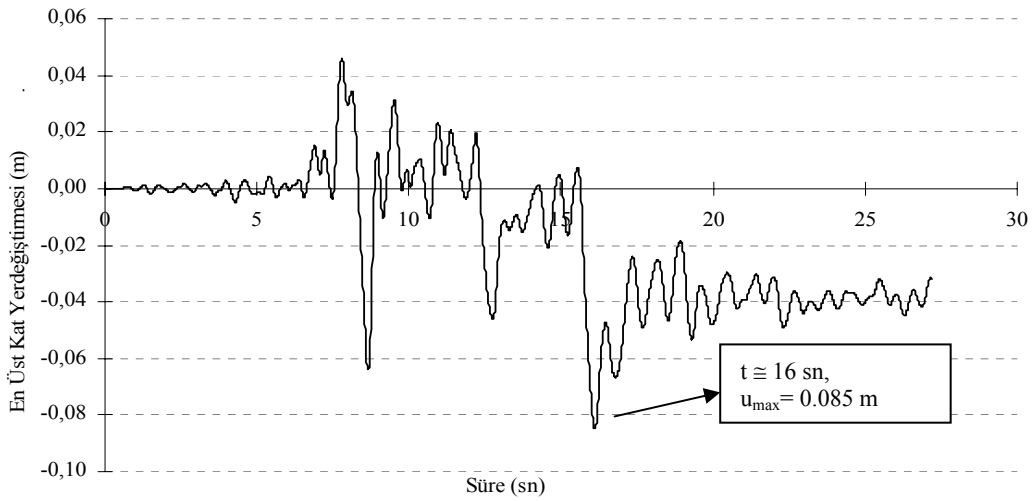


Şekil 5.6 : Güçlendirme öncesi duvarsız duruma ait görel kat ötelemeleri

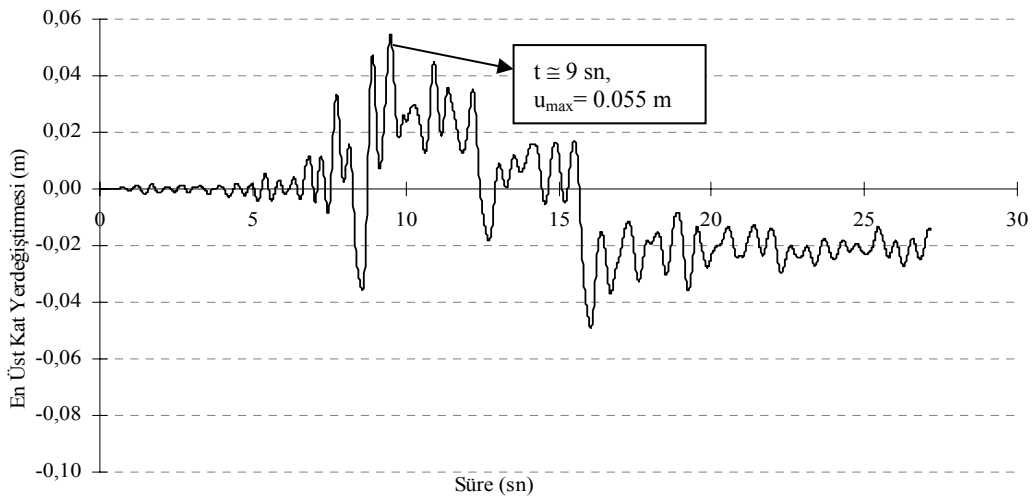


Şekil 5.7 : Güçlendirme öncesi duvarlı duruma ait görel kat ötelemeleri

Duvarsız ve duvarlı modellemeye ait Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre en üst katlarda oluşan yerdeğiştirmeler sırası ile Şekil 5.8 ve 5.9’da görölmektedir. Duvarsız modellemede deprem kaydına göre oluşan maksimum yerdeğiştirme değeri 16 sn civarında 0.085 m olarak belirlenmiş, dolgu duvarların da modellemeye katıldığı analizde ise en üst kat maksimum yerdeğiştirmesi 9 sn civarında %35 azalarak 0.055 m değerine düşmüştür. Bunun nedeni dolgu duvarların yapının yatay rijitliğini arttırmış olmasıdır. Dolgu duvarlı modellemenin diğer deprem kayıtlarına göre en üst kat yerdeğiştirme değişimleri Ek A’ da verilmiştir.



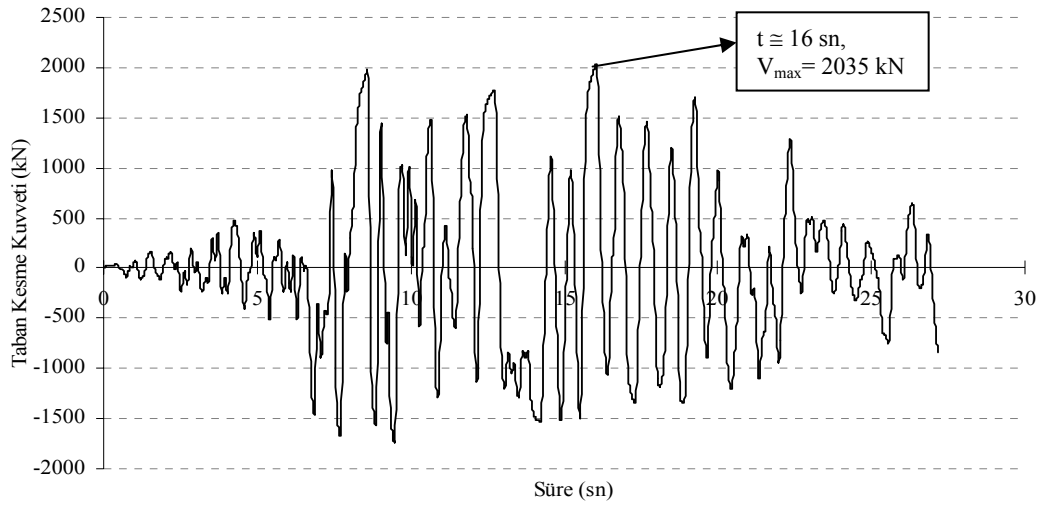
Şekil 5.8 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarsız modellenen yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



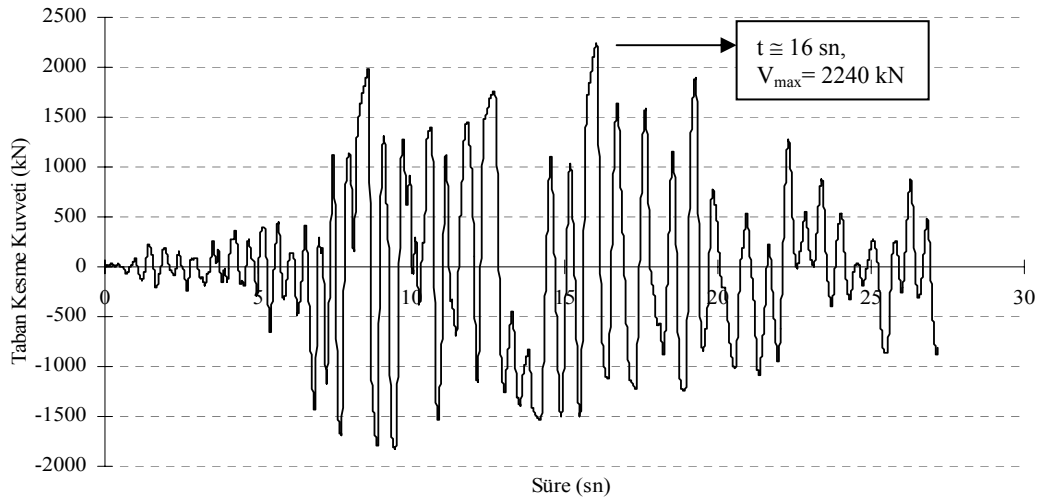
Şekil 5.9 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarlı modellenen yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmenin zamanla değişimi

Duvarsız ve duvarlı modellemeye ait Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre tabanda oluşan kesme kuvveti taleplerinin değişimleri sırası ile Şekil 5.10 ve 5.11’ de

görülmektedir. Duvarsız modellemeye göre oluşmuş maksimum taban kesme kuvveti talebi 16 sn civarında 2035 kN olarak belirlenmiş, dolgu duvarlarında modellemeye katıldığı analizde ise maksimum taban kesme kuvveti talebi yine 16 sn civarında %10 mertebesinde artarak 2240 kN değerine çıkmıştır. Dolgu duvarların da kesme kuvveti taşımak vasıtasıyla yapı rijitliğini artırması doğal olarak yapı tabanına gelen kesme kuvveti değerini de artırmıştır. Dolgu duvarlı modellemenin diğer deprem kayıtlarına göre tabanda oluşan kesme kuvveti taleplerinin değişimleri Ek A da verilmiştir.



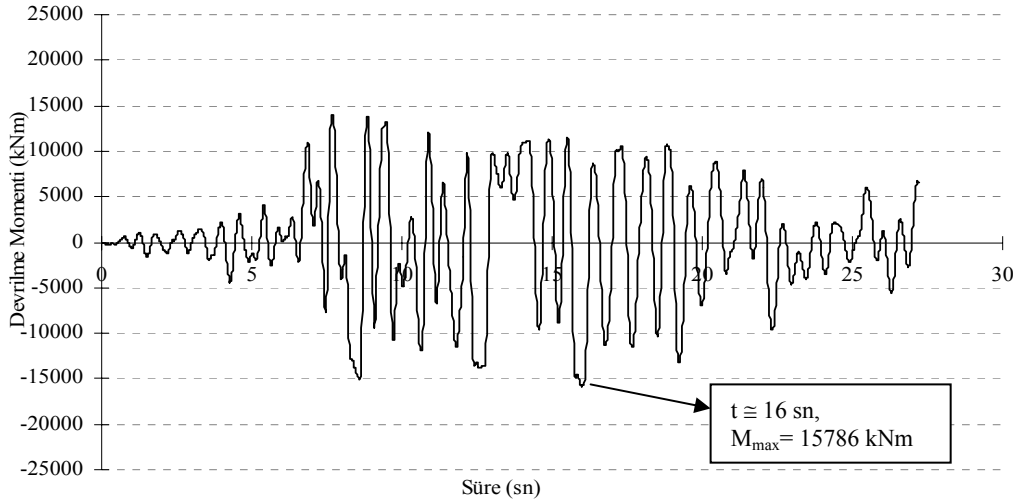
Şekil 5.10 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarsız modellenen yapının taban kesme kuvveti taleplerinin zamanla değişimi



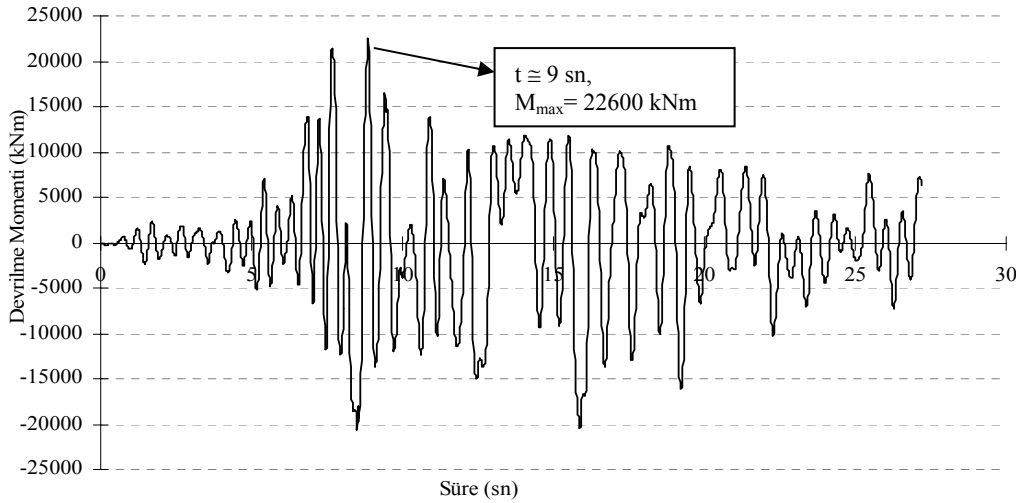
Şekil 5.11 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarlı modellenen yapının taban kesme kuvveti taleplerinin zamanla değişimi

Duvarsız ve duvarlı modellemeye ait Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre devrilme momenti taleplerinin değişimleri sırası ile Şekil 5.12 ve 5.13’ de

görülmektedir. Duvarsız modellemeye göre oluşmuş maksimum devrilme momenti talebi 16 sn civarında 15786 kNm olarak belirlenmiş, dolgu duvarlarında modellemeye katıldığı analizde ise maksimum devrilme momenti talebi kesme kuvveti talebindeki artışa bağlı olarak 9 sn civarında % 43 mertebesinde artarak 22600 kNm değerine çıkmıştır. Dolgu duvarlı modellemenin diğer deprem kayıtlarına göre devrilme momenti taleplerinin değişimleri Ek A' da verilmiştir.



Şekil 5.12 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarsız modellenen yapının devrilme momenti taleplerinin zamanla değişimi



Şekil 5.13 : Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre duvarlı modellenen yapının devrilme momenti taleplerinin zamanla değişimi

Yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmelerin, tabanda oluşan kesme kuvveti taleplerinin ve devrilme momenti taleplerinin duvarsız ve duvarlı duruma göre karşılaştırmaları Tablo 5.5' de görülmektedir. Bu tabloda da görüldüğü gibi dolgu duvarları yapının yatay rijitliğini arttırmış, yapı daha küçük yerdeğiştirmelere

ulaşmıştır. Yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirme değerleri azalırken tabanda oluşan kesme kuvveti talepleri artmıştır. Tabanda oluşan kesme kuvveti taleplerindeki artış da doğal olarak devrilme momenti taleplerini arttırmıştır. Dolgu duvarları yapının dinamik davranışını hatırı sayılır oranda değiştirmektedir.

Tablo 5.5 : Güçlendirme öncesi yapının duvarsız ve duvarlı analizlerindeki en üst kat yerdeğiştirmesine, taban kesme kuvveti talebine ve devrilme momenti talebine ait maksimum değerler

		Kocaeli Depremi					Düzce Depremi	
		Sakarya DB	Yarımcı DB	Yarımcı KG	Düzce DB	Düzce KG	Bolu DB	Düzce DB
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi (m)	Duvarsız	0.070	0.096	0.149	0.178	0.085	0.179	0.204
	Duvarlı	0.038	0.044	0.068	0.127	0.055	0.157	0.172
Taban Kesme Kuvveti (kN)	Duvarsız	2003	2148	2352	2489	2035	2610	2586
	Duvarlı	1750	1990	2370	2640	2240	2808	2686
Devrilme Momenti (kNm)	Duvarsız	15071	16091	18142	20223	15786	21424	20517
	Duvarlı	21700	22300	21800	24100	22600	25269	26610

Tablo 5.5’deki bazı duvarsız taban kesme kuvveti talepleri dolgu duvarlıdan düşük olması gerekirken daha yüksektir. Bunun nedeni duvarsız ve duvarlı çözümlerinin her ikisinde de bina ağırlıklarının aynı alınmasıdır. Tablo 5.6’da binanın dolgu duvar ağırlıkları katılmayarak çözümlendiğinde oluşan en üst kat yerdeğiştirme, taban kesme kuvveti talepleri ve devrilme momenti talepleri görülmektedir.

Tablo 5.6 : Güçlendirme öncesi yapının duvarsız analizinde duvar ağırlıkları katılmadan hesaplanan en üst kat yerdeğiştirmesine, taban kesme kuvveti talebine ve devrilme momenti talebine ait maksimum değerler

		Kocaeli Depremi					Düzce Depremi	
		Sakarya DB	Yarımcı DB	Yarımcı KG	Düzce DB	Düzce KG	Bolu DB	Düzce DB
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi (m)		0.055	0.064	0.087	0.148	0.048	0.103	0.148
Taban Kesme Kuvveti (kN)		1734	1850	1936	2250	1769	2482	2497
Devrilme Momenti (kNm)		14488	14257	15474	18828	14702	21472	20223

Deprem riski yüksek olan bölgelerde yapıların dinamik deprem yüklerini, elastik davranışın ötesinde şekil değiştirerek karşılaması öngörülür. Yapıların elastik sınırı aştıktan sonra doğrusal olmayan davranış gösterip, önemli bir miktarda şekil değiştirerek ve bunun karşılığında ise kesit zorlarında önemli artışlar olmadan davranması istenir. Süneklik akma sonrasında elastik olmayan büyük yerdeğiştirmelerin veya şekil değiştirmelerin ortaya çıkması olarak da tanımlanabilmektedir. Sünek yapılarda deprem sırasında gelen dinamik yüklerin büyük bir kısmı elastik sınırın ötesindeki doğrusal olmayan davranış ile yapının

dayanımına zarar vermeden sönümlenir. Bu tür yapılarda deprem etkisi kabul edilebilir hasarlar ile gevrek göçmeden uzak kalınarak karşılanmış olur. Yapılarda deprem sırasında büyük hasarların ve toptan göçmelerin önlenmesi taşıyıcı sistemin yatay yükler altındaki dayanımını elastik ötesi büyük yerdeğiştirmelerde ve şekil değiştirmelerde de devam ettirmesi ile olur. Depremlerde sünekliğin sağlanamaması yapının tamamının yada bir kısmının gevrek bir şekilde aniden göçmesine sebep olmaktadır. Bu ani gevrek göçmeye karşı DBYBHY' de R katsayısı ile önlem alınmıştır. Süneklik özelliklerini de içinde barındıran bu davranış katsayısı ile yapıların dinamik deprem yükleri etkisinde sünek davranarak, gevrek olmayan ve haberli bir göçme sınırında yerdeğiştirmeler yapması sağlanmış ve yerdeğiştirmeler kontrol edilerek yapının tasarımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde **Yılmaz, (2006)** tarafından aynı yapının duvarsız analizi için yapılan, deprem etkisindeki bir yapının performansının önemli bir göstergesi olan yerdeğiştirme süneklik değerleri dolgu duvarlı duruma göre belirlenmiş ve duvarsız durumla karşılaştırılmıştır. Yapının yerdeğiştirme sünekliği yapının taşıma kapasitesindeki yerdeğiştirme değerinin akma anındaki yerdeğiştirme değerine oranı ile belirlenmektedir. Bu bağlamda yapının akma sınırı olarak herhangi bir kattaki herhangi bir kolonunun aktığı yerdeğiştirme değeri esas alınarak, daha önce kirişlerde ve duvarlardaki akma kapasitesi aşılan durumların yapısal akmayı temsil etmediği varsayılmıştır. Yapının taşıma sınırını belirlerken de üç ayrı yaklaşıma göre μ_1 , μ_2 ve μ_3 olarak farklı süneklikler hesaplanmıştır.

Dolgu duvarlı sistemin herhangi bir kolonunun alt yada üst ucunda plastik mafsall oluşması durumunda yapının akma sınırına ulaştığı varsayılır ve bu andaki en üst kat yerdeğiştirmesi hesaplamada kullanılır. İlk yaklaşıma göre, herhangi bir katta bulunan kolonların en az 12 tanesinin alt yada üst uçlarından herhangi birinde pozitif veya negatif bir eğilme etkisinde plastik mafsall oluşması ile yapının taşıma kapasitesine eriştiği varsayılmış ve bu saniyedeki en üst kat yerdeğiştirme değeri taşıma sınırı yerdeğiştirme değeri olarak belirlenmiştir. μ_1 yerdeğiştirme sünekliği taşıma kapasitesine ulaşıldığı varsayılan en üst kat yerdeğiştirme değerinin akma sınırı yerdeğiştirme değerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Duvarsız durumda μ_1 değerlerinin 1.25~1.93 arasında değişmekte olduğu, ortalama 1.5 civarında oldukça düşük bir seviyede kaldığı anlaşılmaktadır. Ancak dolgu duvarlarının da modellemeye katılması durumunda μ_1 yerdeğiştirme sünekliği değerlerinin

1.35~2.08 arasında değişmekte olduğu, ortalamanında 1.7 değerine yükseldiği görülmüştür. Böylelikle duvarların dikkate alındığı modelde yapının daha sünek bir davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Diğer yaklaşımda ise yapının herhangi bir katındaki kolonların en az 12 tanesinin hem alt hem üst ucunda plastik mafsallar oluşturduğunda yapının taşıma kapasitesine eriştii varsayılmış ve bu saniyedeki en üst kat yerdeğiştirme değeri taşıma sınırı yerdeğiştirme değeri olarak belirlenmiştir. μ_2 yerdeğiştirme sünekliği, taşıma kapasitesine ulaşıldığı varsayılan en üst kat yerdeğiştirme değerinin akma sınırı yerdeğiştirme değerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Duvarsız durumda μ_2 değerleri 1.66~2.24 arasında değişip ortalamaları 2.0 olurken, dolgu duvarların modele katılması sonucunda ise 2.07~2.97 arasında değiştii ve ortalama olarak 2.38 değerinde olduğu tespit edilmiştir.

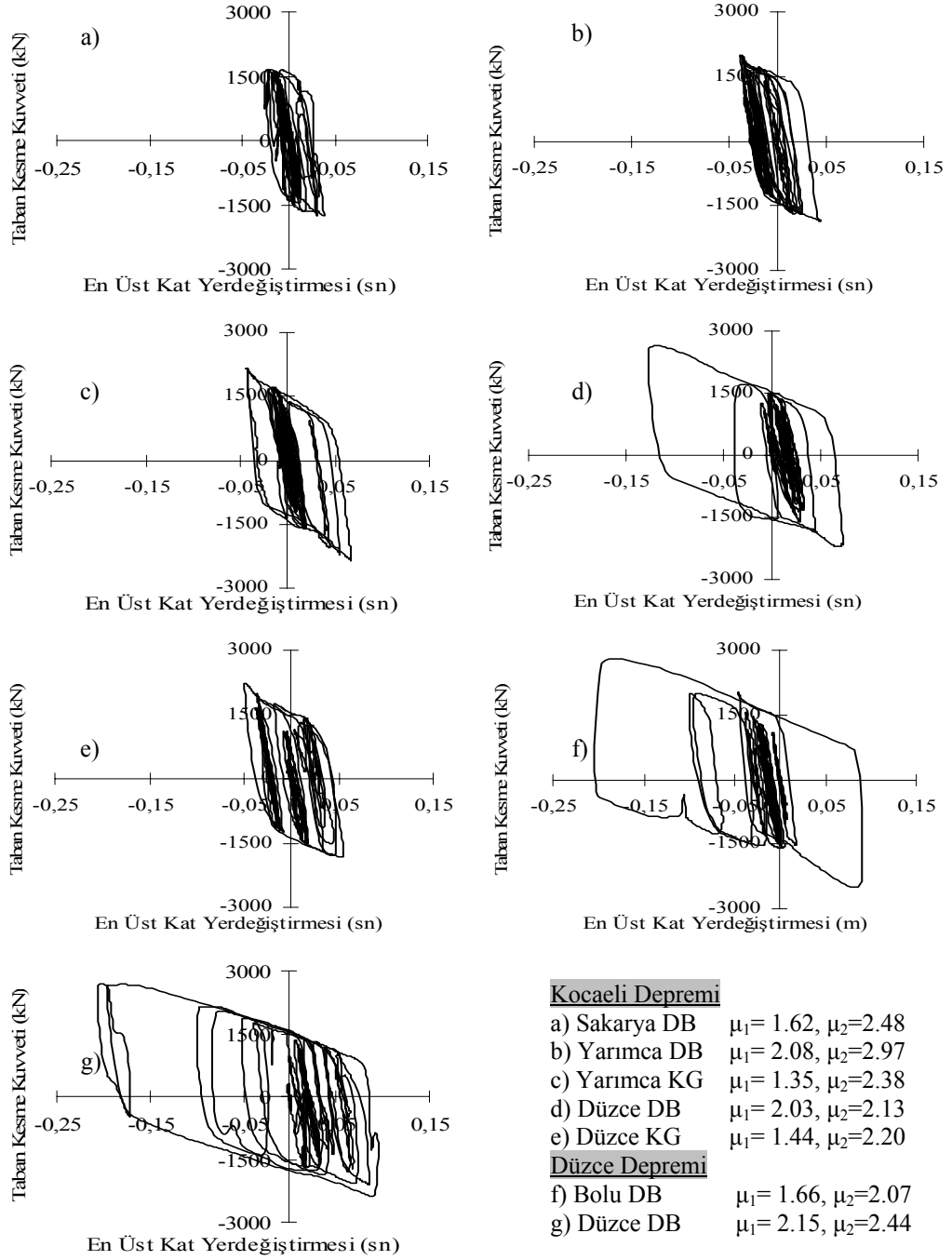
Son yaklaşım ise kısmi göçme kabulüne dayanmaktadır. Taşıyıcı sistemi oluşturan çerçevelerin, herhangi birinin herhangi bir katındaki kolonlarının en az %50 sinin hem alt hem üst uçlarında mafsallaştığı anda yapının taşıma kapasitesine ulaştığı saniyedeki en üst kat yerdeğiştirme değeri taşıma sınırı yerdeğiştirmesi olarak belirlenmiştir, (Lee ve diğ, 1997). μ_3 yerdeğiştirme sünekliği, taşıma kapasitesine ulaşıldığı varsayılan en üst kat yerdeğiştirme değerinin akma sınırı yerdeğiştirme değerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Duvarsız durumda μ_3 değerleri 1.07~1.79 arasında değişip ortalama 1.60 olurken, dolgu duvarlarının modele katılması sonucunda 1.35~2.45 arasında değiştii ortalama 1.77 değerinde olduğu tespit edilmiştir.

