

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN HASIR ÇELİKLİ
BETONARME PLAKLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Erhan ALSANCAK

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı

MANİSA 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER	I
SEMBOL LİSTESİ	III
ŞEKİL LİSTESİ	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
FOTOĞRAF LİSTESİ	X
ÖNSÖZ	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2. Amaç	3
1.3. Özgün Değer	4
1.4. Çalışmanın Kapsamı	4
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN ÖZETİ	6
3. DOLGU DUVARLAR	60
3.1 Dolgu Duvarlar	60
3.2 Dolgulu Çerçevelerin Taşıma Kapasitesi	60
3.3 Malzeme ve Geometrik Özellikler	61
3.4 Tuğla Duvar Elastisite Modülü	61
3.5 Dolgu Duvarların Davranışa Katkısı	61
3.6. Dolgu Duvarlar Ve Çerçeveler Arasındaki Etkileşim [15]	64
3.6.1.Giriş	64
3.6.2. Plastisite Teorisine Bağlı Dizayn Metodu	65
3.6.2.1. Dizayn Proseduru	66
3.7. Dolgu Duvarların Modellenmesi	68
3.7.1. Eşdeğer Diyagonal Çubuk Metodu	68
3.7.2.Plastisite Teorisine Bağlı Dayanım	69
4. BÖLME DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ	71
4.1. Hasır Çelik Donatılı Harç Tabakası ile Güçlendirme	71
4.1.1. Donatılı Yığma Dolgu Duvarların Modellenmesi	71
4.1.2. Rijitlik	72
4.1.3. Kesme Dayanımı	73
4.1.4. Malzeme Özellikleri	74
4.2. Çelik Elemanlarla Güçlendirme	74

4.3. Lif Takviyeli Kompozitlerle Güçlendirme	76
4.4. Perdelerle Güçlendirme	79
5. BASİTLEŞTİRİLMİŞ GÜÇLENDİRME YÖNTEMİ	80
5.1. Güçlendirmede Göz Önüne Alınacak Sınır Durumlar	81
5.2. Bölme Duvarlarının Yatay Yük Taşıma Kapasitesi	81
5.3. Basitleştirilmiş Güçlendirme Önlem Ve Yöntemleri	86
5.3.1. Taşıyıcı Duvarların Arttırılması	86
5.3.2. Bölme Duvarların Klasik Yöntemlerle Taşıyıcı Hale Dönüştürülmesi	86
5.3.3. Öndöküm Betonarme Panellerle Taşıyıcı Sistem Oluşturulması	86
5.3.4. Bodrumda Çevre Perdesi Yapılması	87
5.3.4. Kat Azaltılması	87
5.3.5. Ağır Balkonların ve Parapetlerin Kaldırılması	87
5.3.6. Binadaki Düzensizliklerin Kaldırılması	87
5.3.7. Bölme Duvarlarının Karbon/Cam Lif Uygulaması ile Taşıyıcı Hale Dönüştürülmesi	87
5.4. Uygulama	88
6. YAPI PERFORMASININ BELİRLENMESİ	95
6.1. Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi (Fema 356)	95
7. SAYISAL UYGULAMALAR	99
7.1. Idarc Programı İle Betonarme Çerçevelerin Modellenmesi	99
7.2. Sap2000 Programı İle Betonarme Çerçevelerin Performansının Değerlendirilmesi	105
7.2.1. SAP 2000 İle Pushover Analiz (Elastik Ötesi Statik İtme Analizi) İçin Özet Açıklama	107
7.2.2. Oluşturulan Modeller ve Analiz Sonuçları	109
7.2.2.1. Dolgu Duvarsız Betonarme Yapı	109
7.2.2.2. Dolgu Duvarlı Betonarme Yapı	111
7.2.2.3. Dolgu Duvarı Hasır Donatılı Beton Tabakası İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapı	113
7.2.2.4. Dolgu Duvarı FRP İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapı	115
7.2.2.5. Dolgu Duvarı Çelik Şeritler İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapı	117
7.2.2.6. Dolgu Duvarı Perdeler İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapı	119
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	121
KAYNAKLAR	124