Yukarıda duvarlı ve duvarsız modellemelerdeki değerleri karşılaştırılan yerdeğiştirme sünekliklerinin farklı deprem kayıtları için değerleri Tablo 5.7' de görülmektedir. Bu tabloda da görüldüğü gibi dolgu duvarlı durumdaki yerdeğiştirme süneklik değerleri ortalamaları artmıştır. Sonuç olarak dolgu duvarlar yapının yatay rijitliğinine bağlı olarak yerdeğiştirme süneklik değerlerini de arttırmıştır.

Farklı deprem kayıtlarına göre yapılan doğrusal olmayan dinamik analiz sonucu elde edilen en üst kat yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti taleplerinin değişimleri Şekil 5.14' de gösterilmektedir.

Tablo 5.7 : Dolgu duvarlı ve duvarsız yerdeğiştirme süneklikleri

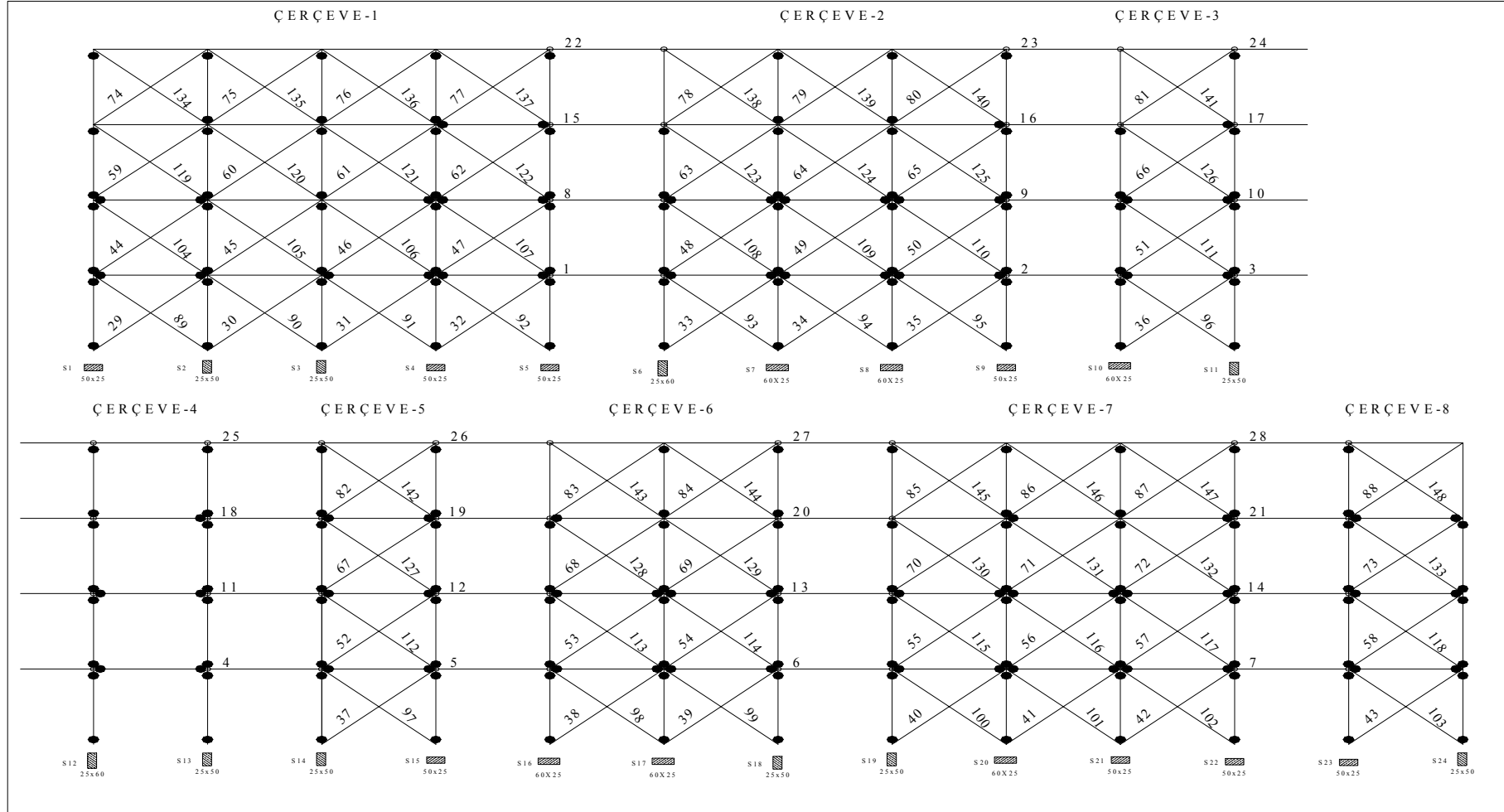
		Kocaeli Depremi					Düzce Depremi	
		Sakarya DB	Yarımca DB	Yarımca KG	Düzce DB	Düzce KG	Bolu DB	Düzce DB
μ_1	Duvarsız	1.42	1.48	1.25	1.93	1.39	1.64	1.61
	Duvarlı	1.62	2.08	1.35	2.03	1.44	1.66	1.79
μ_2	Duvarsız	2.13	2.24	1.92	1.97	1.94	1.66	2.15
	Duvarlı	2.48	2.97	2.38	2.13	2.20	2.07	2.44
μ_3	Duvarsız	1.64	1.79	1.07	1.88	1.57	1.57	1.70
	Duvarlı	1.76	2.45	1.35	1.92	1.69	1.65	1.78



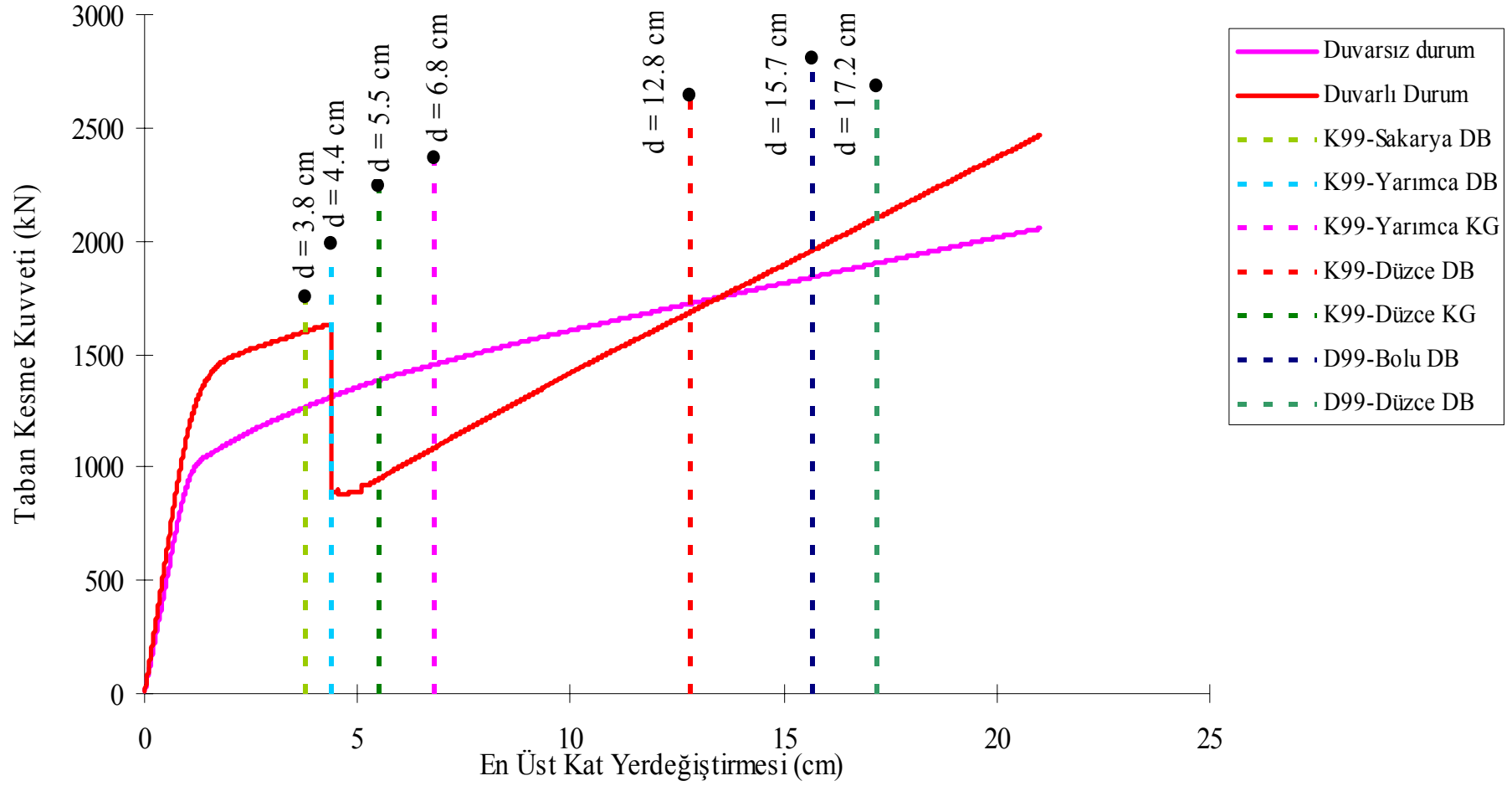
Şekil 5.14 : Kocaeli ve Düzce depremlerinin çeşitli kayıtlarına göre dolgu duvarlı çözümlemedeki taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme değişimleri

Örnek olarak seçilen Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan mafsallaşma durumu ise Şekil 5.15’ de verilmektedir. Burada ilk olarak duvarları temsil eden diyagonal basınç çubukları, daha sonra kirişler en son olarak da kolonlar akma sınırlarını aşmışlardır. Deprem sonrasında ise bütün diyagonallar, diğer bir deyişle bütün duvarlar yük taşıyamaz hale gelmiştir. Dolgu duvarlı ve duvarsız durum kıyaslandığında mafsallaşmaların dolgu duvarlı modelde üst katlarda bazı kiriş ve kolonların uç noktalarında oluşmadığı tespit edilmiştir. Bu da deprem sırasında duvarların yapının yük taşıma kapasitesine yaptığı katkıyı göstermektedir. Bütün deprem kayıtları için oluşan plastik mafsallaşma durumları Ek B’ de verilmiştir.

Deprem sırasında, taşıyıcı sistem sabit düşey yüklere ek olarak zamanla değişen yatay yüklerin etkisindedir. Yatay yük-yerdeğiştirme eğrileri doğrusal başlar betonun, çeliğin ve ikincil elemanlarda kesitlerin taşıma gücü değerlerine ulaşması ile zamanla eğimi azalır. Depremler etkisinde katlar için oluşturulan yerdeğiştirme zarflarından, yapının dinamik davranışında birinci modun etkin olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, doğrusal olmayan statik itme analizi için birinci mod ile orantılı yük durumu, itme analizinde esas alınmıştır. Bu çözümlemede sabit ve hareketli yükler değişmezken yatay yükler adım adım arttırılır. Güçlendirme öncesi, duvarsız ve dolgu duvarlı durumlar için artımsal eşdeğer deprem yükü uygulanarak, birinci modda doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Şekil 5.16’ da duvarsız ve duvarlı modellerin kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri görülmektedir. Bu karşılaştırma ile güçlendirme öncesinde dolgu duvarlarının taşıyıcı sistem davranışına yaptığı etki ortaya konulmuştur. Dolgu duvarlı modelde 4 sn civarında duvarların artan hasarla zayıflaması ile yapının deprem dayanımına katkısı ortadan kalkmıştır. 5 sn civarında eğride taban kesme kuvvetlerinin tekrar artmaya başlamasının nedeni gelen yatay deprem yükleri etkisinde diğer taşıyıcı sistem elemanlarının çalışmaya başlamasıdır. Dolgu duvarlı ve duvarsız çözümlemede, farklı deprem kayıtlarına göre hesaplanan yerdeğiştirme değerleri her ne kadar dolgu duvarları yapının yatay rijitliğini arttırmış da olsa elastik sınırın üzerinde oluştuğu tespit edilmiştir.



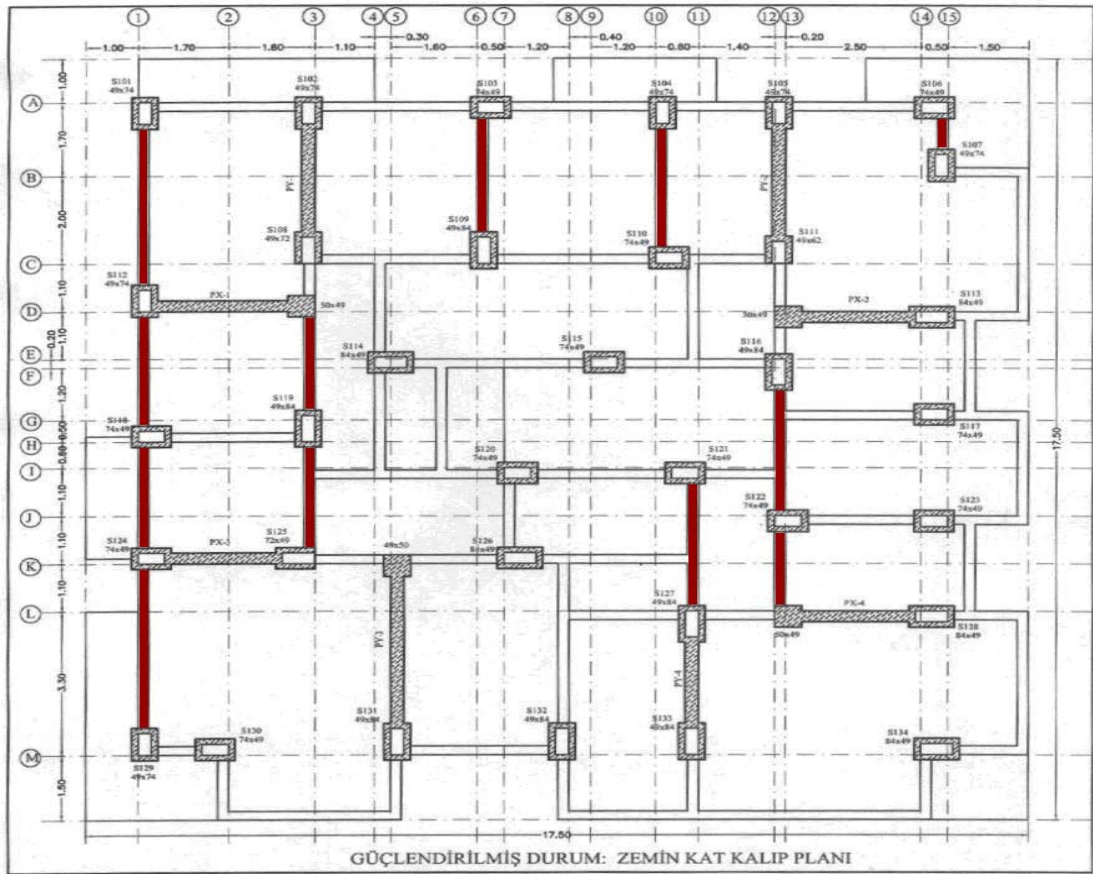
Şekil 5.15 : Güçlendirme öncesi duvarlı durum için Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan plastik mafsallar



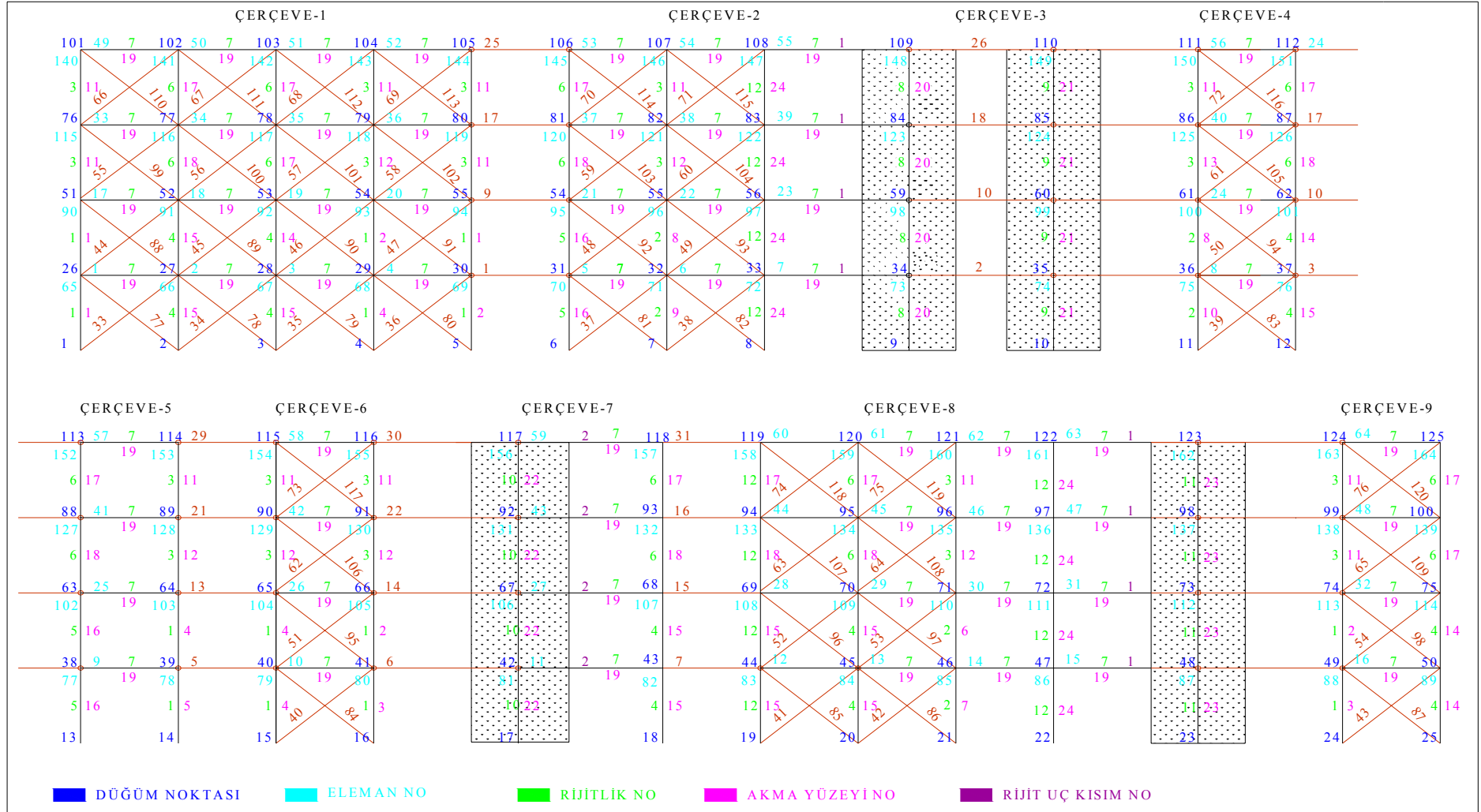
Şekil 5.16 : Kocaeli ve Düzce depremlerinin çeşitli kayıtlarına göre dolgu duvarlı çözümlemedeki taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme değişimleri

5.3 Yapının Güçlendirme Sonrası Doğrusal Olmayan Analizi

Şekil 5.17’de kalıp planı görülen binanın güçlendirme işlemi, C20 (BS 20) beton ve S420 (BÇ III) çeliği kullanılarak x-x ve y-y yönlerinde toplam 8 adet perde eklenerek ve mevcut kolonlar mantolanarak gerçekleştirilmiştir. Güçlendirme sonrası çözümlemenin de yine y-y doğrultusunda yapılabilmesi için, taşıyıcı sisteme enkesit özellikleri ve rijitlikleri farklı olan yeni elemanlar eklenmiştir. Çözümlemenin yapılacağı y-y doğrultusundaki 4 adet perde ve diğer doğrultudaki perdelerin başlıkları modellemeye katılmak suretiyle 12 adet farklı enkesit ve 24 farklı rijitlik ile elemanlar tanımlanmıştır. Perde-kiriş birleşim noktalarında plastik mafsall oluşumunu engellemek için kiriş uç bölgelerinin rijitlikleri artırılmıştır. Güçlendirme sonrasında dolgu duvarların modellenmesinde ise diğer doğrultudaki perde başlıklarından dolayı boyutları küçülen bazı duvarlar kaldırılarak, tanımlanan duvar sayısı 9’ a düşürülmüştür. Güçlendirme sonrasında dolgu duvarlı birleştirilmiş çerçeve Şekil 5.18’ de gösterilmektedir. Dolgu duvarlı taşıyıcı sistem eklenen perdelerden dolayı çerçeve sayısı 9 olarak modellenmiştir.

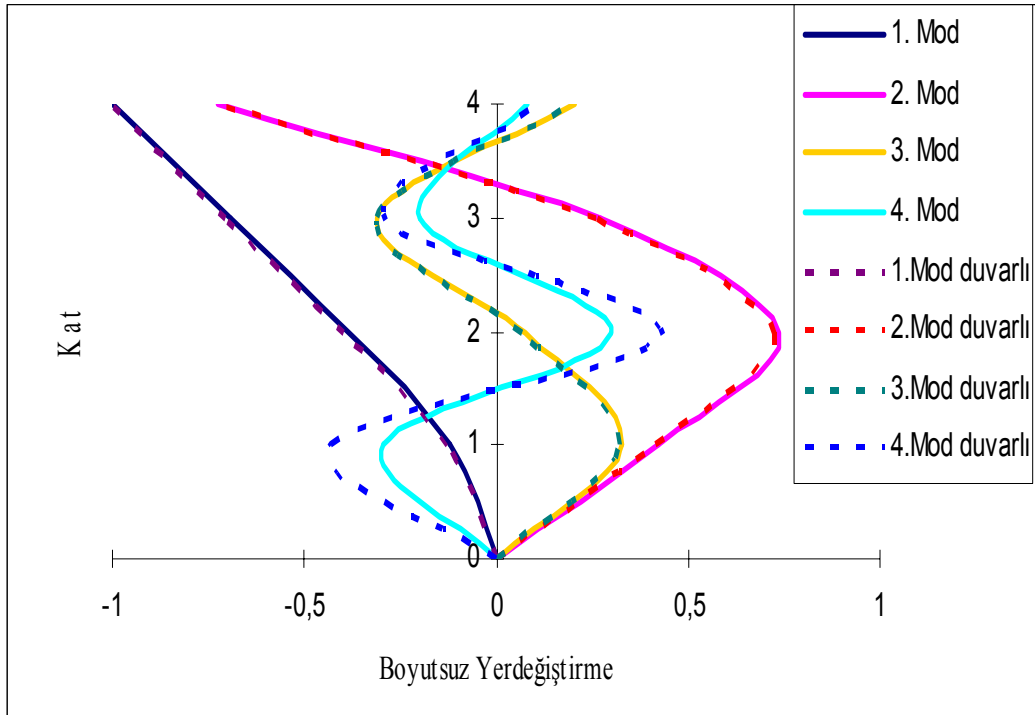


Şekil 5.17 : Yapının güçlendirilmiş durumuna ait modellenen dolgu duvarları da gösteren zemin kat kalıp planı



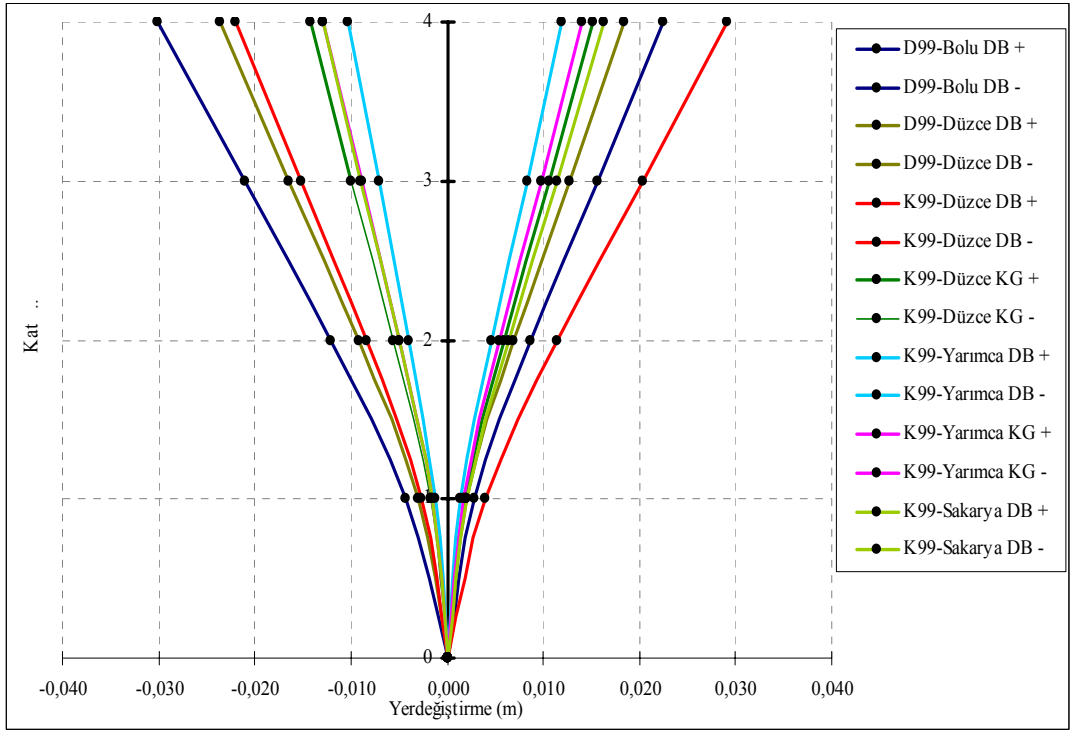
Şekil 5.18 : Güçlendirilmiş duruma ait dolgu duvarlı birleştirilmiş çerçeve

Dolgu duvarların etkilerinin de dikkate alındığı güçlendirme sonrasında yapı sisteminin ilk dört moduna ait sönümsüz serbest titreşim periyotları sırasıyla $T_1=0.244$ sn, $T_2=0.060$ sn, $T_3=0.026$ sn, $T_4=0.015$ sn olarak hesaplanmıştır. Bu mod şekillerinin duvarsız modeldeki periyotları ise $T_1=0.260$, $T_2=0.062$, $T_3=0.026$, $T_4=0.016$ sn olarak hesaplanmıştır. Dolgu duvarlar güçlendirme öncesinde olduğu gibi yapının yatay rijitliğini arttırarak periyodunun azalmasına neden olmaktadır. Dolgu duvarlı ve duvarsız modellerin ilk dört titreşim modlarının karşılaştırmaları Şekil 5.19’ da görülmektedir.

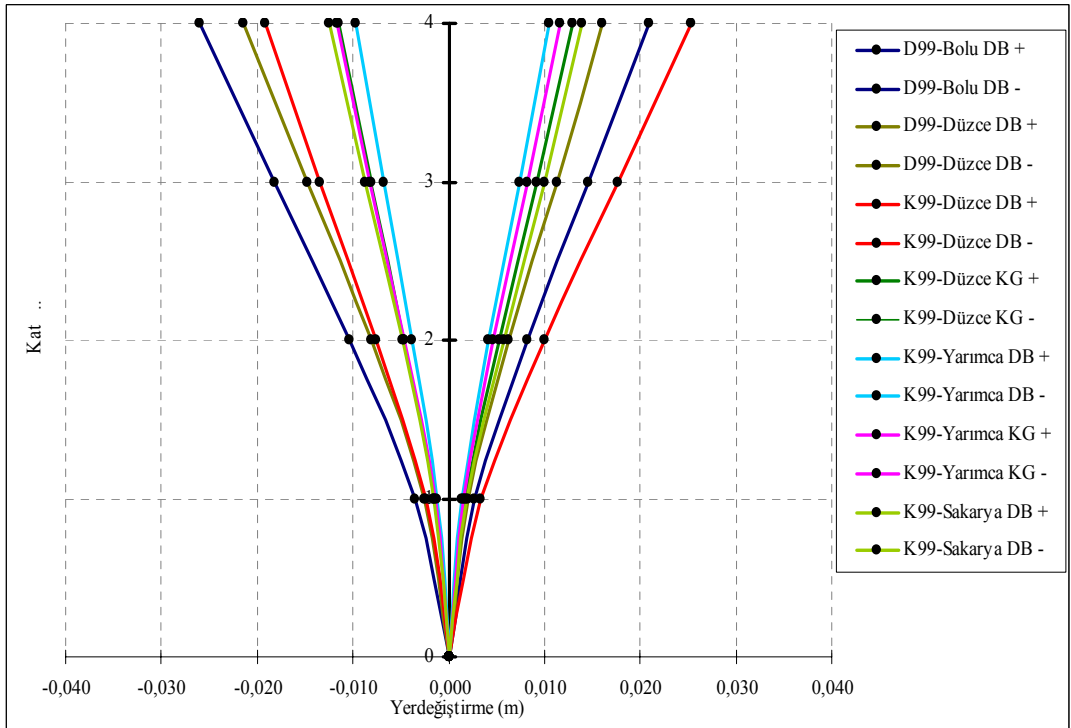


Şekil 5.19 : Güçlendirme sonrası dolgu duvarlı ve duvarsız ilk dört titreşim modu

Güçlendirme sonrasında, duvarsız sistemde ve dolgu duvarlı sistemde oluşan yerdeğiştirme zarfları sırası ile Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’ de görülmektedir. Güçlendirme sonrasında duvarsız modellemelerde yerdeğiştirme değerleri oldukça azalmıştır. Dolgu duvarlarının da modele eklenmesi ile bu değerler daha da azalmıştır. Güçlendirme sonrasında duvarsız modellemelerde en yüksek yerdeğiştirme değeri Düzce depremi Bolu DB kaydında 0.03 m olarak gerçekleşirken, dolgu duvarlarının da modelle katılmasıyla bu değer % 13 mertebesinde azalarak 0.026 m değerine düşmüştür. Güçlendirme sonrası duvarlı ve duvarsız analiz, perdelerin eklenmesi ve kolonları mantolanması suretiyle güçlendirilmiş binada ihmal edilemeyecek bir dolgu duvar etkisinin varlığına işaret etmektedir.



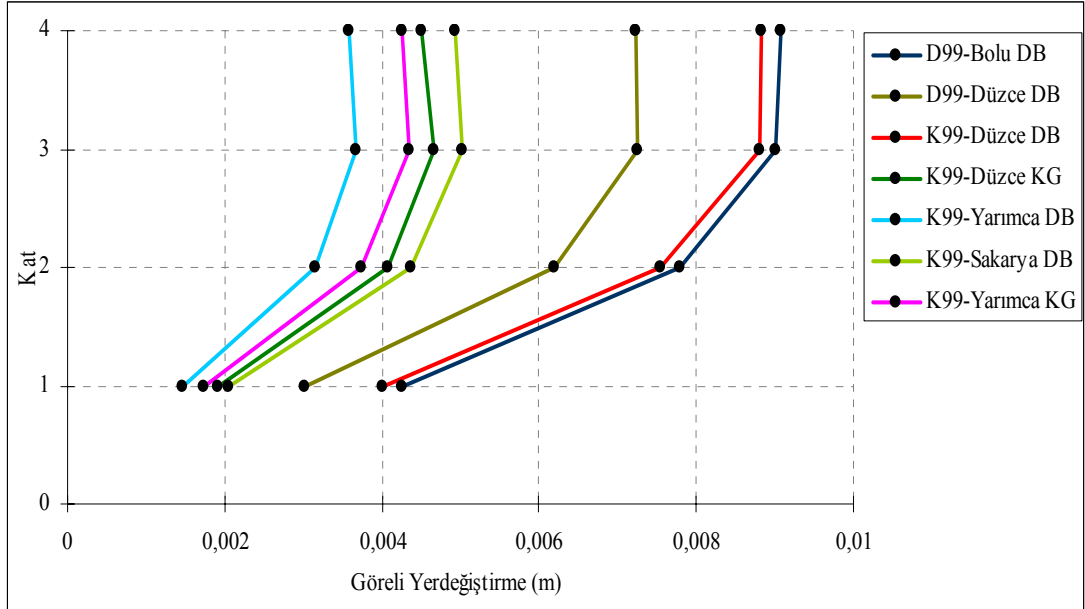
Şekil 5.20 : Güçlendirme sonrası duvarsız duruma ait yerdeğiştirme zarfı



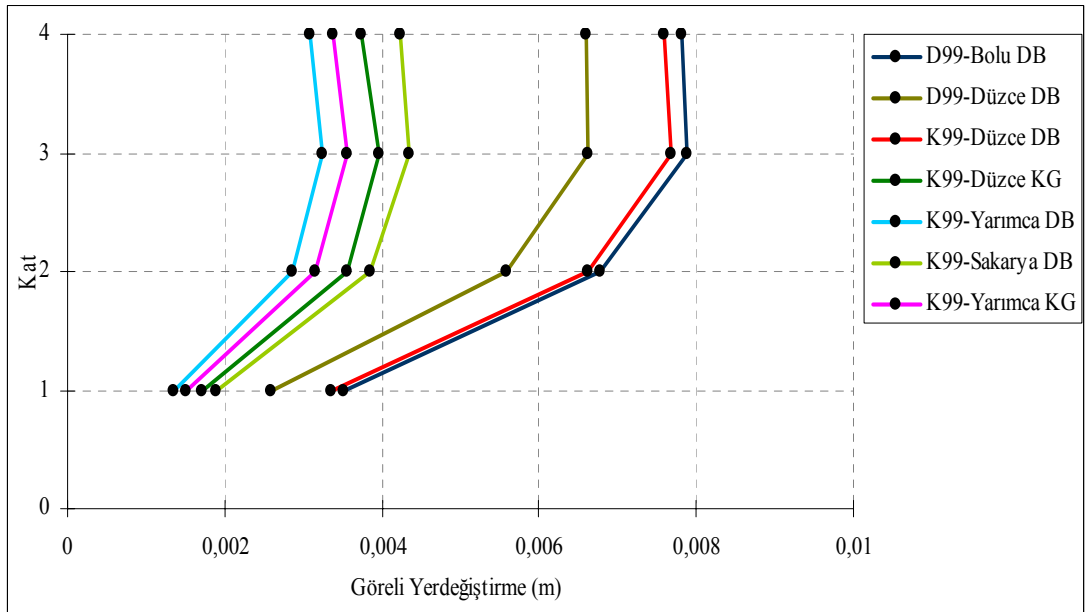
Şekil 5.21 : Güçlendirme sonrası duvarlı duruma ait yerdeğiştirme zarfı

Şekil 5.22' de dolgu duvarlarının dikkate alınmadığı güçlendirme sonrası durumda en büyük göreceli kat ötelemesi, Düzce depreminin Bolu DB kaydında 0.0090 m olarak, Şekil 5.23' deki dolgu duvarlı çözümlemelerde ise en büyük göreceli kat

ötelemesi değeri %12 mertebesinde azalarak 0.0079 m değerine düşmüştür. Güçlendirme sonrasında görel kat ötelemeleri güçlendirme öncesinin aksine üst katlarda daha fazladır bu da perde-çerçeve davranışını temsil etmektedir.



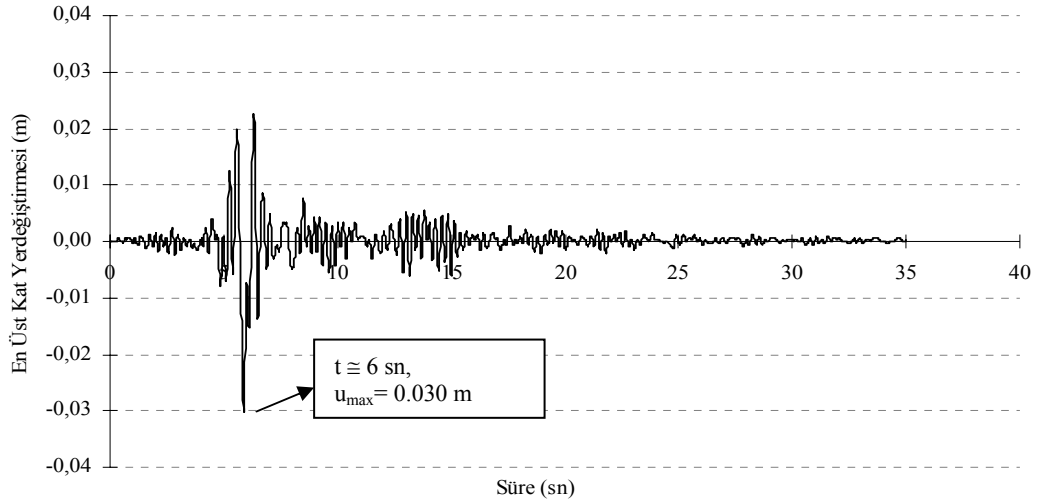
Şekil 5.22 : Güçlendirme sonrası duvarsız duruma ait görel kat ötelemeleri



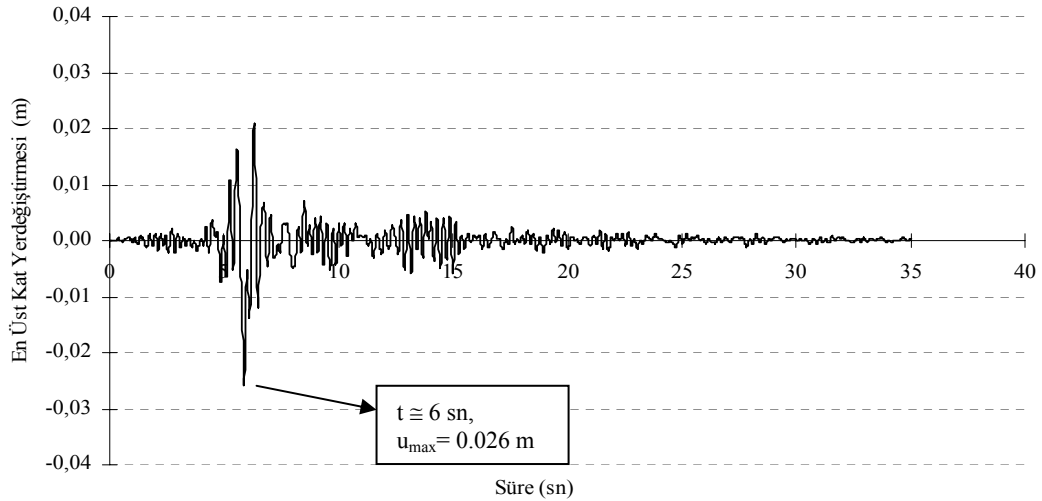
Şekil 5.23 : Güçlendirme sonrası duvarlı duruma ait görel kat ötelemeleri

Güçlendirme sonrası duvarsız ve duvarlı modellemeye ait Düzce depremi Bolu DB kaydına göre en üst katlarda oluşan yerdeğiştirme değişimleri sırası ile Şekil 5.24 ve 5.25’ de görülmektedir. Duvarsız modellemede deprem kaydına göre oluşan maksimum yerdeğiştirme değeri 6 sn civarında 0.030 m olarak belirlenmiş, dolgu

duvarlarında modellemeye katıldığı analizde ise en üst kat maksimum yerdeğiştirmesi 6 sn civarında % 13 azalarak 0.026 m değerine dūřmūřtur. Bunun nedeni dolgu duvarların yapının yatay rijitliğini arttırmış olmasındır. Dolgu duvarlı modellemenin diğer deprem kayıtlarına gōre en üst kat yerdeğiştirme değişimleri Ek C' de verilmiştir.



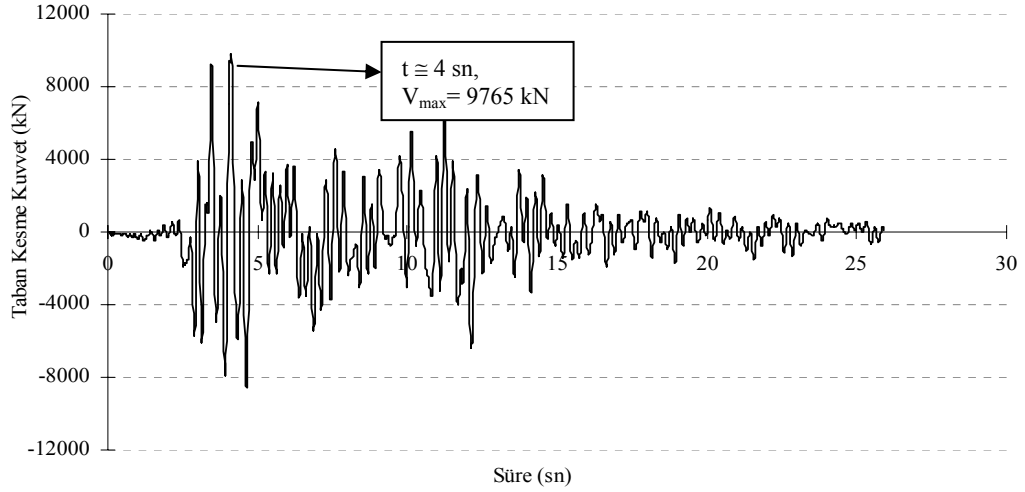
şekil 5.24 : Düzce depremi Bolu DB kaydına gōre güçlendirme sonrası duvarsız modellenen yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



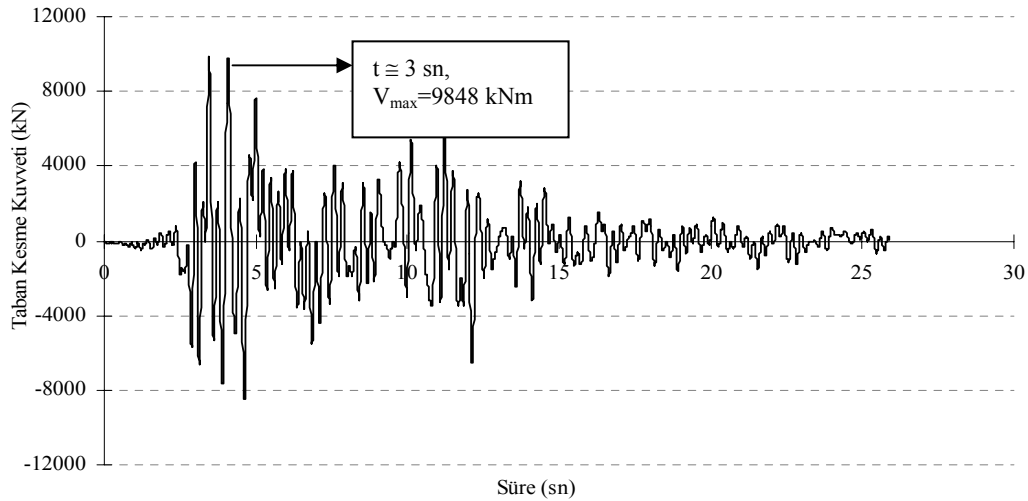
şekil 5.25 : Düzce depremi Bolu DB kaydına gōre güçlendirme sonrası duvarlı modellenen yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmenin zamanla değişimi

Güçlendirme sonrası duvarsız ve duvarlı modellemeye ait Düzce depremi Düzce DB kaydına gōre tabanda oluşan kesme kuvveti taleplerinin değişimi sırası ile şekil 5.26 ve 5.27' da gör÷lmektedir. Duvarsız modellemeye deprem kaydına gōre oluşan maksimum taban kesme kuvveti talep değeri 4 sn civarında 9765 kN olarak belirlenmiş, dolgu duvarlarında modellemeye katıldığı analizde ise maksimum taban

kesme kuvveti talebi 3 sn civarında %0.8 mertebesinde artarak 9848 kN değerine çıkmıştır. Dolgu duvarların da kesme kuvveti taşımak vasıtasıyla yapı rijitliğini arttırması doğal olarak tabana gelen kesme kuvveti değerini de arttırmıştır. Dolgu duvarlı modellemenin diğer deprem kayıtlarına göre tabanda oluşan kesme kuvveti taleplerinin değişimleri Ek C' de verilmiştir.



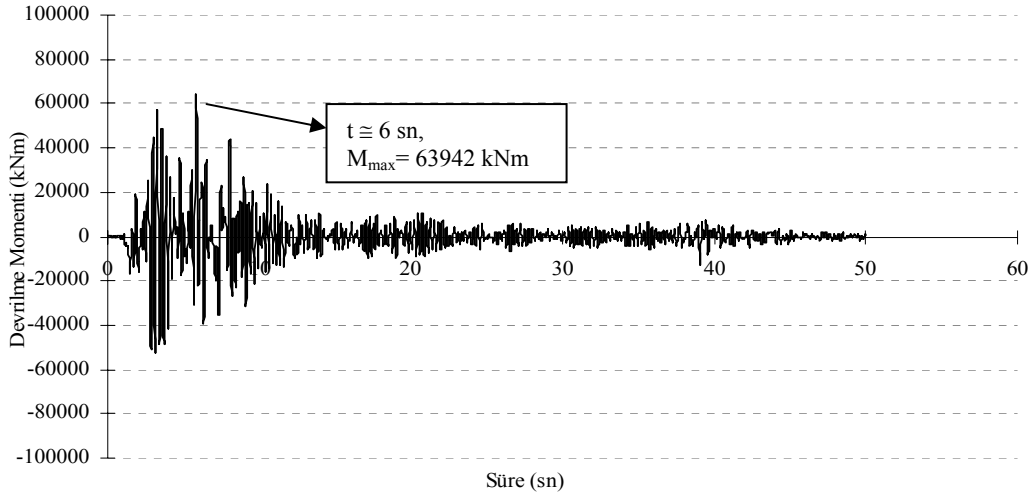
Şekil 5.26 : Düzce depremi Düzce DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarsız modellenen yapının taban kesme kuvveti taleplerinin zamanla değişimi



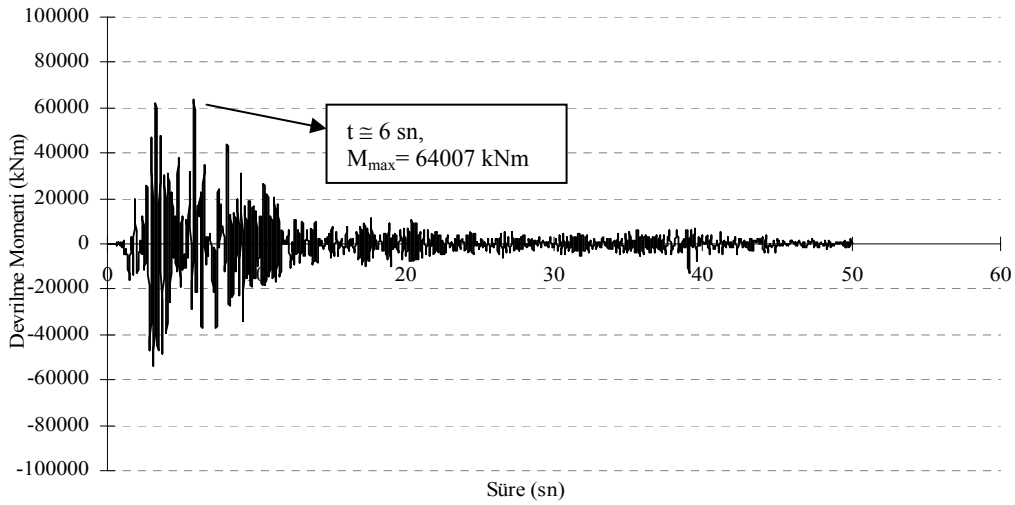
Şekil 5.27 : Düzce depremi Düzce DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarlı modellenen yapının taban kesme kuvveti taleplerinin zamanla değişimi

Duvarsız ve duvarlı modellemeye ait Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre devrilme momenti taleplerinin değişimleri sırası ile Şekil 5.28 ve 5.29' da görülmektedir. Duvarsız modellemeye göre deprem kaydına göre oluşan maksimum devrilme momenti talebi 6 sn civarında 63942 kNm olarak belirlenmiş, dolgu duvarlarında modellemeye katıldığı analizde ise maksimum devrilme momenti talebi

kesme kuvveti talebindeki artıma bağlı olarak 6 sn civarında % 0.1 mertebesinde artarak 64007 kNm değerine çıkmıştır. Dolgu duvarlı modellemenin diğer deprem kayıtlarına göre devrilme momenti taleplerinin değişimleri Ek C' de verilmiştir.



Şekil 5.28 : Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarsız modellenen yapının devrilme momenti taleplerinin zamanla değişimi



Şekil 5.29 : Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre güçlendirme sonrası duvarlı modellenen yapının devrilme momenti taleplerinin zamanla değişimi

Yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirmelerin, tabanda oluşan kesme kuvveti taleplerinin ve devrilme momenti taleplerinin duvarsız ve duvarlı duruma göre karşılaştırmaları Tablo 5.8' de görülmektedir. Bu tabloda da görüldüğü gibi dolgu duvarları yapının yatay rijitliğini arttırmış, yapı daha küçük yerdeğiştirmelere ulaşmıştır. Yapının en üst katında oluşan yerdeğiştirme değerleri azalırken tabanda oluşan kesme kuvveti talepleri artmıştır. Tablo 5.8'deki bazı duvarsız taban kesme kuvveti talepleri dolgu duvarlıdan düşük değerlerde olması gerekirken daha

yüksektir. Bunun nedeni duvarsız ve duvarlı çözümlerinin her ikisinde de bina ağırlıklarının aynı alınmasıdır. Tablo 5.9’ da bina dolgu duvar ağırlıkları katılmayarak çözümlendiğinde oluşan en üst kat yerdeğiştirmeleri, taban kesme kuvveti talepleri ve devrilme momenti talepleri görülmektedir. Dolgu duvar ağırlıkları çıkartılarak yapılan çözümlerde taban kesme kuvveti talepleri ve devrilme momenti talepleri beklendiği gibi dolgu duvarlı ve daha ağır olan modelden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.8 : Güçlendirme sonrası yapının duvarsız ve duvarlı analizlerindeki en üst kat yerdeğiştirmesine, taban kesme kuvveti talebine ve devrilme momenti talebine ait maksimum değerler

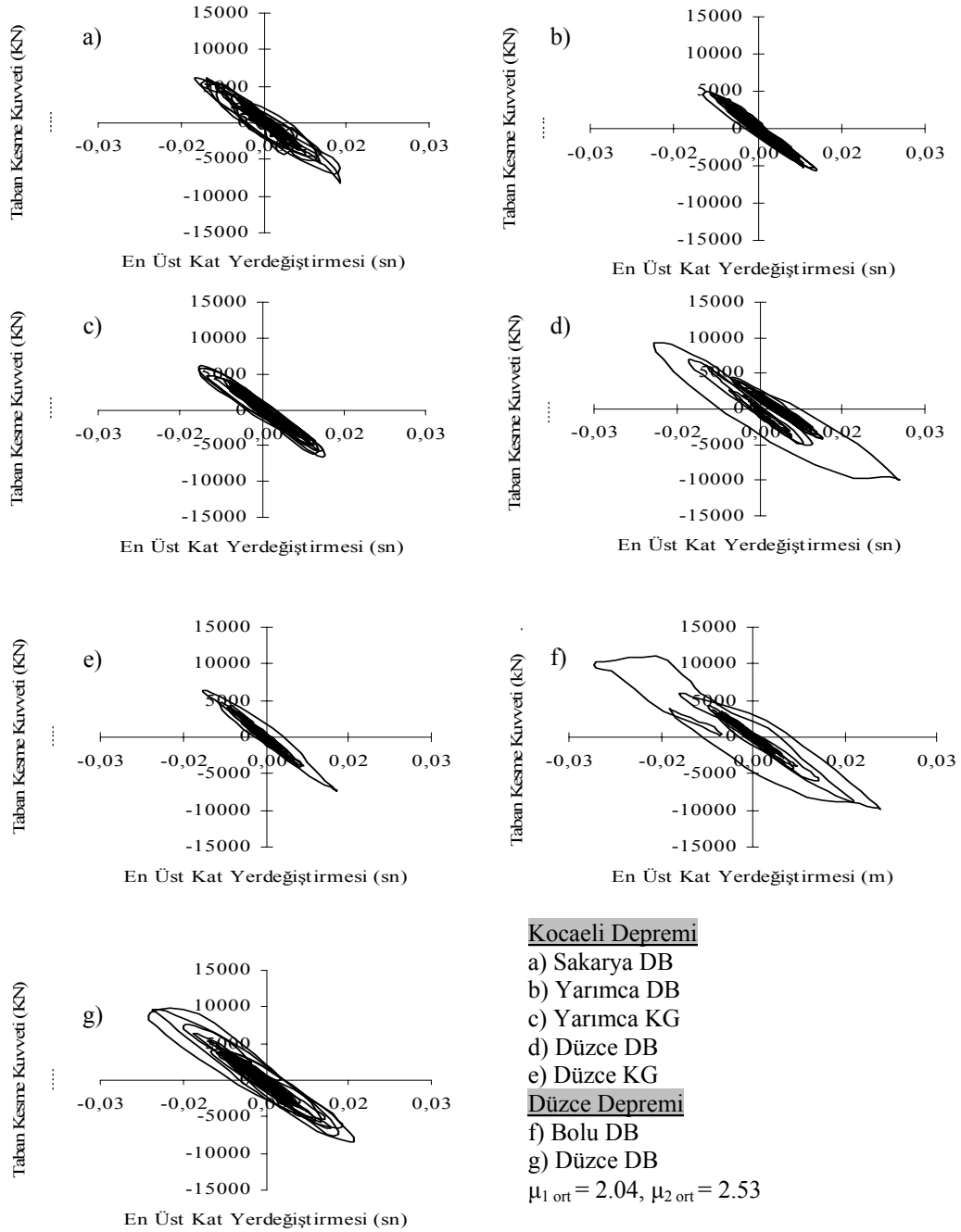
		Kocaeli Depremi					Düzce Depremi	
		Sakarya DB	Yarımcı DB	Yarımcı KG	Düzce DB	Düzce KG	Bolu DB	Düzce DB
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi (m)	Duvarsız	0.016	0.012	0.014	0.029	0.015	0.030	0.024
	Duvarlı	0.014	0.011	0.012	0.025	0.013	0.026	0.021
Taban Kesme Kuvveti (kN)	Duvarsız	8575	5735	7001	10004	7721	10652	9765
	Duvarlı	8299	5632	6550	9960	7319	11034	9848
Devrilme Momenti (kNm)	Duvarsız	63942	48796	55935	86819	59966	89013	80040
	Duvarlı	64007	49236	53633	89992	59254	86345	79397

Tablo 5.9 : Güçlendirme sonrası yapının dolgu duvarsız analizinde duvar ağırlıkları katılmadan hesaplanan en üst kat yerdeğiştirmesine, taban kesme kuvveti talebine ve devrilme momenti talebine ait maksimum değerler

		Kocaeli Depremi					Düzce Depremi	
		Sakarya DB	Yarımcı DB	Yarımcı KG	Düzce DB	Düzce KG	Bolu DB	Düzce DB
En Üst Kat Yerdeğiştirmesi (m)		0.012	0.009	0.010	0.020	0.010	0.023	0.021
Taban Kesme Kuvveti (kN)		6344	4375	4945	8557	5435	9768	8525
Devrilme Momenti (kNm)		49439	39146	43448	72204	44248	78410	72817

Güçlendirme sonrası duvarlı ve duvarsız durum için yerdeğiştirme süneklikleri hesaplanmıştır. Ancak yerdeğiştirme süneklik değerlerinin hesabında Yarımcı DB ve Yarımcı KG kayıtlarında μ_1 ve μ_2 hesabındaki kabuller sistemde oluşan mafsalların azlığından dolayı gerçekteşmemektedirler. Duvarsız analizde böyle bir durumla karşılaşılmamıştır. Duvarlı ve duvarsız durumları karşılaştırabilmek amacıyla hesaplanan μ_1 ve μ_2 değerlerinin ortalama değerleri kullanılmıştır. Duvarsız durumdaki 7 adet deprem kaydına göre ortalama μ_1 ve μ_2 değerleri sırasıyla 1.97 ve 2.37 iken duvarlı durumdaki 5 adet deprem kaydına göre ortalama μ_1 ve μ_2 değerleri sırasıyla 2.04 ve 2.53 olarak hesaplanmıştır. Bu da güçlendirme sonrasında yapı modeline duvarlarında katılması ile yapı rijitliğinin arttığını göstermektedir.

Farklı deprem kayıtlarına göre dolgu duvarlı modellenen binanın doğrusal olmayan dinamik analizi sonucu elde edilen en üst kat yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.30' da gösterilmektedir.



Şekil 5.30 : Kocaeli ve Düzce depremlerinin çeşitli kayıtlarına göre, güçlendirme sonrası dolgu duvarlı çözümlemede taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme değişimleri

Örnek olarak seçilen Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan mafsallaşma durumu ise Şekil 5.31' de verilmektedir. Burada ilk olarak duvarları temsil eden diyagonal basınç çubukları, daha sonra kirişler en son olarak da kolonlar

akma sınırlarını aşmıştır. Dolgu duvarlı ve duvarsız durum kıyaslandığında mafsallaşmaların dolgu duvarlı modelde üst katlardaki bazı kiriş ve kolonların uç noktalarında oluşmadığı tespit edilmiştir. Bu da deprem sırasında duvarların yapının yük taşıma kapasitesine yaptığı katkıyı göstermektedir.

Güçlendirme sonrası, duvarsız ve dolgu duvarlı durumlar için artımsal eşdeğer deprem yükü uygulanarak, birinci modda doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Şekil 5.32’ de duvarsız ve duvarlı modellerin kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri görülmektedir. Dolgu duvarların yapıyı rijitleştirmesinden dolayı, etkiyen deprem kuvvetleri altında yapı davranışı elastik sınır dahilindedir. Ancak yapıya etkiyen kesme kuvvetlerinde ihmal edilemeyecek bir yükseliş oluşmuştur.

Güçlendirme öncesi ve sonrası dolgu duvarlı modelleme için elde edilen itme eğrileri, DBYBHY’ nin 7. Bölümünde binanın deprem performansı doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi yönteminde kullanılmıştır. Bu eğriler aşağıdaki ifadeler kullanılarak, koordinatları modal ivme, (a) ve modal yerdeğiştirme, (d), olarak tanımlanan modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmüştür.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (5.1)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (5.2)$$

Burada:

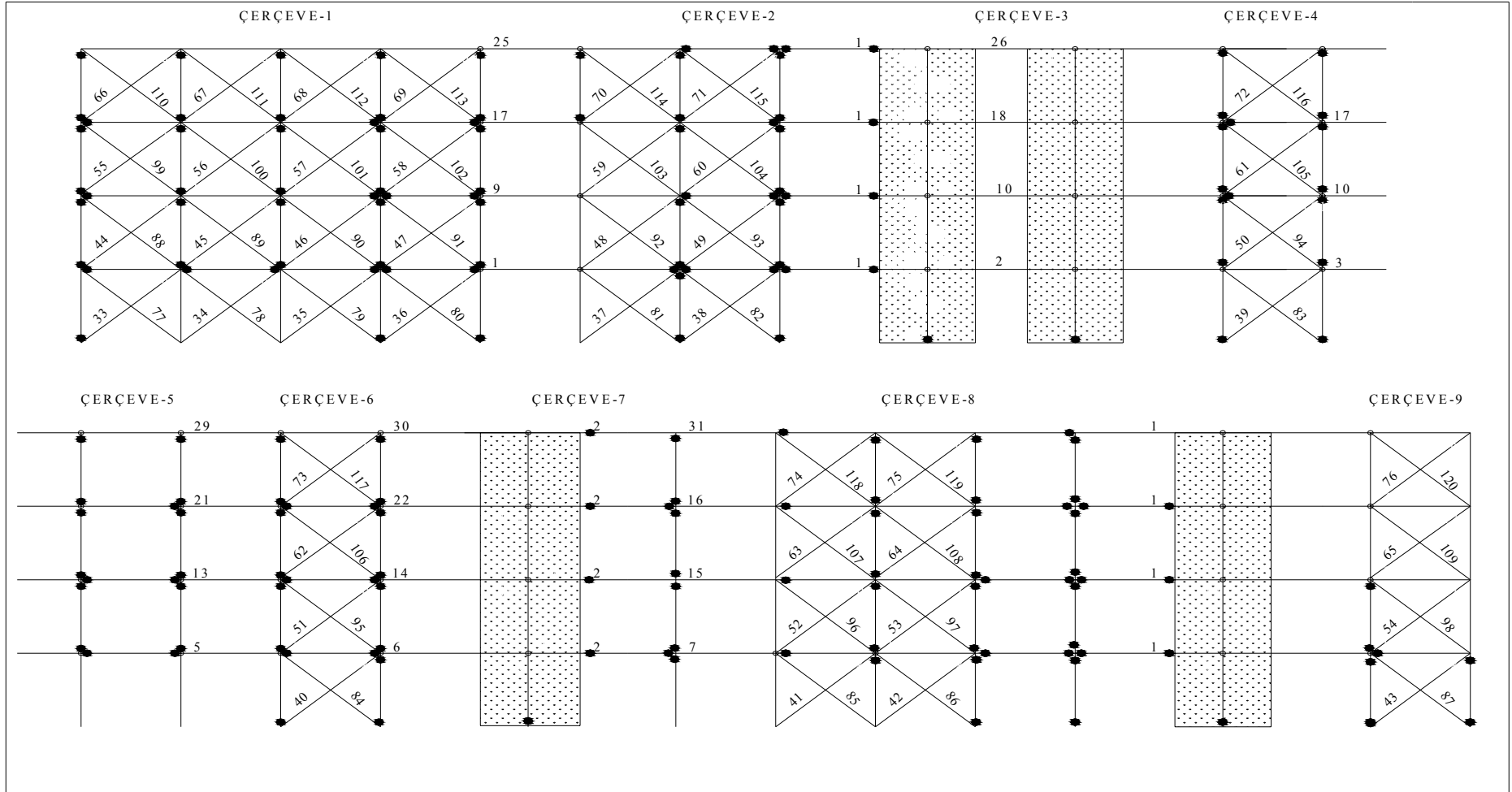
$a_1^{(i)}$: i. İtme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal sözde ivme,

$V_{x1}^{(i)}$: x deprem doğrultusunda (i)’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvveti,

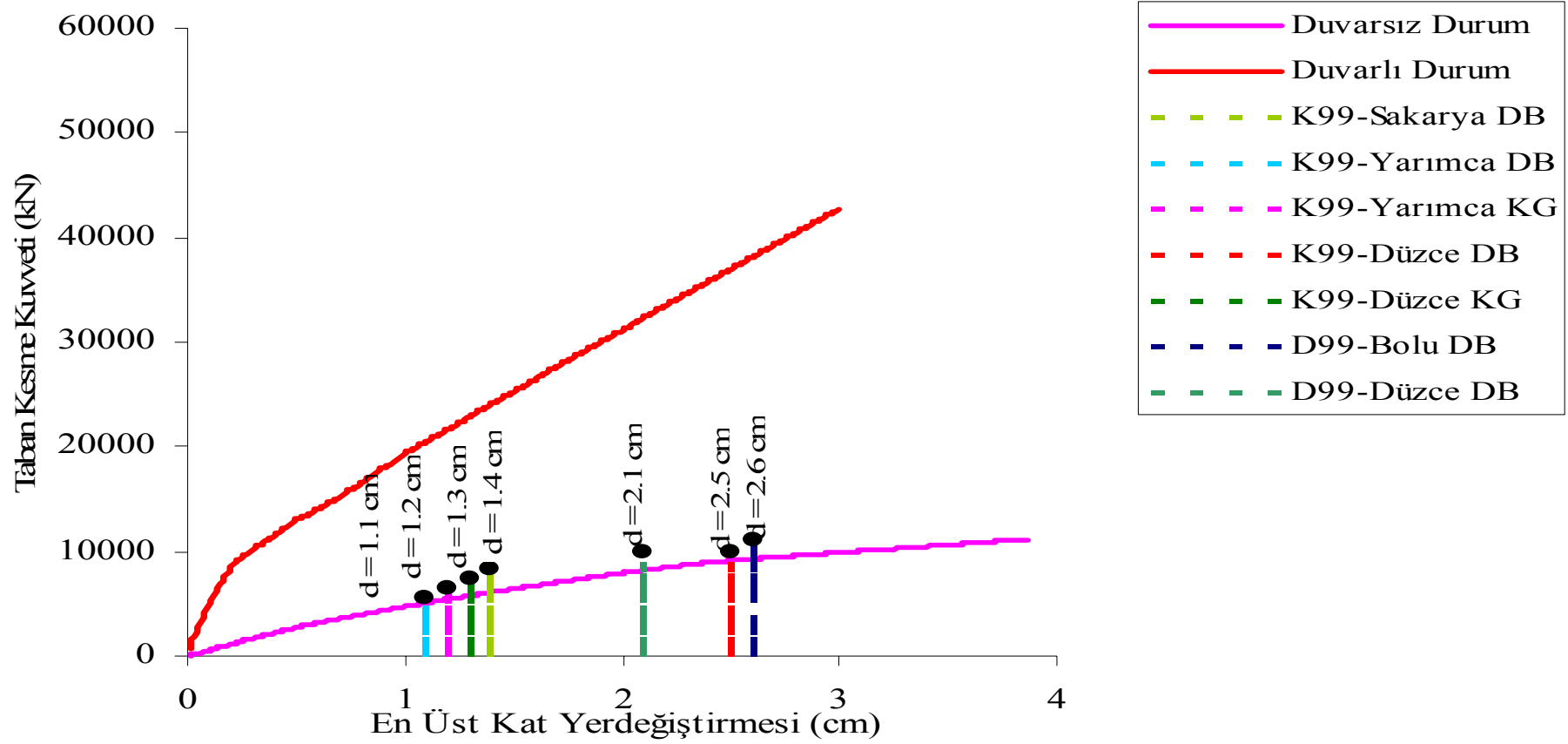
M_{x1} : x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle,

$d_1^{(i)}$: (i)’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal sözde yerdeğiştirme,

$u_{xN1}^{(i)}$: Binanın tepesinde (N’inci katında) x deprem doğrultusunda (i)’inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme,



Şekil 5.31 : Güçlendirme sonrası duvarlı durum için Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan plastik mafsallar



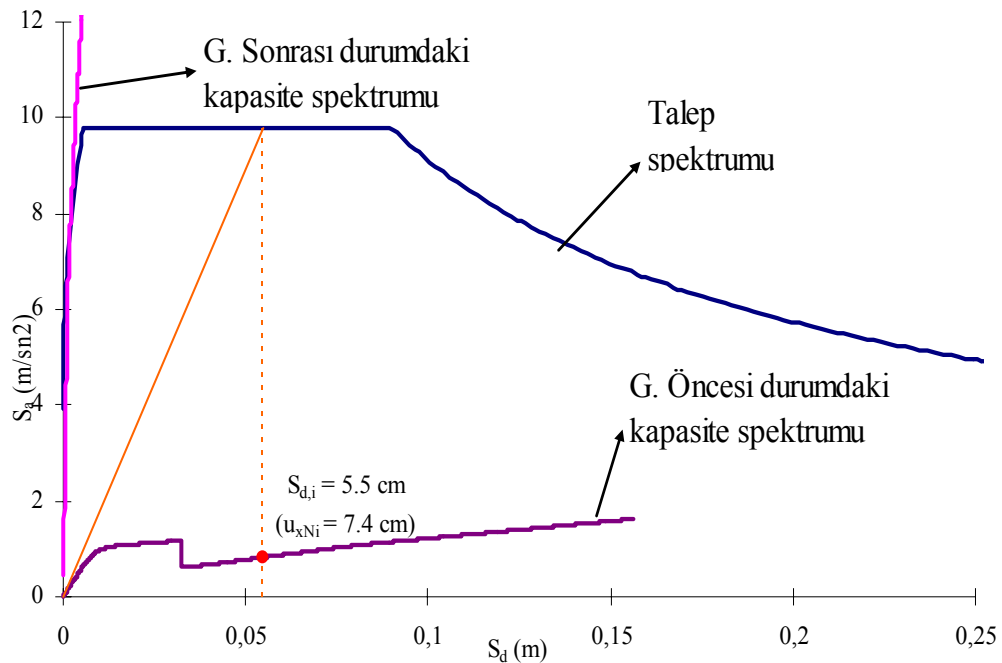
Şekil 5.32 : Kocaeli ve Düzce depremlerinin çeşitli kayıtlarına göre güçlendirme sonrası duvarsız ve dolgu duvarlı çözümlerdeki taban kesme kuvveti-en üst kat yerdeğiştirme değişimleri

ϕ_{xN1} : Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği,

Γ_{x1} : x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanıdır.

Binanın güçlendirme öncesi ve sonrası dolgu duvarlı itme eğrileri yukarıdaki ifadelerle kapasite spektrumlarına dönüştürülmüş, bu kapasite spektrumu ile talep spektrumu Şekil 5.33' de gösterilmiştir.

Güçlendirme öncesi dolgu duvarlı durumda yapının titreşim periyodu 0.469 sn, Z3 türü zemin için tanımlanan T_B hakim zemin periyodundan ($T_B=0.6$ sn) küçüktür. Elastik olmayan yerdeğiştirme değeri, yönetmelikteki eşit yerdeğiştirme kuralına göre, elastik durumdaki yerdeğiştirmeye eşit olacak şekilde modal yerdeğiştirme cinsinden $S_{d,i} = 5.5$ cm olarak hesaplanmıştır. Bu modal yerdeğiştirme değeri (5.2) denkleminde yerine konularak en üst kat yerdeğiştirme değeri 7.4 cm olarak hesaplanmıştır. Bulunan yerdeğiştirme değeri güçlendirme öncesinde dolgu duvarlı modellemeye çeşitli deprem kayıtları etkisinde hesaplanan yerdeğiştirme değerleriyle uyumludur. Binada oluşan orta derecedeki hasar durumunu ortaya koymak için gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik çözümleme sonucunda hesaplanan karşılıkları ve mafsallaşma oluşumunu destekleyen bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.33 : Güçlendirme öncesi ve sonrası dolgu duvarlı durumlara ait kapasite spektrumu ve talep spektrumu ilişkisi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bölme duvarlar gözönüne alınmadan başka bir çalışmada incelenmiş olan ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Yalova ilinde orta derecede hasar görmüş bir binanın, dolgu duvarlarının da modellemeye anlatılan modeller uyarınca katılarak, güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası durumlarına ait doğrusal olmayan dinamik çözümleme sonuçları karşılaştırılmıştır.

Dolgu duvarlarının yapısal özellikleri, farklı yüklemeler etkisinde davranış biçimleri, deprem yükleri etkisinde taşıyıcı sistem davranışına katkılarının modellenmesi için Al-Chaar' ın yöntemi uygulanmıştır. Diğer bir deyişle tersinir deprem yükleri etkisinde duvarın modellenmesinde iki adet eşdeğer basınç çubuğu tanımlanmıştır. Duvarların eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi tasarım aşamasında sistemi çok basitleştirmiştir.

Hesap yükünü azaltmak amacıyla tüm betonarme elemanların, çift doğrulu çevrim modeline uygun davrandıkları kabul edilmiştir. Sisteme güçlendirme sonrasında eklenen betonarme perdelerin de kesme kuvveti nedeniyle göçmeye ulaşmadığı ve dolayısıyla da yine çift doğrulu histeretik modelle temsil edilebilecekleri kabul edilmiştir. Analizde P-Δ etkisi ve eksenel kuvvet-moment etkileşimi ihmal edilmiştir.

Duvarsız ve dolgu duvarlı, doğrusal olmayan dinamik çözümleme hesap sonuçlarının sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için önceki araştırmacı tarafından düzenlenmiş yıkıcı özellikli, yumuşak ve nispeten sert zeminlerde alınmış, içlerinde darbe tipi depremleri de temsil eden 7 farklı kayıt aynen kullanılmıştır.

Taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan, Yalova ilindeki dört katlı bir konut binası güçlendirme öncesi ve sonrası durumları dolgu duvarları da modellemeye katılarak incelenmiştir. Güçlendirme öncesi ve sonrası için yapının duvarsız serbest titreşim periyotları sırasıyla $T_1= 0.624$ sn ve $T_1=0.260$ sn iken, dolgu duvarlarının modellemeye eklenmesi ile bu değerler $T_1= 0.469$ sn ve $T_1= 0.244$ sn olarak hesaplanmıştır. Yapının sönümsüz serbest titreşim periyodundaki bu hatırı sayılır azalmanın nedeni dolgu duvarların yapının yatay rijitliğine yaptığı katkıdır.

Güçlendirme öncesi ve sonrası duvarsız durumlar için görelî kat ötelenmelerinin maksimum değerleri sırasıyla 0.083 m ve 0.0090 m iken duvarlı durumda talepler 0.055 m ve 0.0079 m olacak şekilde yaklaşık %34 ve %12 oranında azalmıştır. Dolgu duvarlarının yapının yatay rijitliğine yaptığı bu katkı yerdeğiştirme değerlerini ortalama olarak azaltırken tabanda oluşan kesme kuvveti taleplerini dolayısıyla da devrilme momenti taleplerini arttırmıştır. Duvarsız durum ile duvarlı durum karşılaştırıldığında güçlendirme öncesi ortalama olarak taban kesme kuvveti talebinde %14, devrilme momenti talebinde ise %29 artış belirlenmiştir. Güçlendirme sonrasında ise taban kesme kuvveti talebinde %22, devrilme momenti talebinde ise %21 artış belirlenmiştir.

Deprem etkisindeki bir yapının performansının önemli bir göstergesi olan yerdeğiştirme süneklik değerleri örnek bina için, güçlendirme öncesi üç farklı yaklaşım için kullanılan deprem kayıtlarına göre incelenmiş ve duvarsız durumla karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda yapının akma sınırı olarak herhangi bir kattaki herhangi bir kolonunun aktığı yerdeğiştirme değeri esas alınarak, daha önce kirişlerde ve duvarlardaki akma kapasitesi aşılın durumların yapısal akmayı temsil etmediği varsayılmıştır. Yapının taşıma sınırını belirlerken de üç ayrı yaklaşıma göre μ_1 , μ_2 ve μ_3 olarak farklı süneklikler hesaplanmıştır.

Duvarsız durumda μ_1 değerlerinin 1.25~1.93 arasında değişmekte olduğu, ortalama 1.5 civarında oldukça düşük bir seviyede kaldığı anlaşılmaktadır. Ancak dolgu duvarlarının da modellemeye katılması durumunda μ_1 yerdeğiştirme sünekliği değerlerinin 1.35~2.08 arasında değişmekte olduğu, ortalamanında 1.7 değerine yükseldiği görülmüştür. Böylelikle duvarların dikkate alındığı modelde yapının daha sünek bir davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

İkinci yaklaşımda duvarsız durum için μ_2 değerleri 1.66~2.24 arasında değişip ortalamaları 2.0 olurken, dolgu duvarların modele katılması sonucunda ise 2.07~2.97 arasında değiştiği ve ortalama olarak 2.38 değerinde olduğu tespit edilmiştir.

Üçüncü yaklaşımda duvarsız durum için μ_3 değerleri 1.07~1.79 arasında değişip ortalama 1.60 olurken, dolgu duvarlarının modele katılması sonucunda 1.35~2.45 arasında değiştiği ortalama 1.77 değerinde olduğu tespit edilmiştir.

Güçlendirme sonrası duvarlı ve duvarsız durum için yerdeğiştirme süneklikleri hesaplanmıştır. Ancak yerdeğiştirme süneklik değerlerinin hesabında, Yarımcı DB

ve Yarımca KG kayıtları için μ_1 ve μ_2 hesabındaki kabuller sistemde oluşan mafsalların azlığından dolayı gerçekleşmemektedir. Duvarsız analizde böyle bir durumla karşılaşılmamıştır. Duvarlı ve duvarsız durumları karşılaştırabilmek amacıyla hesaplanan μ_1 ve μ_2 değerlerinin ortalama değerleri kullanılmıştır. Duvarsız durumdaki 7 adet deprem kaydına göre ortalama μ_1 ve μ_2 değerleri sırasıyla 1.97 ve 2.37 iken duvarlı durumdaki 5 adet deprem kaydına göre ortalama μ_1 ve μ_2 değerleri sırasıyla 2.04 ve 2.53 olarak hesaplanmıştır. Bu da güçlendirme sonrasında yapı modeline duvarlarında katılması ile yapı rijitliğinin arttığını göstermektedir.

Güçlendirme öncesi, duvarsız ve dolgu duvarlı durumlar için artımsal eşdeğer deprem yükü uygulanarak, birinci modda doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Şekil 5.15' de duvarsız ve duvarlı modellerin kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri sunulmuştur. Bu karşılaştırma ile güçlendirme öncesinde dolgu duvarlarının taşıyıcı sistem davranışına yaptığı etki ortaya konulmuştur. Dolgu duvarlı modelde 4 sn civarında duvarların artan hasarla zayıflaması ile yapının deprem dayanımına katkısı ortadan kalkmıştır. 5 sn civarında eğride taban kesme kuvvetlerinin tekrar artmaya başlamasının nedeni gelen yatay deprem yükleri etkisinde diğer taşıyıcı sistem elemanlarının çalışmaya başlamasıdır. Dolgu duvarlı ve duvarsız çözümlemede, farklı deprem kayıtlarına göre hesaplanan yerdeğiştirme değerleri her ne kadar dolgu duvarları yapının yatay rijitliğini arttırmış da olsa elastik sınırın üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Güçlendirme sonrası için, benzer analiz yapıldığında duvarsız ve dolgu duvarlı durumlar için kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri elde edilmiştir. Dolgu duvarların yapıyı rijitleştirmesinden dolayı, etkiyen deprem kuvvetleri altında yapı davranışı elastik sınır dahilindedir. Ancak yapıya etkiyen kesme kuvveti taleplerinde ihmal edilemeyecek bir yükseliş olmuştur.

Elastik olmayan yerdeğiştirme değeri, modal yerdeğiştirme cinsinden $S_{d,i} = 5.5$ cm olarak hesaplanmıştır. Bu modal yerdeğiştirme değerinden yola çıkılarak en üst kat yerdeğiştirme değeri 7.4 cm olarak hesaplanmıştır. Bu durum güçlendirme öncesinde dolgu duvarlı modellemede çeşitli deprem kayıtları etkisinde hesaplanan yerdeğiştirme değerleriyle uyumludur ve bulunan bu yerdeğiştirme değeri yapının güçlendirme öncesi durumu için, yapıda oluşan orta derecedeki hasar durumunu ve bu durumu ortaya koymak için gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analiz

sonucunda belirlenen karşılıkları ve mafsallaşma oluşumunu destekleyen diğer bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır.

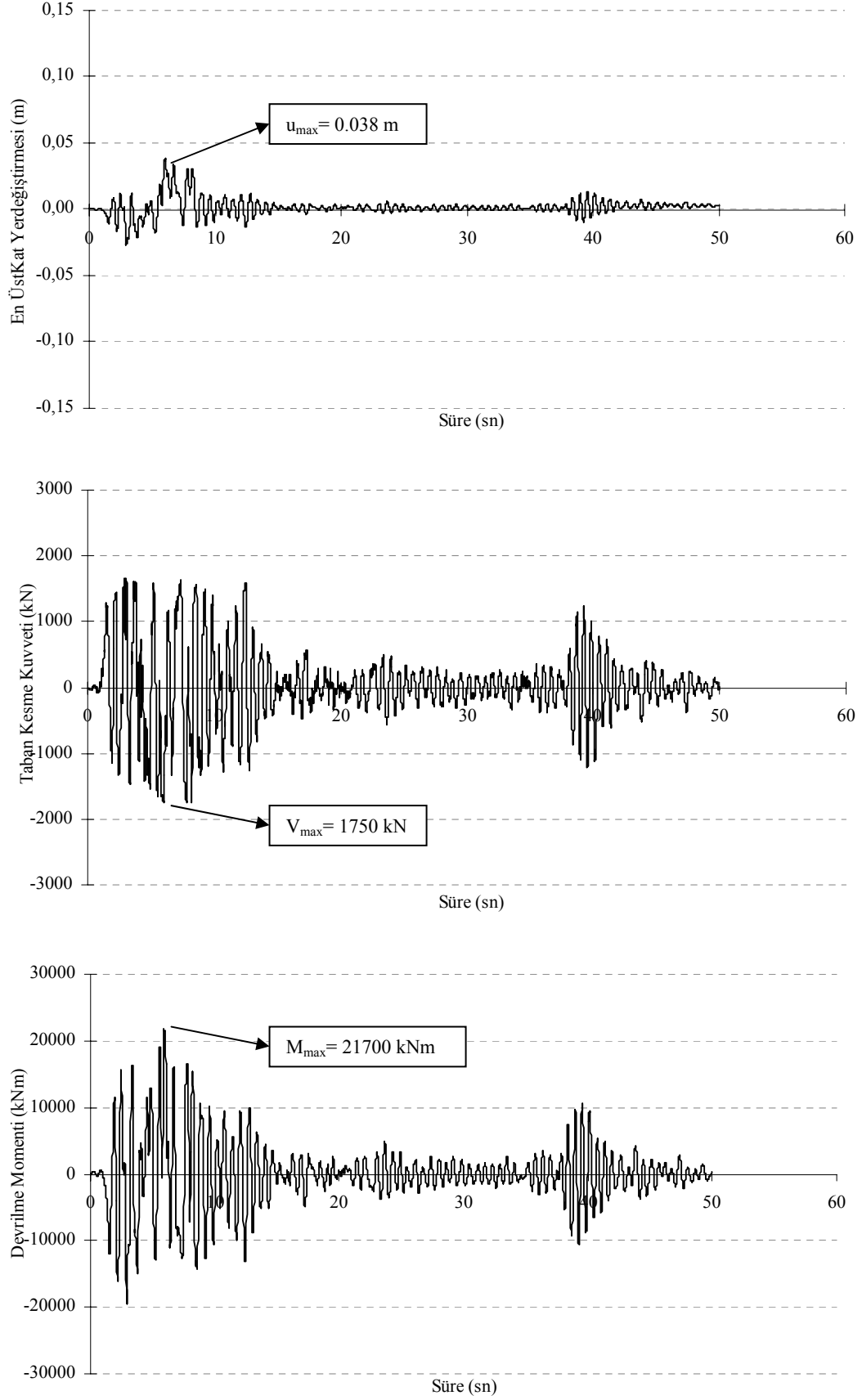
KAYNAKLAR

- Al-Chaar, G. and Lamb, G.**, 2002. Design of Fiber-Reinforced Polymer Materials for Seismic Rehabilitation of Infilled Concrete Structures, *ERDC/CERL TR-02-33, US Army Corps of Engineers, USA*.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2001. Yapı Dinamiği, Rehber Matbaacılık, İstanbul.
- Chopra, Anil K.**, 2001. Dynamics of Structures: Theory and applications to earthquake engineering, Englewood Cliffs, NJ.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-Taslak**, 2006. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- Drysdale, R.G., Hamid A.A. and Baker L.R.**, 1999. *Masonry Structures Behavior and Design*, Second Edition, The Masonry Society, Boulder, Colorado.
- FEMA-306**, 2005. Repair of earthquake damaged concrete and masonry buildings-Basic procedures manual, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- FEMA-356**, 2005. Prestandart and commentary for seismic rehabilitation of buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- Hrennikoff, A.**, 1941. Solutions of Problems of Elasticity by the Framework Method, *Journal of Applied Mechanics*, ASME, **63**, 169-175
- İrtem, E., Türker, K., Hasgül, U.**, 2005. Dolgu Duvarlarının Betonarme Bina Davranışına Etkisi, *İ.T.Ü. Mühendislik Dergisi/d*, **4**, İstanbul.
- Karşlıoğlu, Ö.**, 2005. Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş
- Korkmaz, A., Uçar T.**, 2006. Betonarme Binaların Deprem Davranışında Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, *D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **8**, 101-108.
- Lee, D., Song, J. K. and Yun, C. B.**, 1997. Estimation of system-level ductility demands for multi-story structures, *Engineering Structures*, **19**(12), 1025-1035.
- Özer, E.**, 2005. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi, *İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümü*, İstanbul.
- 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.
- Saneijad, A. and Hobbs, B.**, 1995. Inelastic Design of Infilled Frames, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **121**, 634-650.

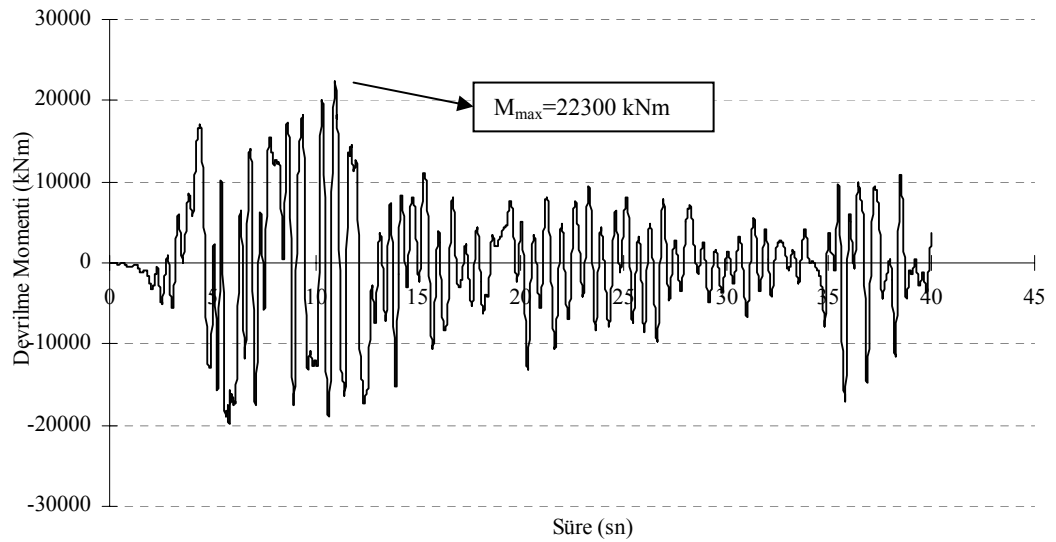
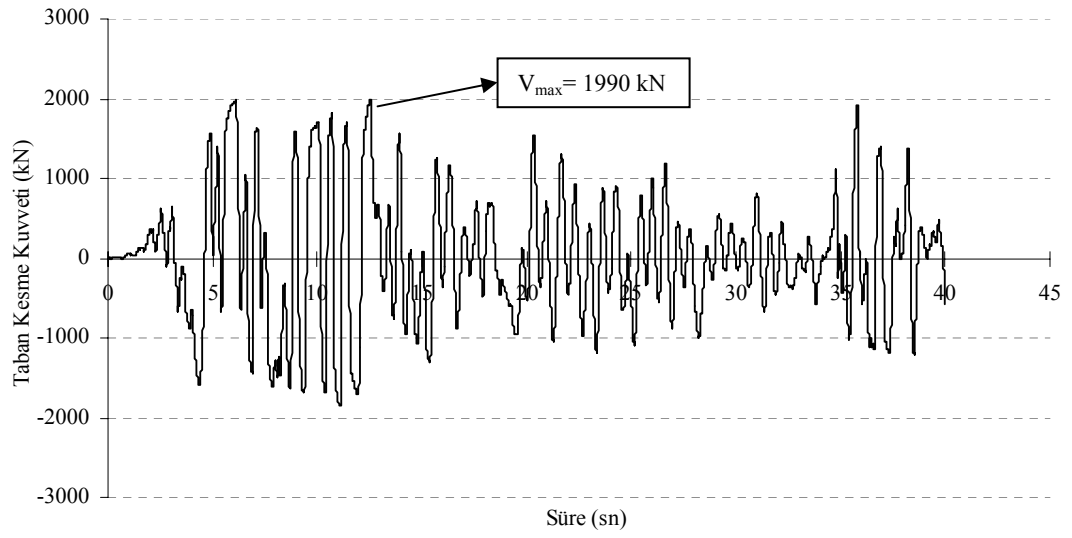
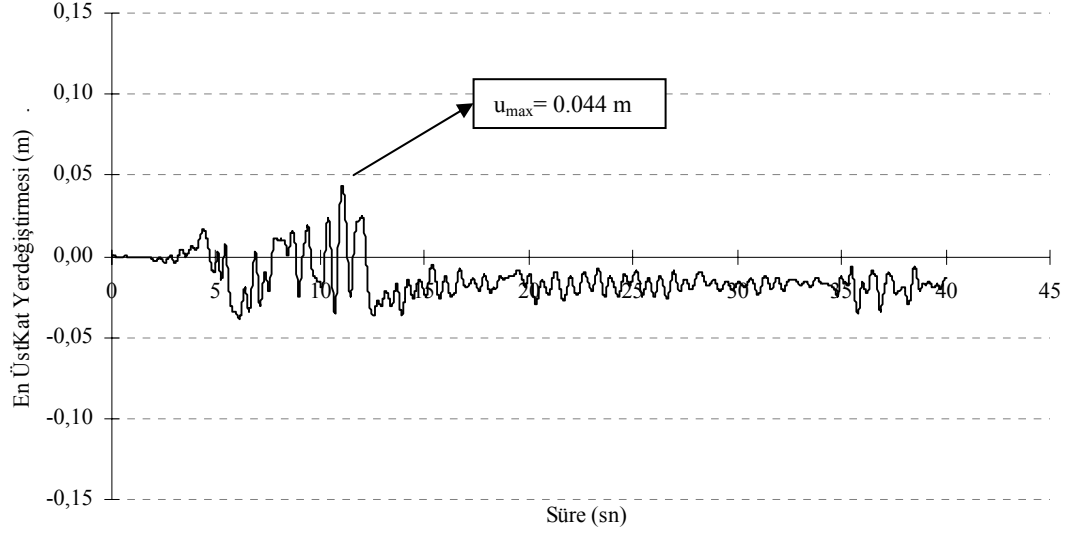
- Tomazevic, M.**, 1999. *Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings*, Imperial College Press, London.
- Tüzün, C.**, 1999. Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve Sistemlerinin Dinamik Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yılmaz, E.**, 2006. 1999 Kocaeli Depremi Sonrasında Güçlendirilmiş Betonarme Bir Binanın Doğrusal Olmayan Dinamik Analizle Performansının Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EK-A

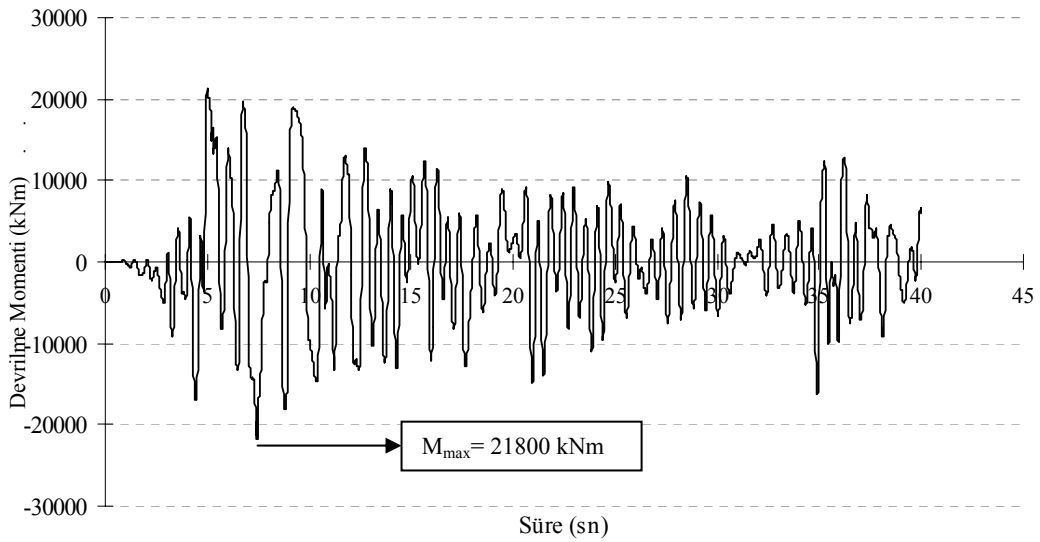
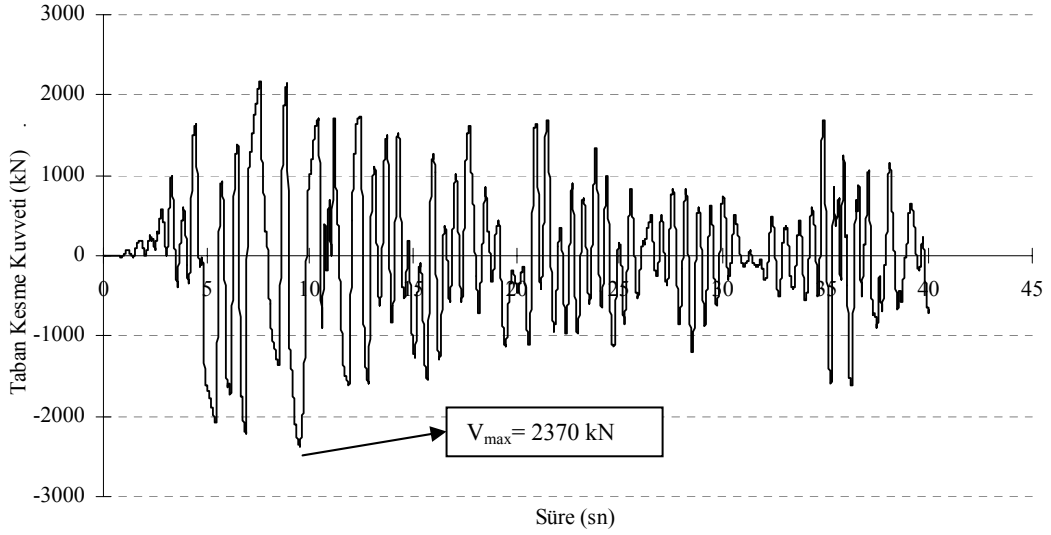
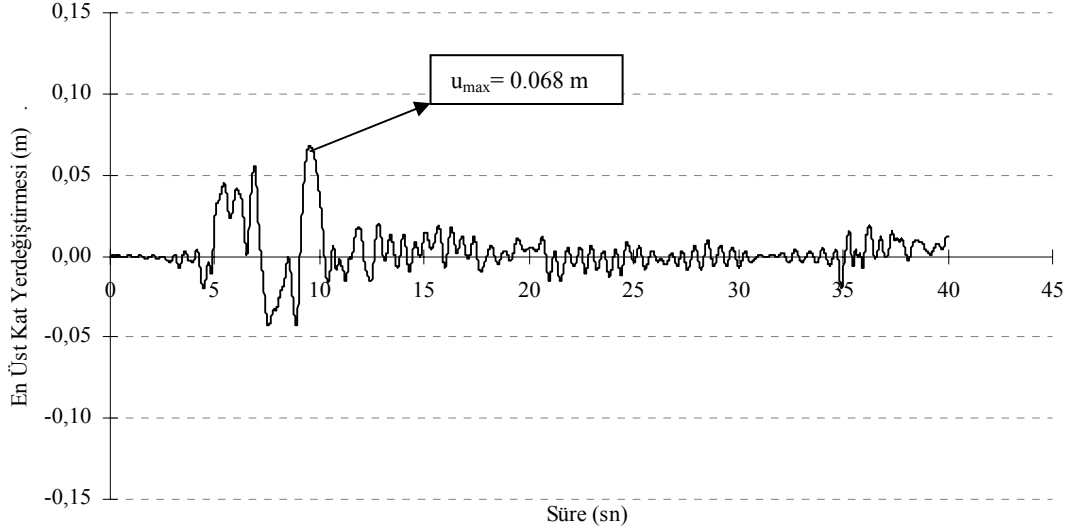
**GÜÇLENDİRME ÖNCESİ DUVARLI DURUMDA YAPIDA OLUŞAN
KARŞILIKLARIN DEĞİŞİM GRAFİKLERİ**



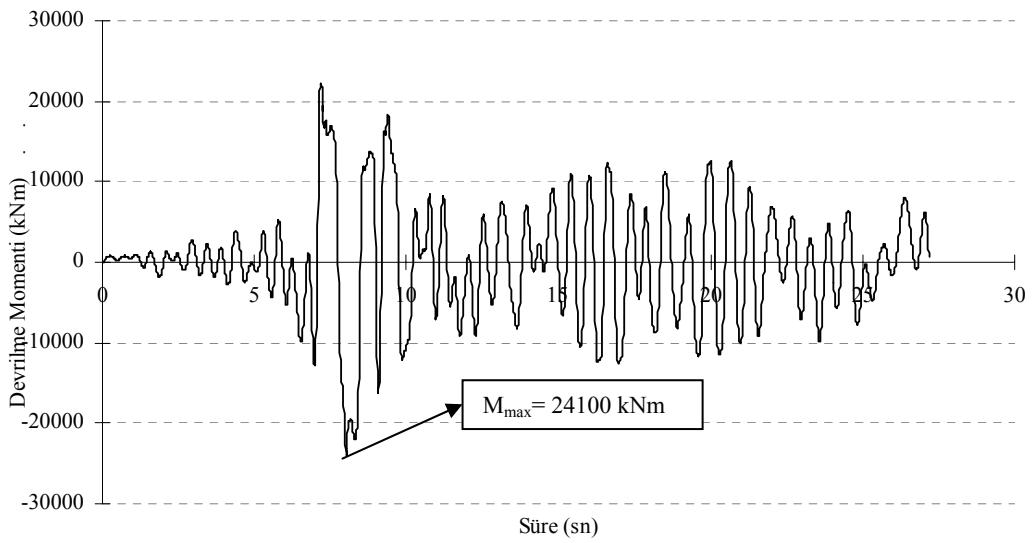
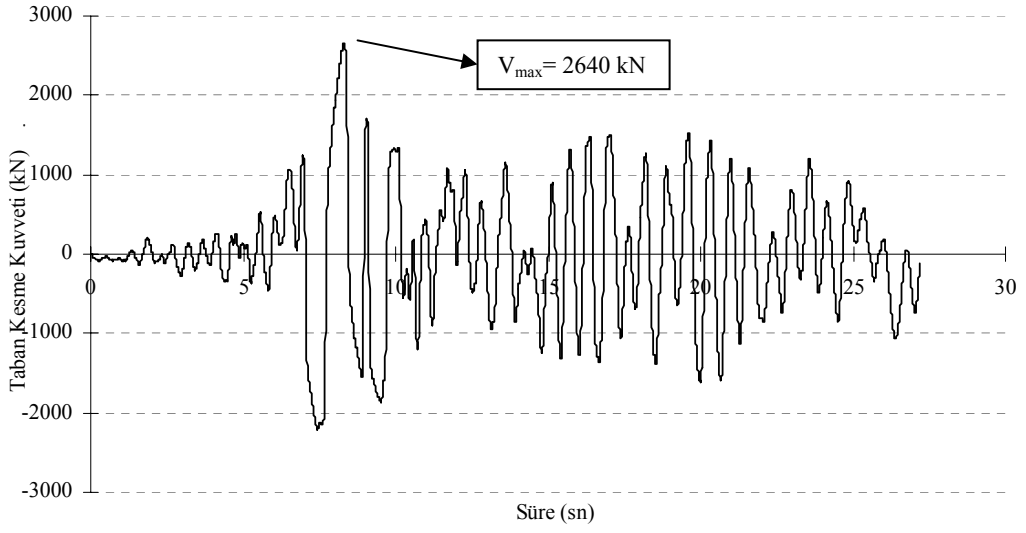
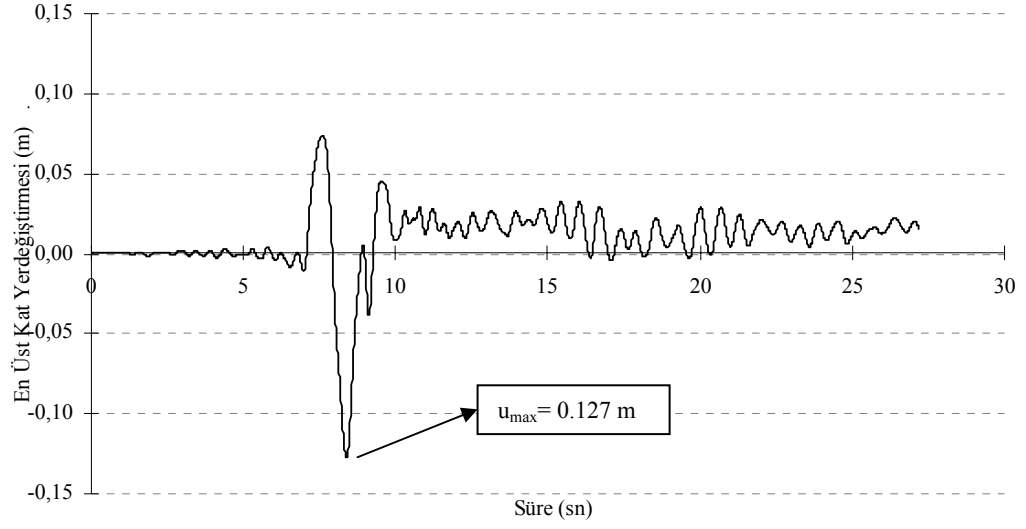
Şekil A.1 : Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değışimleri



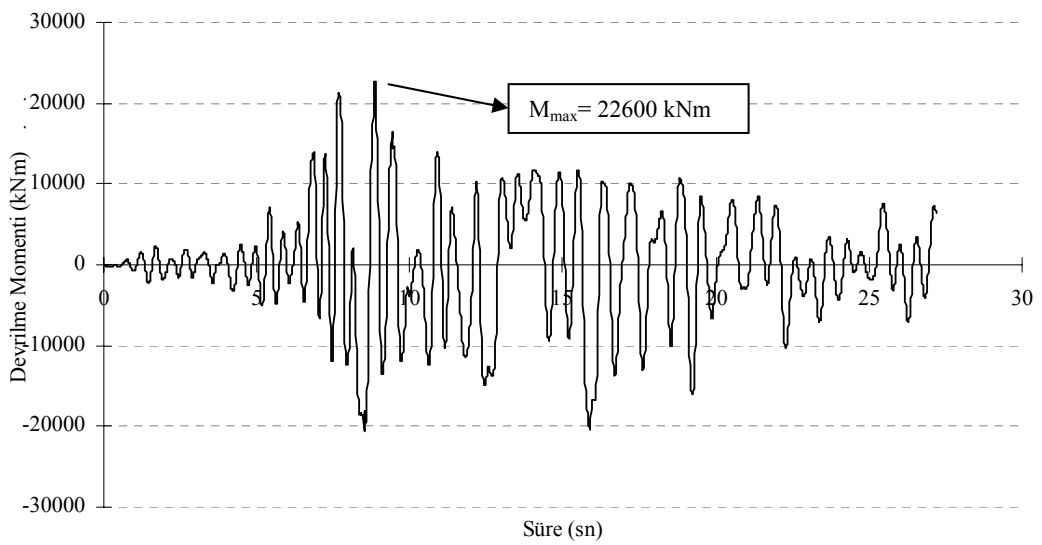
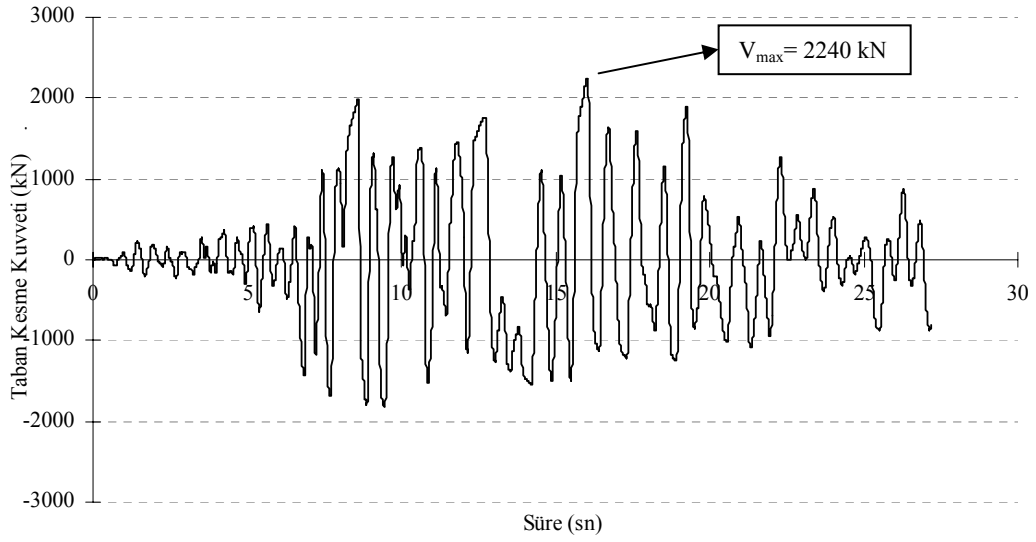
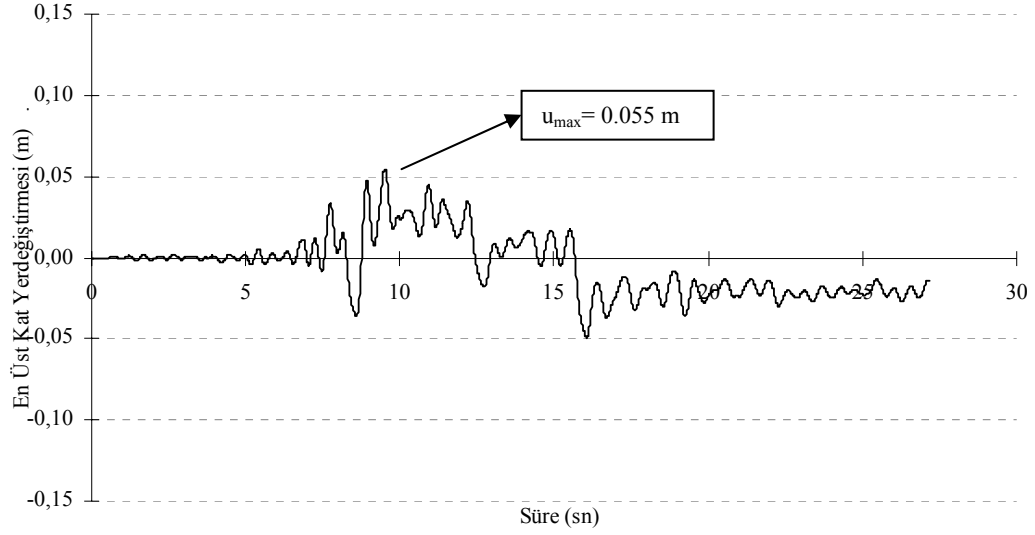
Şekil A.2 : Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımca DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değışimleri



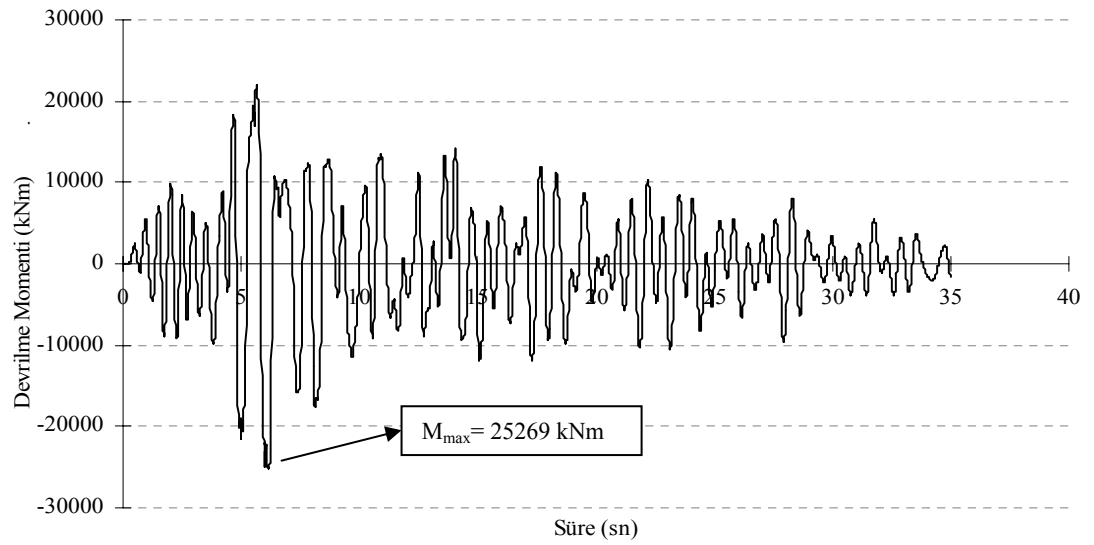
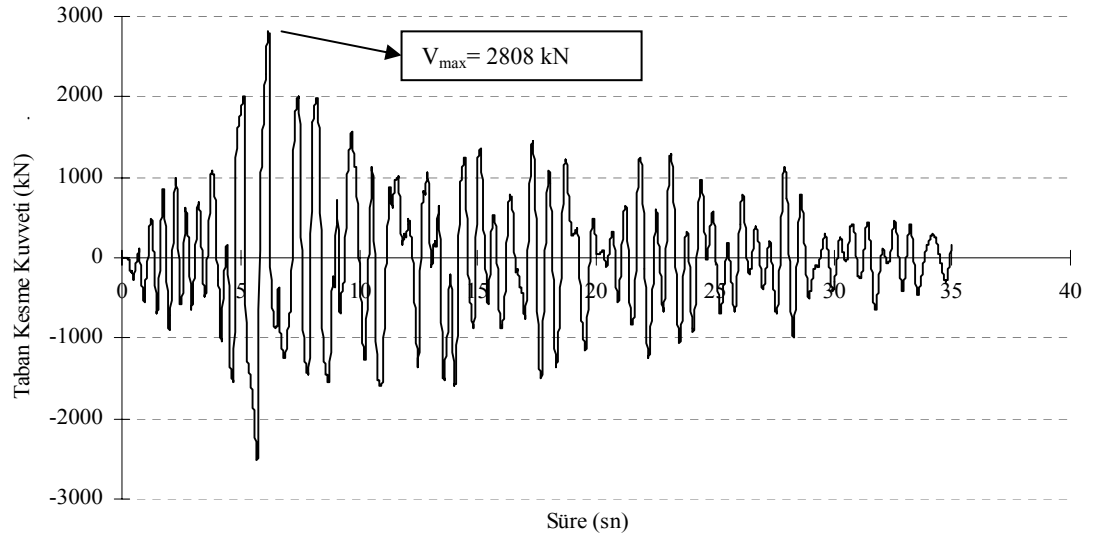
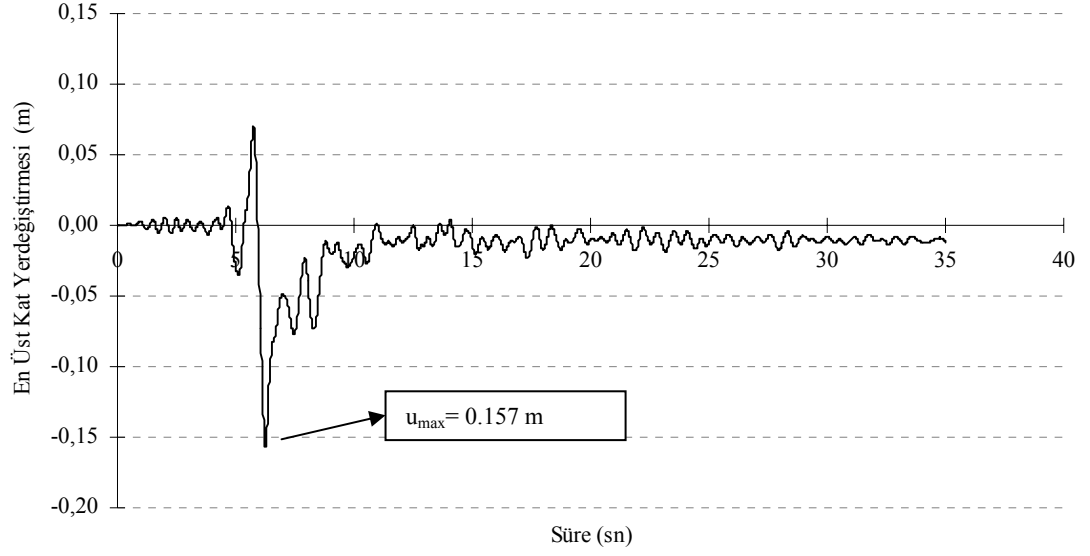
Şekil A.3 : Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımca KG kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri



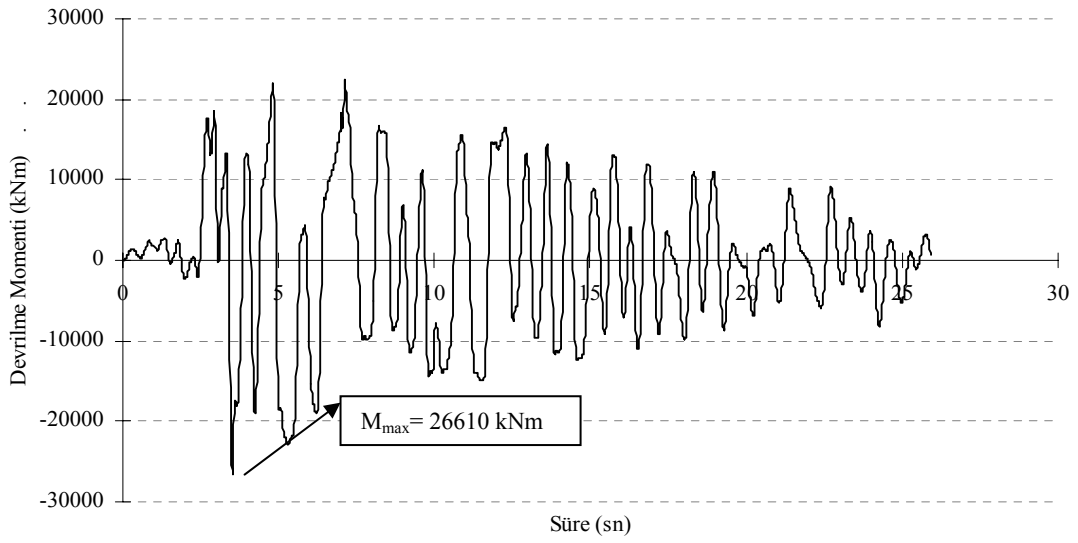
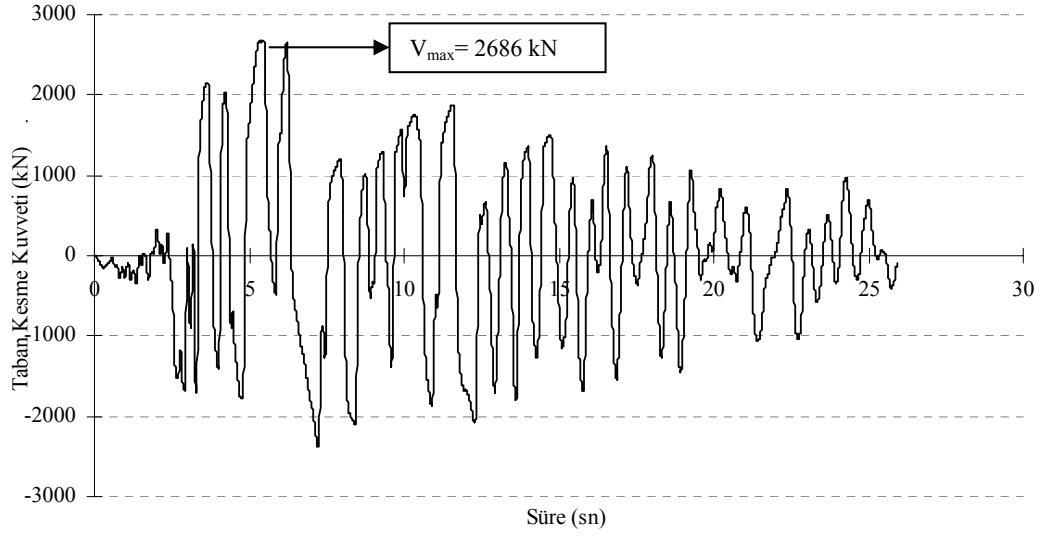
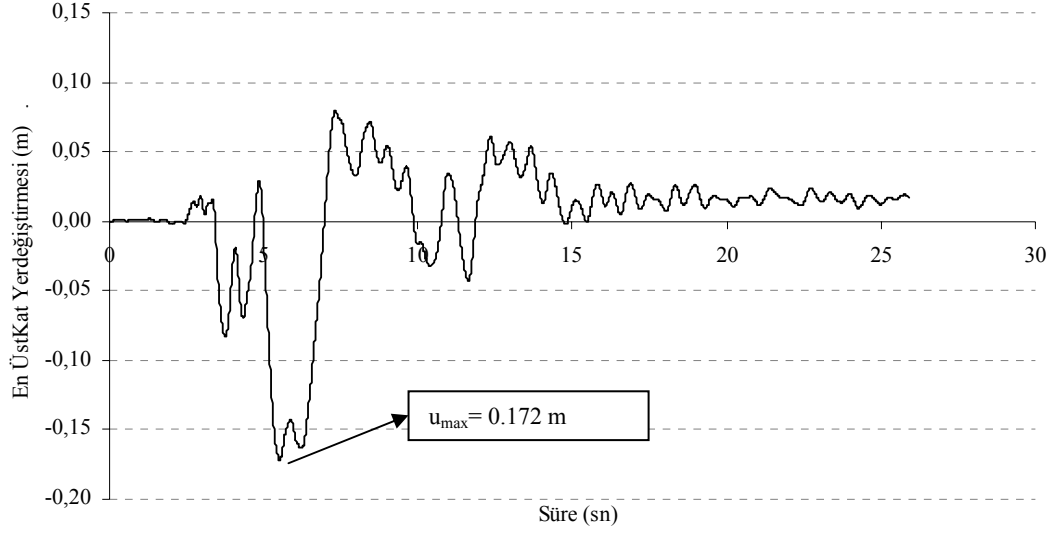
Şekil A.4 : Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri



Şekil A.5 : Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri



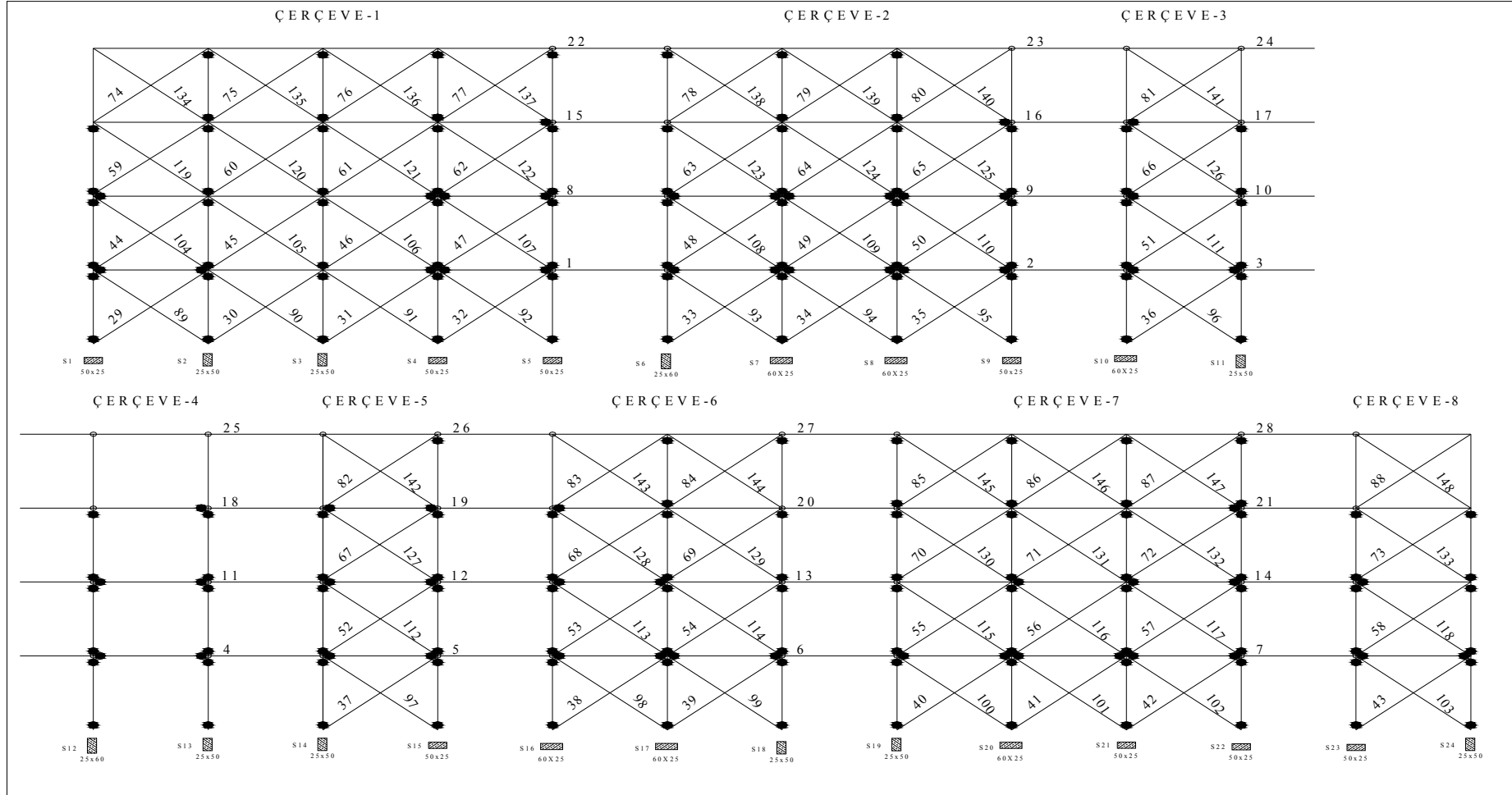
Şekil A.6 : Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri

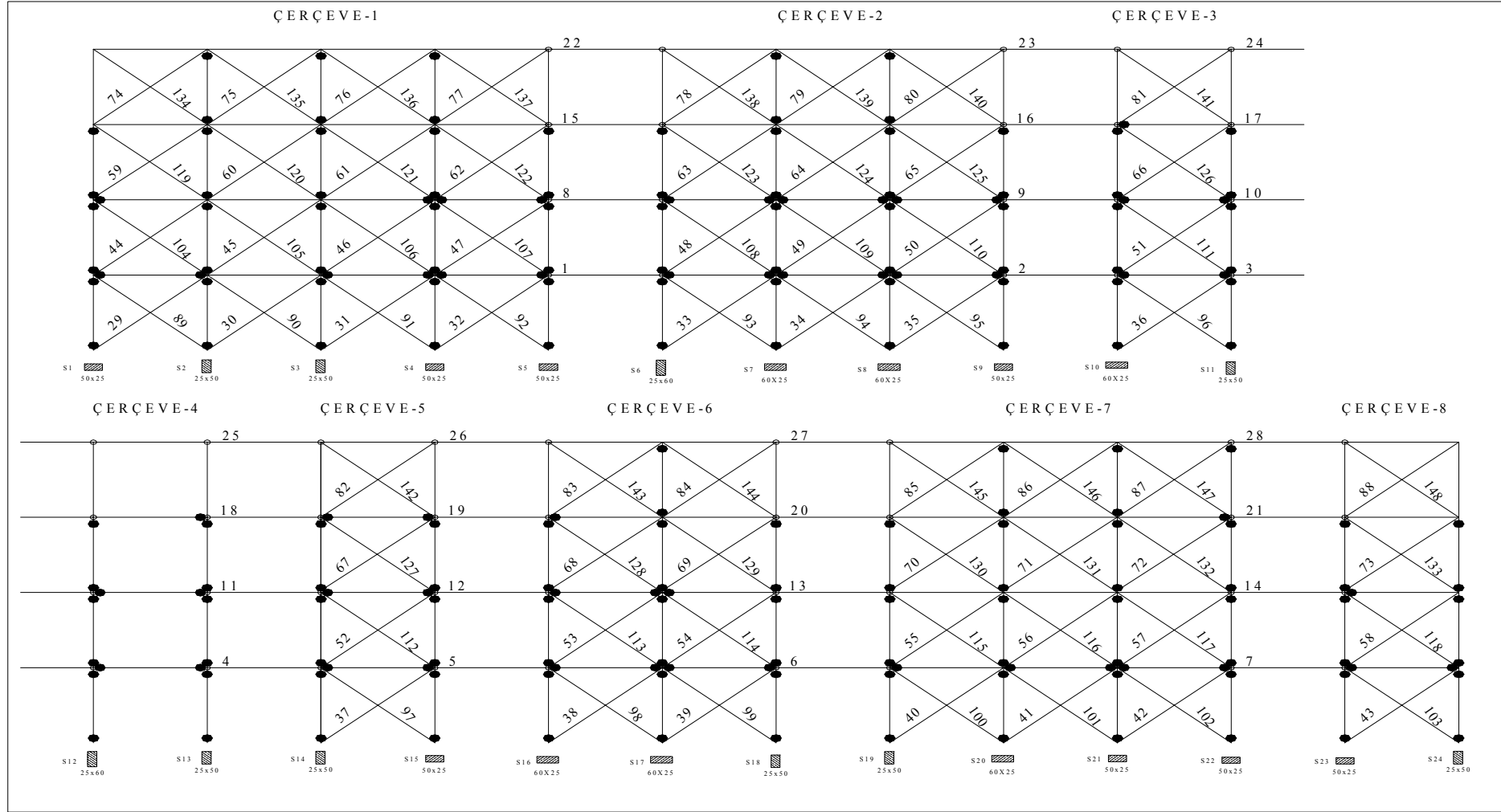


Şekil A.7 : Güçlendirme öncesi duvarlı durumda Düzce depremi Düzce DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri

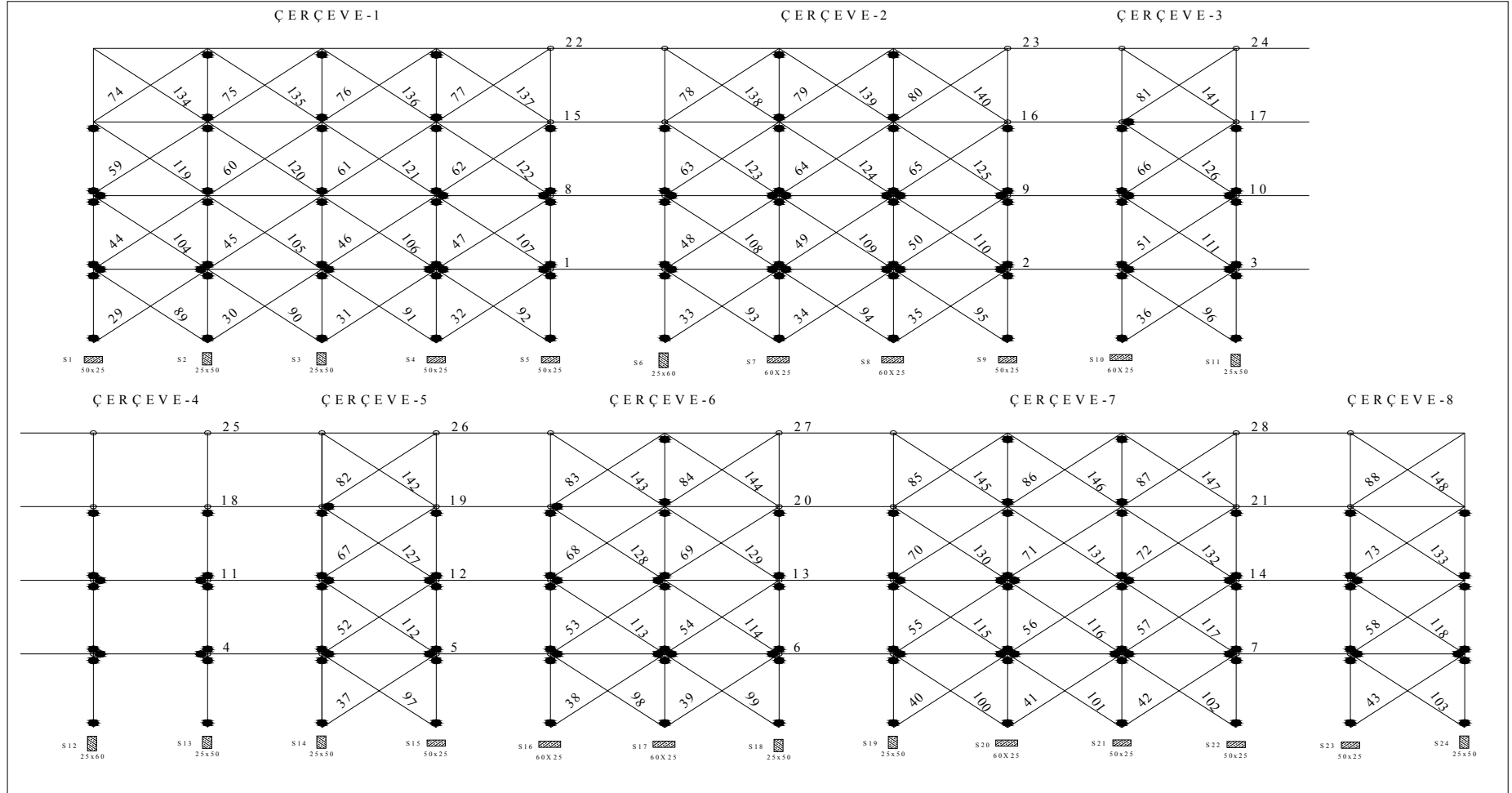
EK-B

**GÜÇLENDİRME ÖNCESİ DURUM İÇİN DOLGU DUVARLI MODELDE
YAPIDAKİ MAFSAL OLUŞUMLARI**

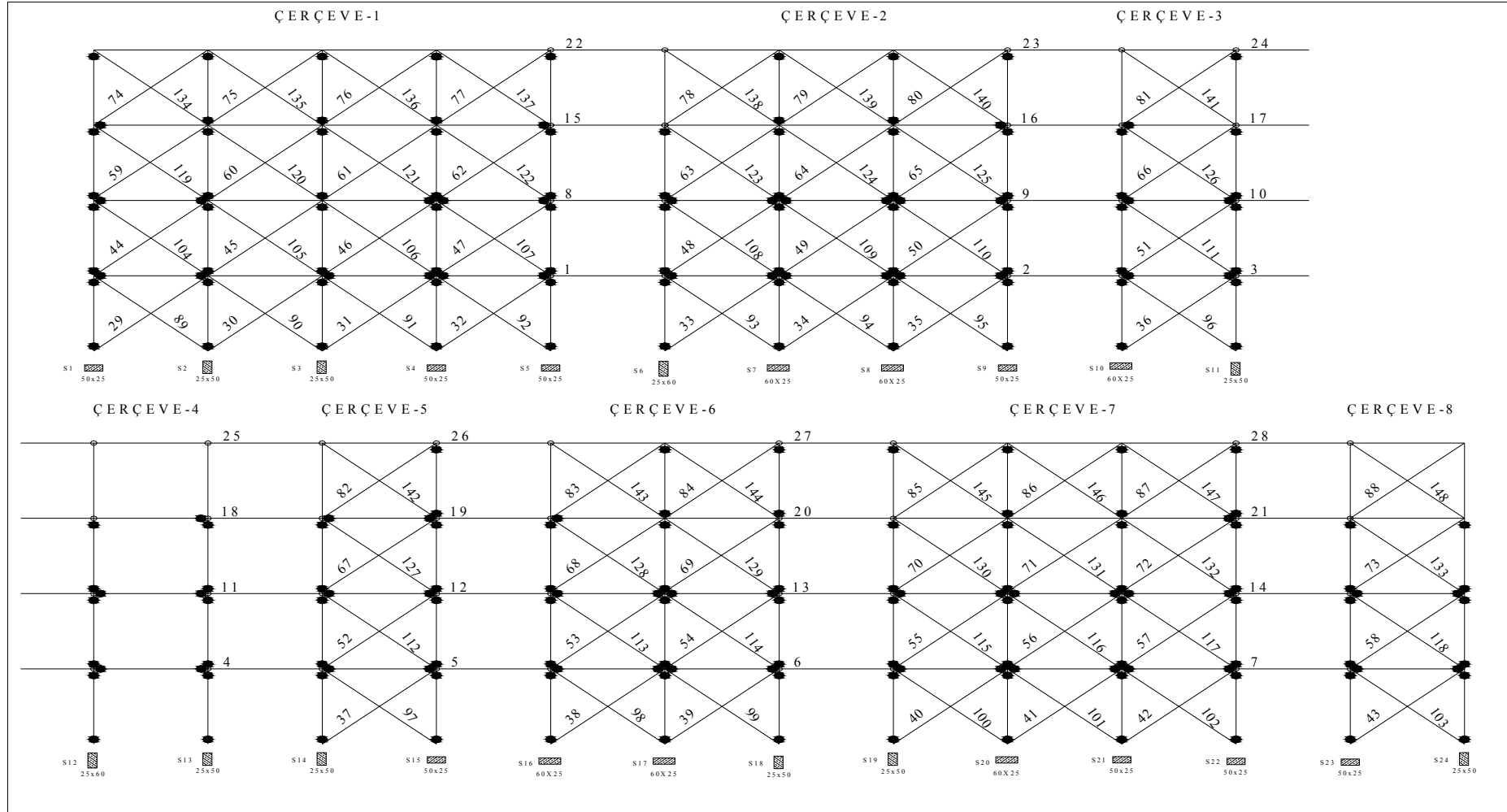




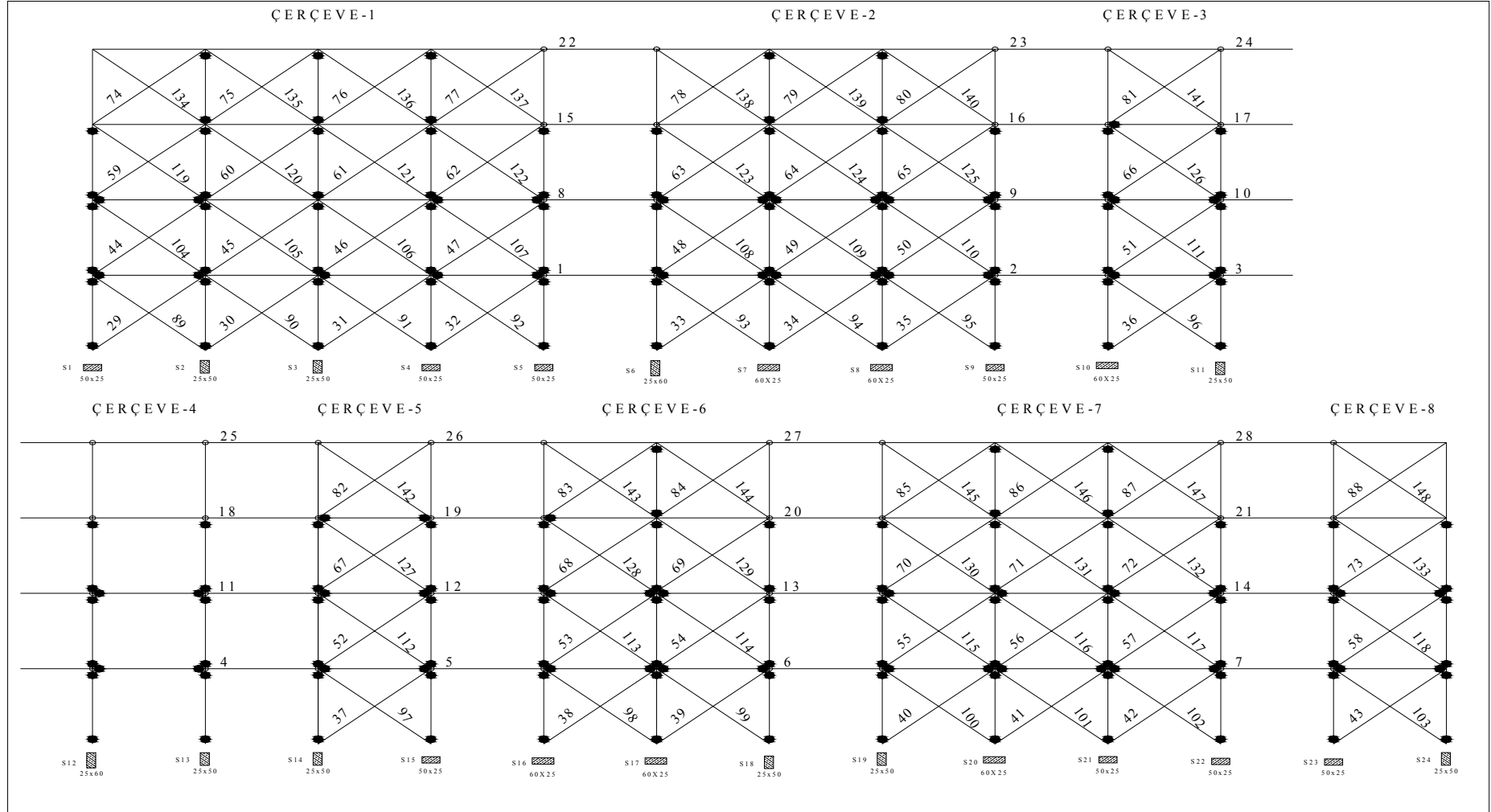
Şekil B.2 : Güçlendirme öncesi durumda Kocaeli depremi Yarımca DB kaydına göre yapıdaki mafsall oluşumu



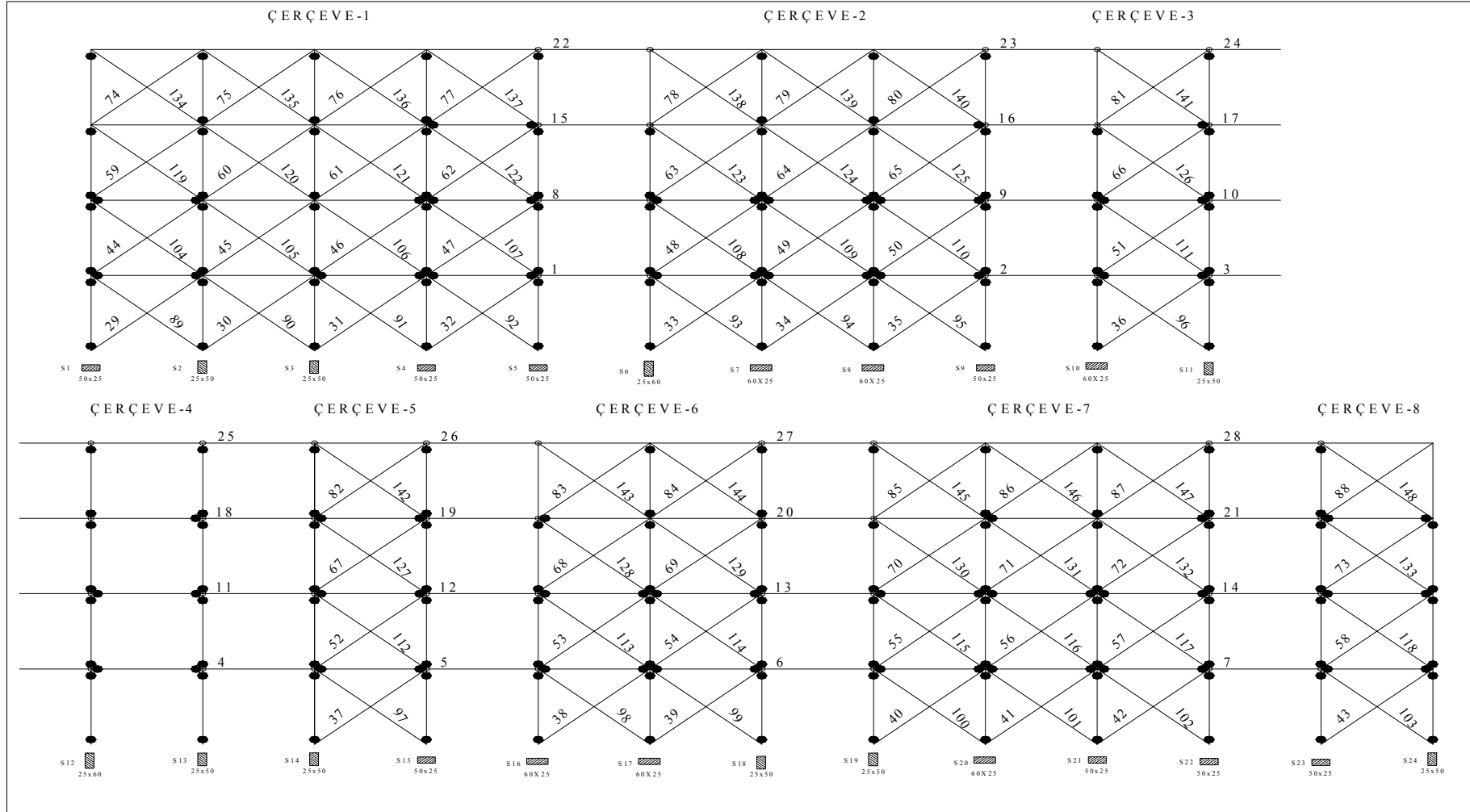
Şekil B.3 : Güçlendirme öncesi durumda Kocaeli depremi Yarımca KG kaydına göre yapıdaki mafsals oluşumu



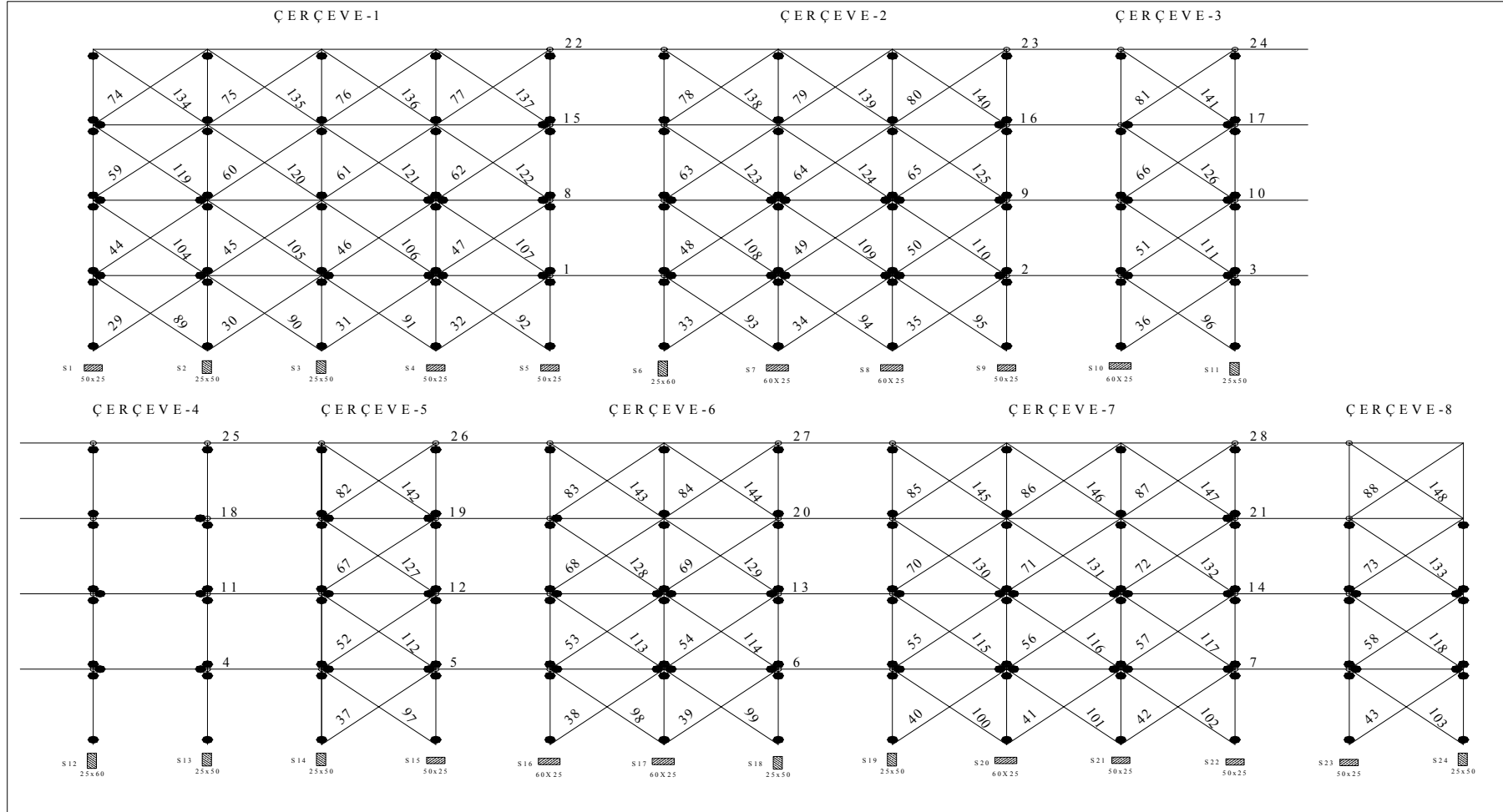
Şekil B.4 : Güçlendirme öncesi durumda Kocaeli depremi Düzce DB kaydına göre yapıdaki mafsall oluşumu



Şekil B.5 : Güçlendirme öncesi durumda Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre yapıdaki mafsall oluşumu



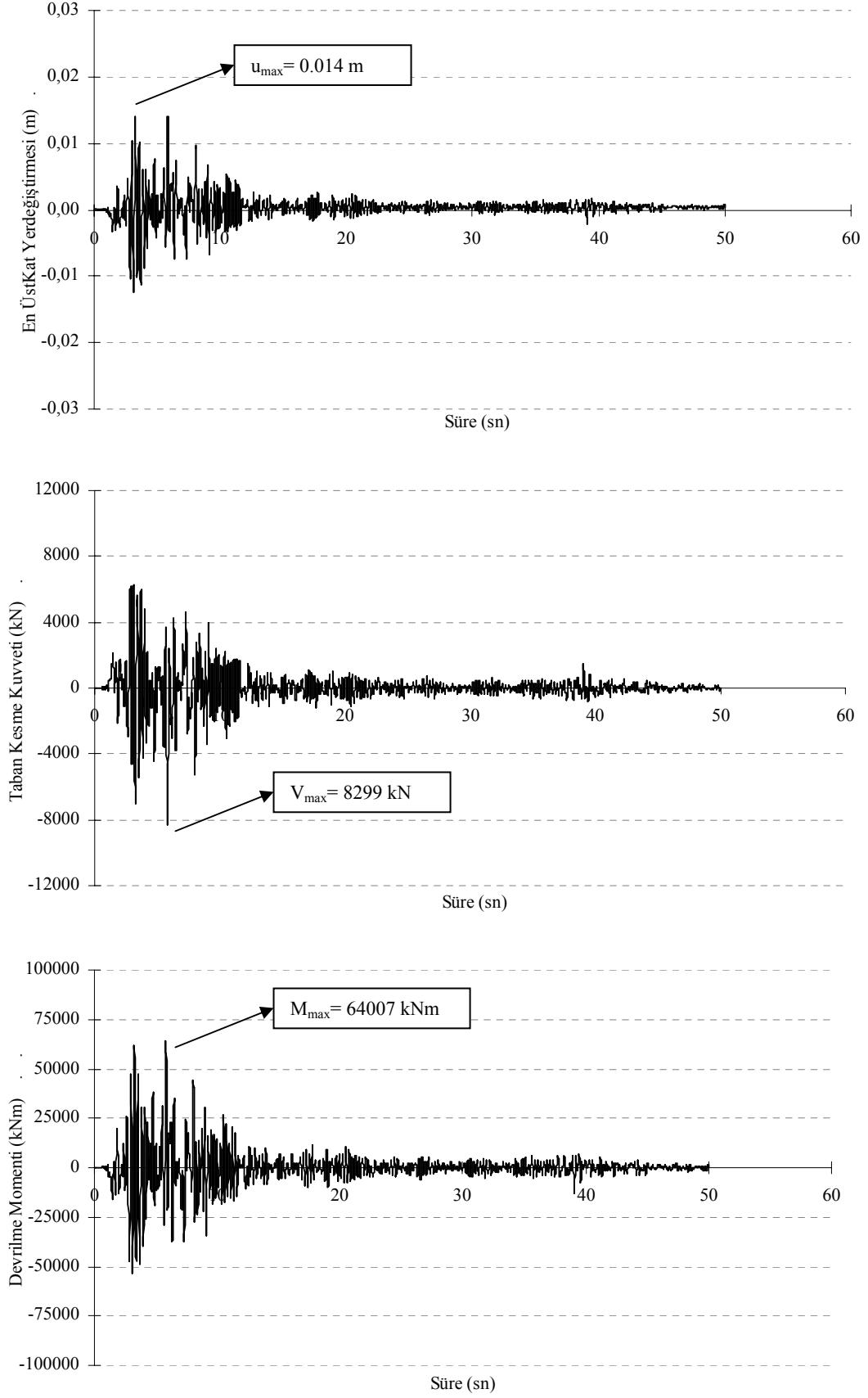
Şekil B.6 : Güçlendirme öncesi durumda Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıdaki mafsall oluşumu



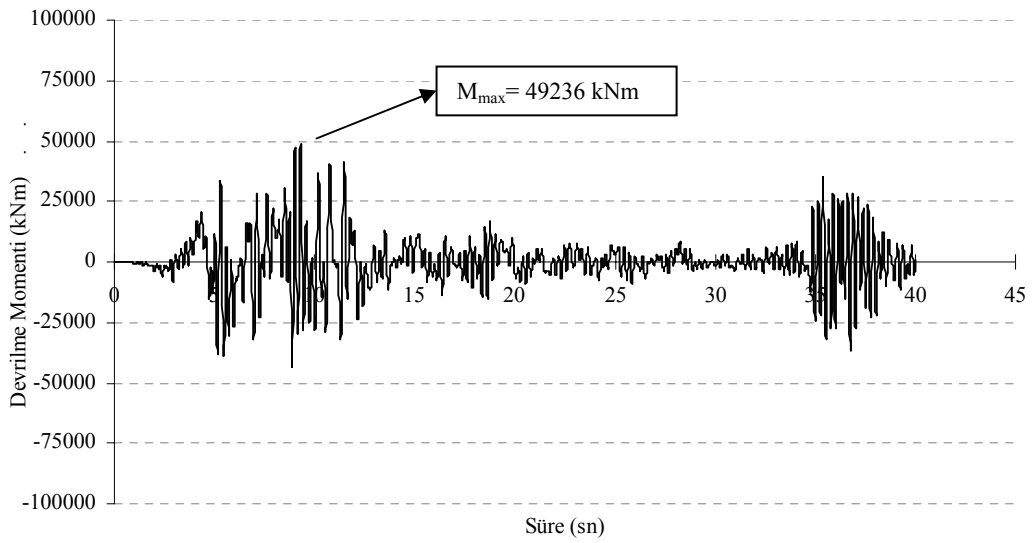
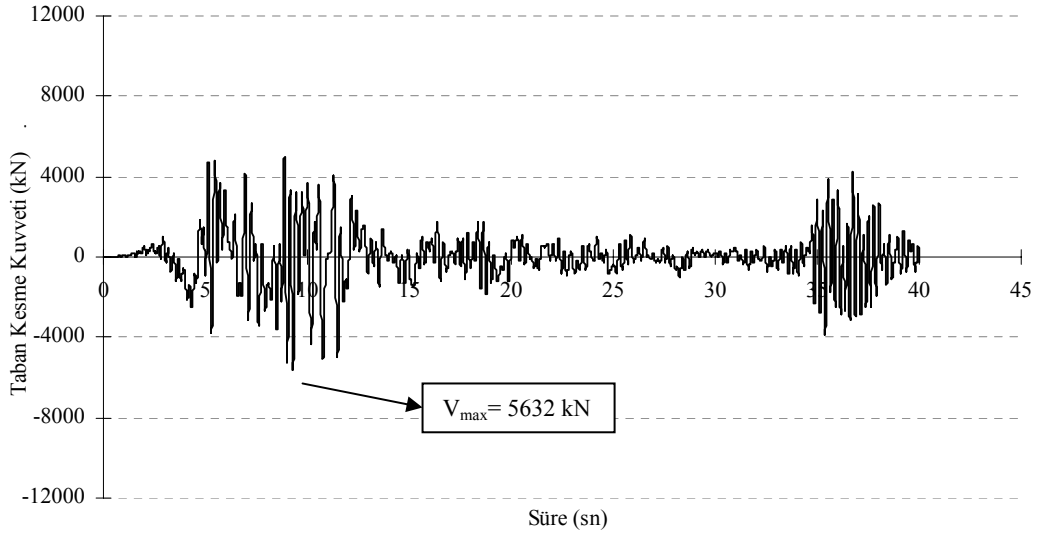
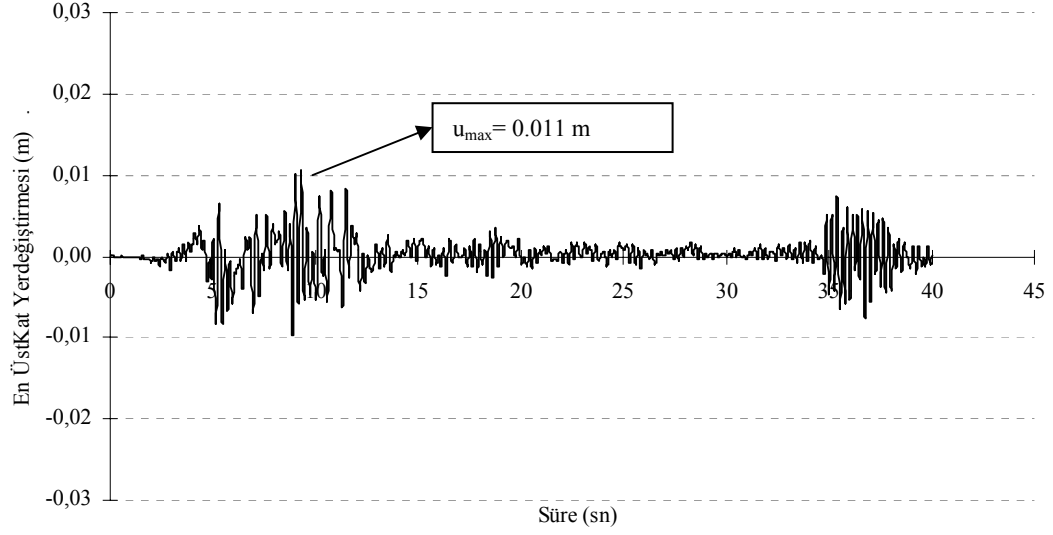
Şekil B.7 : Güçlendirme öncesi durumda Düzce depremi Düzce DB kaydına göre yapıdaki mafsall oluşumu

EK-C

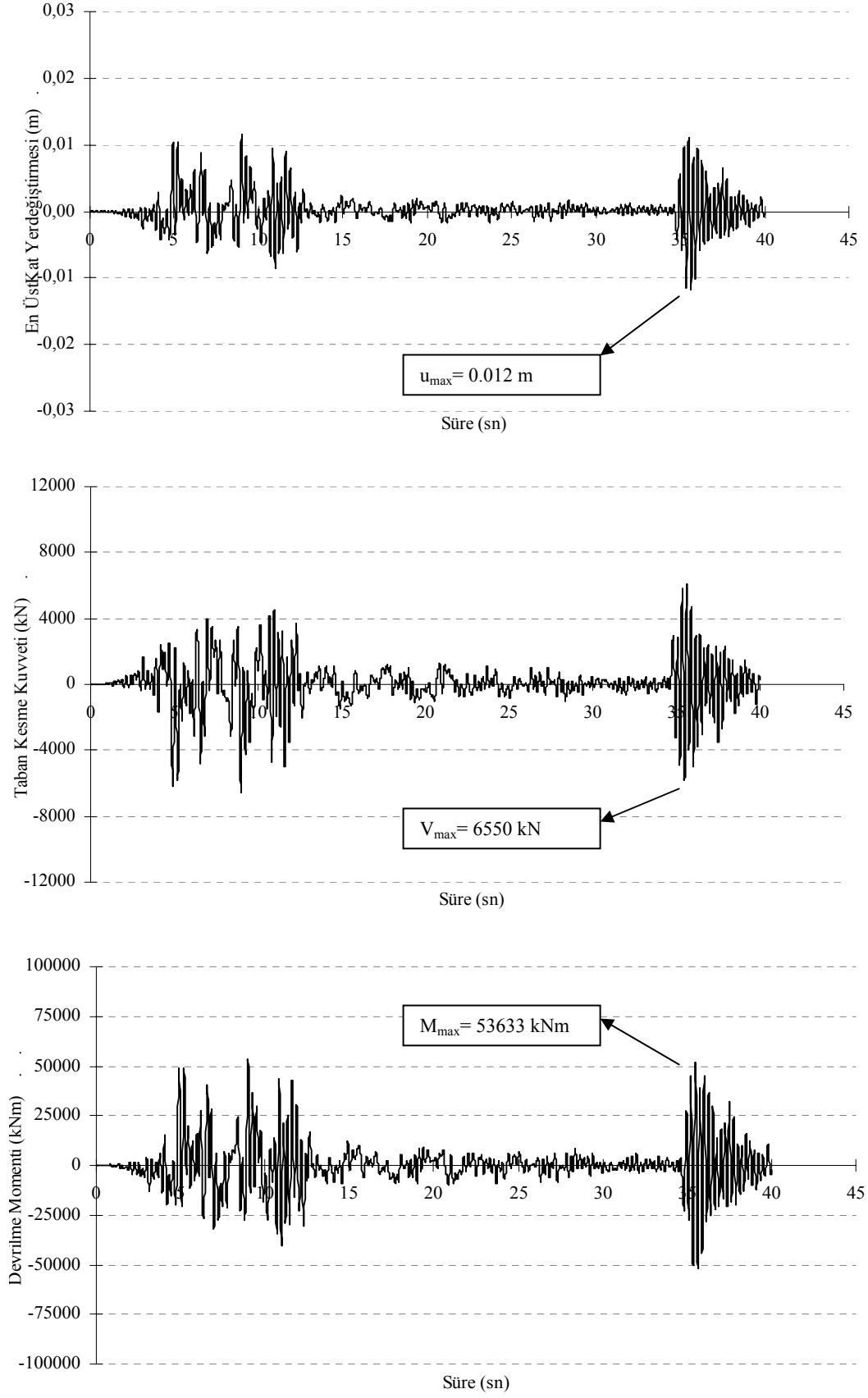
**GÜÇLENDİRME SONRASI DURUMDA YAPIDA OLUŞAN
KARŞILIKLARIN DEĞİŞİM GRAFİKLERİ**



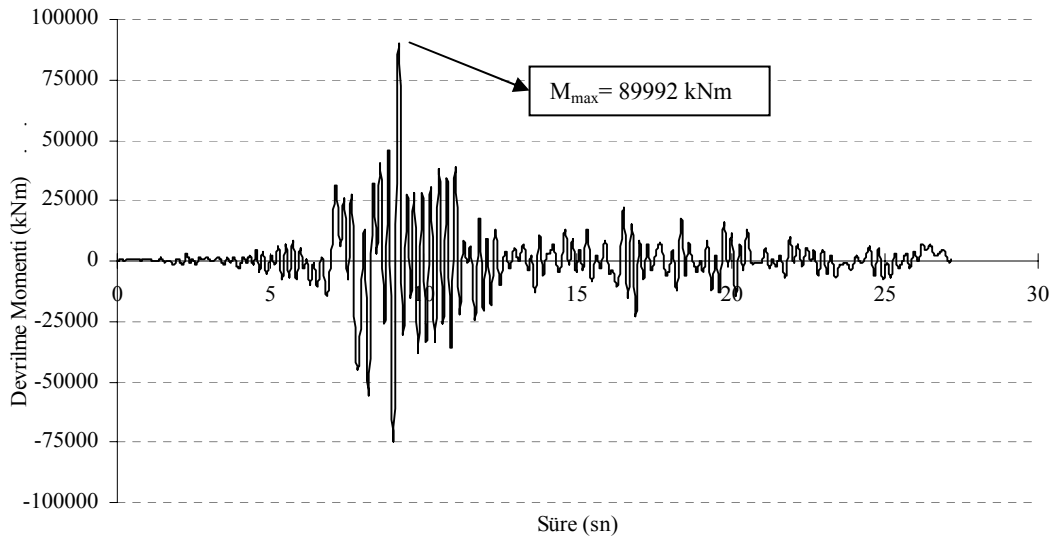
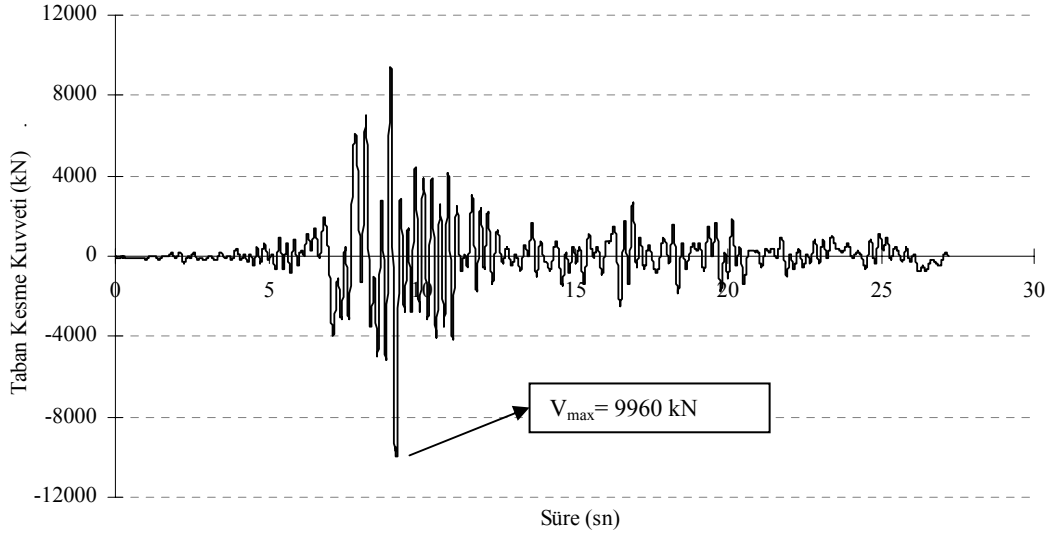
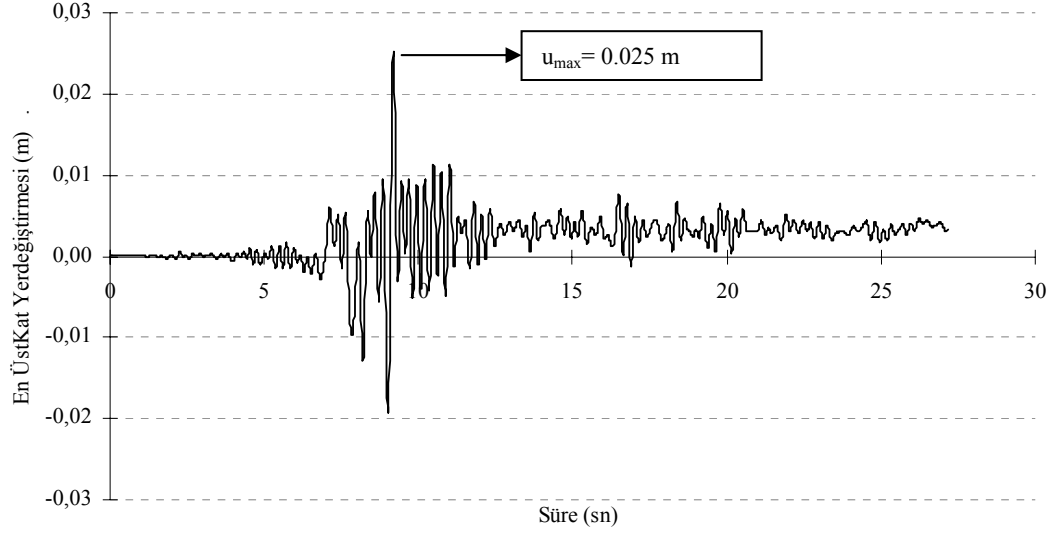
Şekil C.1 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Sakarya DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değışimleri



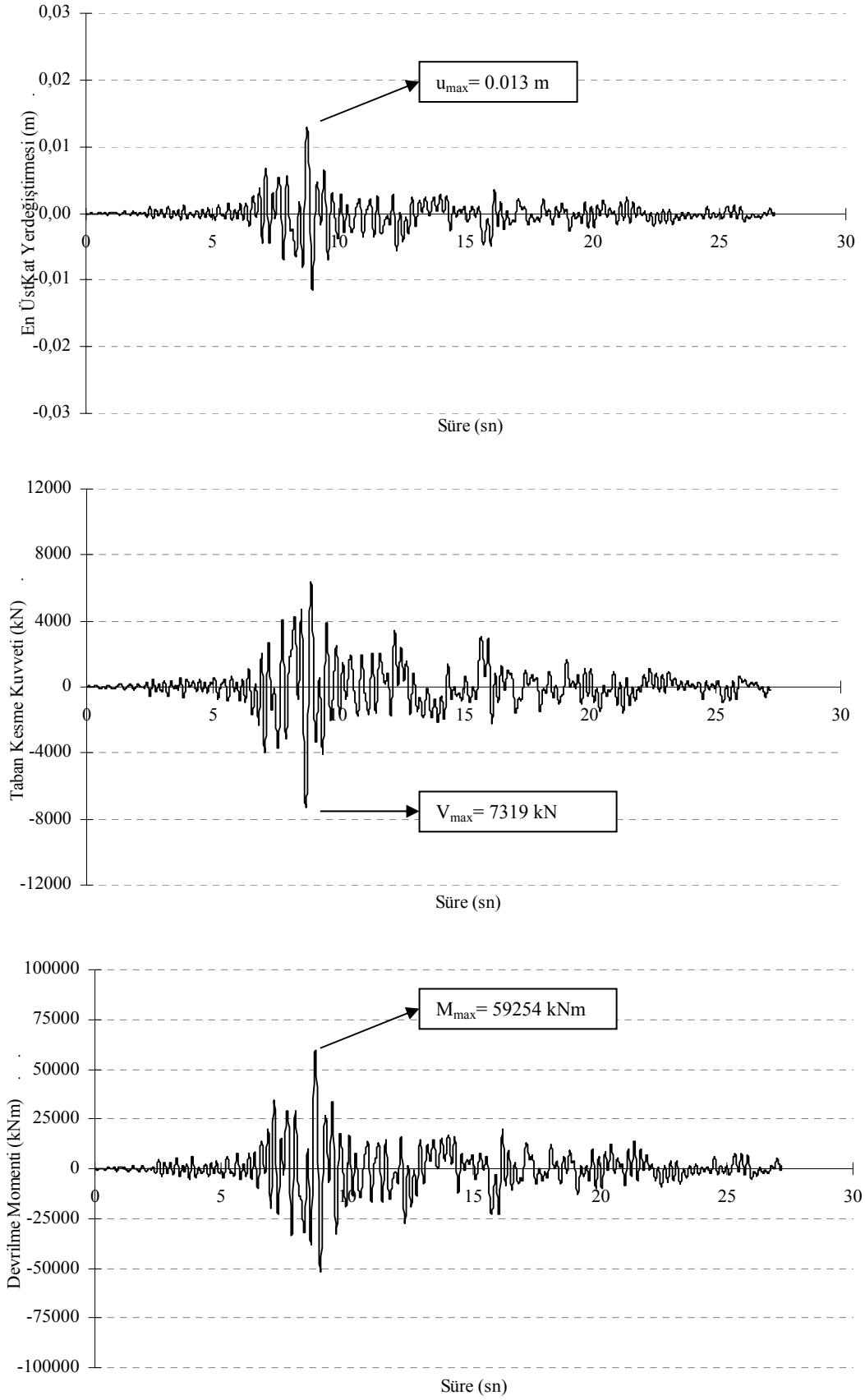
Şekil C.2 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımcı DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri



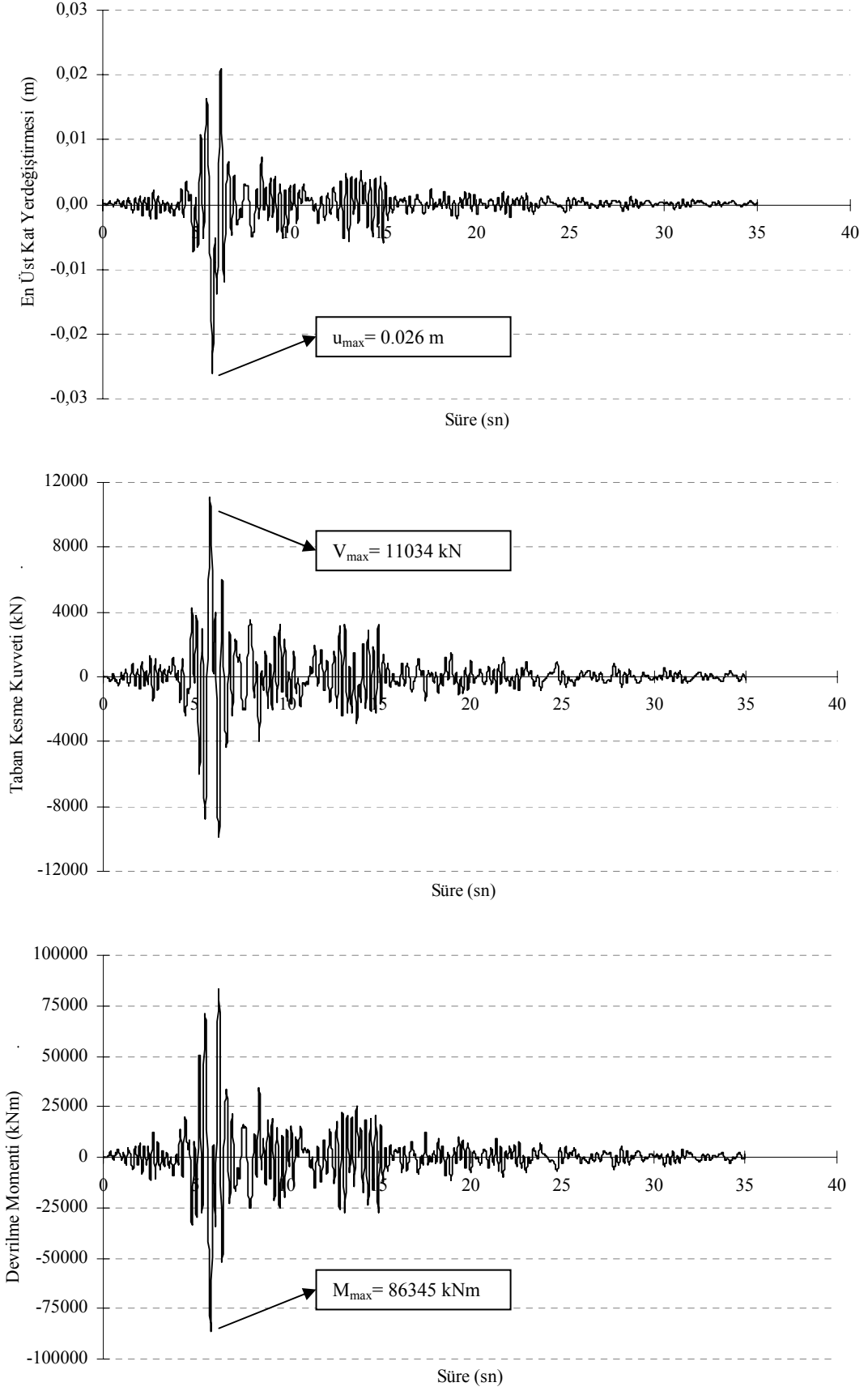
Şekil C.3 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Yarımcı KG kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri



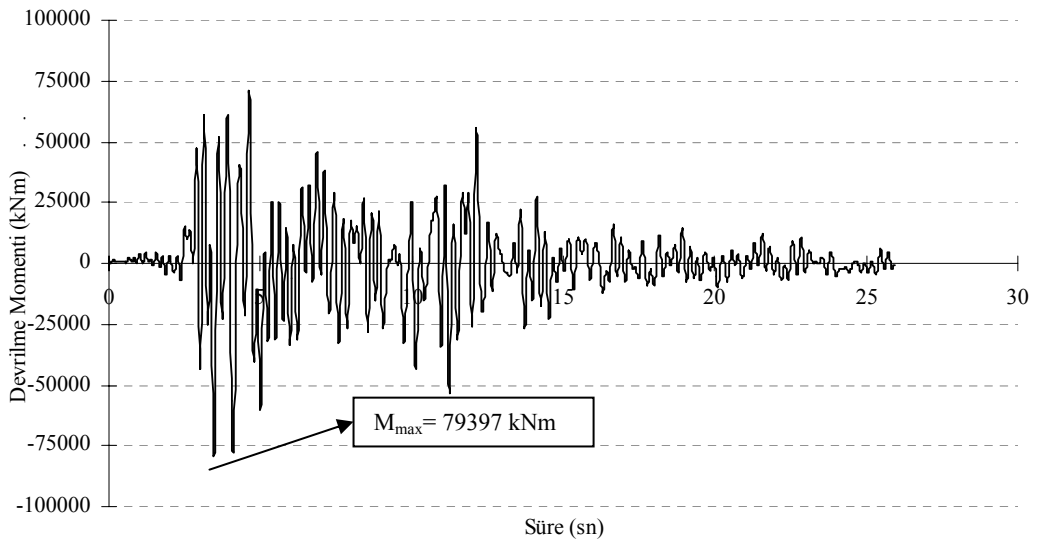
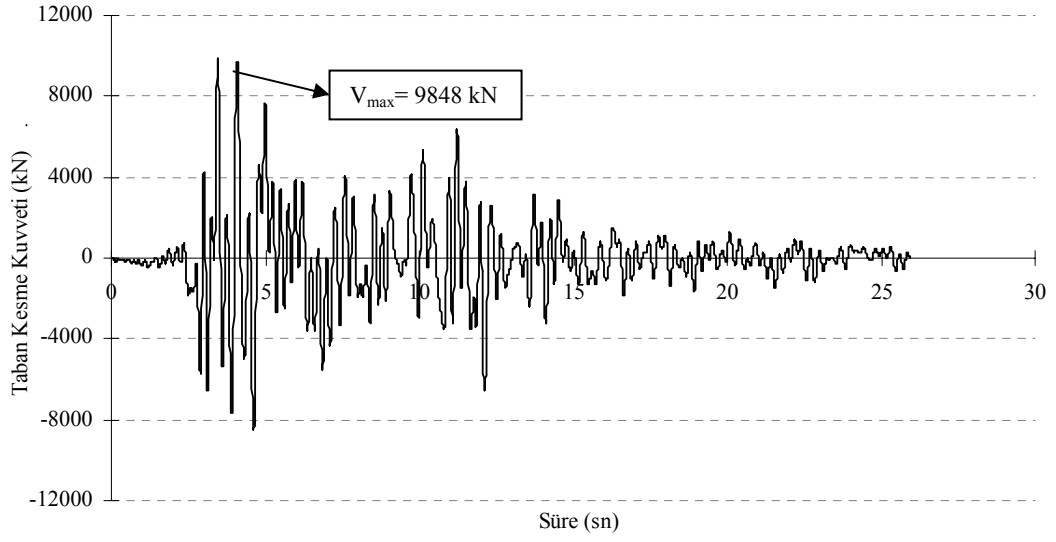
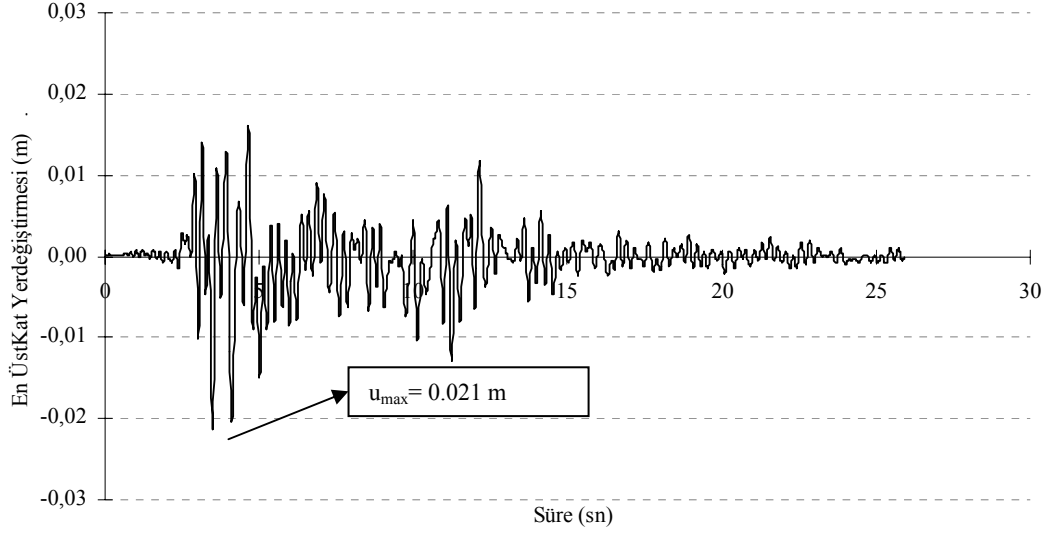
Şekil C.4 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değışimleri



Şekil C.5 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Kocaeli depremi Düzce KG kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değışimleri



Şekil C.6 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Düzce depremi Bolu DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri



Şekil C.7 : Güçlendirme sonrası duvarlı durumda Düzce depremi Düzce DB kaydına göre yapıda oluşan karşılıkların deprem süresince değişimleri

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Toker 1980 yılında Aydın'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Nazilli Beşeylül İlköğretim okulu, Nazilli Anadolu Lisesi ve Nazilli Lisesinde tamamlayarak, 1998 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmiştir. 2002 yılında mezun olduktan sonra, 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde İnşaat Mühendisliği anabilim dalı Deprem Mühendisliği programında yüksek lisans yapmaya başlamıştır. Halen aynı bölümde yüksek lisansına devam etmektedir.