SEMBOL LİSTESİ

- M_p : Kolon veya kiriş plastik momentinin düşük olanı
- f_k : Dolgu duvarın dayanımı
- δ_p : Düzeltme faktörü
- ϕ_s : Boyutsuzluk parametresi
- μ_p : (kiriş için en küçük plastik moment)/(kolon için en küçük plastik moment)
- $\Delta\phi$: Düzeltme faktörü
- F : Dizayn dayanımı
- E_i : Dolgu duvarın elastisite modülü
- t_i : Dolgu duvarın kalınlığı
- θ : Diyagonal çubuğun yatay ile yaptığı açı
- h : Dolgu duvarın yüksekliği
- E_c : Kolonun elastisite modülü
- I_c : Kolonun atalet momenti
- H_{CM} : Çatlama yükü
- H_{UM} : En büyük dayanma gücü
- f_t : Dolgu duvarın çekme dayanımı
- f_c^1 : Dolgu duvarın basınç dayanımı
- H_{UL} : En büyük dayanma gücü
- t : Dolgu duvar kalınlığı
- h : Kat yüksekliği
- M_{pb} : Kirişin plastik momenti
- M_{pc} : Kolonun plastik momenti
- M_{pj} : Noktanın plastik momenti (M_{pb} ve M_{pc} değerlerinin küçük olanı)
- σ_c : Dolgu duvar malzemesinin basınç dayanımı
- A_d : Dolgu duvar yatay kesit alanı
- a_d : Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (cm)
- E_c : Çerçeve betonunun elastisite modülü

- E_d : Duvarın elastisite modülü
- f_d : Duvarın basınç gerilmesi dayanımı
- f_{yd} : Hasır donatı çeliğinin tasarım akma dayanımı
- h_d : Dolgu duvar yüksekliği (cm)
- h_k : Kolon boyu (cm)
- I_k : Kolonun atalet momenti (cm⁴)
- k_d : Eşdeğer basınç çubuğunun aksenal rijitliği
- r_d : Dolgu duvar diyagonal uzunluğu (cm)
- t_d : Dolgu duvar kalınlığı (cm)
- V_d : Dolgu duvar kesme kuvveti dayanımı
- ρ_{sh} : Duvardaki yatay gövde donatılarının duvar brüt enkesit alanına oranı
- θ : Eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısı
- λ : Eşdeğer Basınç Çubuğu Katsayısı
- τ_d : Dolgu duvar kayma gerilmesi dayanımı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1.	Tuğla Duvarların Hasır Çelikle Güçlendirilmesi [2]	5
Şekil 2.1	Deneysel çalışmada kullanılan üç tip deney numuneleri [3]	6
Şekil 2.2.	Çelik hasırlı güçlendirilmiş duvarın kesiti [3]	6
Şekil 2.3.	Deplasman örneği [3]	7
Şekil 2.4.	Numune S1T1 için taban kesme kuvveti deplasman ilişkisi [3]	8
Şekil 2.5.	Numune S1T2 için taban kesme kuvveti deplasman ilişkisi [3]	8
Şekil 2.6.	Geçmeli dolgu duvarlı çerçeveler için (S2T1-S3T1) taban kesme kuvveti deplasman ilişkisi [3]	9
Şekil 2.7.	Hasır çelikle güçlendirilmiş (S2T2) numune için taban kesme kuvveti deplasman ilişkisi [3]	10
Şekil 2.8.	Parametrik çalışmada kullanılan çerçeve boyutları [4]	11
Şekil 2.9.	Statik analiz için maksimum kat deplasmanı ve duvar kalınlığı ilişkisi [4]	11
Şekil 2.10.	Statik analiz için maksimum kesme kuvveti ve duvar kalınlığı ilişkisi [4]	12
Şekil 2.11.	Statik analiz için maksimum kat deplasmanı ve donatı tipi ilişkisi [4]	12
Şekil 2.12.	Statik analiz için maksimum kesme kuvveti ve donatı tipi ilişkisi [4]	13
Şekil 2.13.	Statik analiz için maksimum kat deplasmanı ve donatı miktarı ilişkisi [4]	13
Şekil 2.14.	Statik analiz için maksimum kesme kuvveti ve donatı miktarı ilişkisi [4]	14
Şekil 2.15.	Dinamik analiz için kat deplasmanı ve duvar kalınlığı ilişkisi [4]	14
Şekil 2.16.	Dinamik analiz için kesme kuvveti ve duvar kalınlığı ilişkisi [4]	15
Şekil 2.17.	Dinamik analiz için kat deplasmanı ve donatı tipi ilişkisi [4]	15
Şekil 2.18.	Dinamik analiz için kesme kuvveti ve donatı tipi ilişkisi [4]	16
Şekil 2.19.	Dinamik analiz için kat deplasmanı ve donatı miktarı ilişkisi [4]	16
Şekil 2.20.	Dinamik analiz için kesme kuvveti ve donatı miktarı ilişkisi [4]	17
Şekil 2.21.	Güçlendirme için kullanılan çelik hasır örnekleri [6]	19
Şekil 2.22.	Çelik çubuklar ve çimento sıvası ile güçlendirilmiş duvar dizaynı [6]	19
Şekil 2.23.	Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon gücü üzerindeki etkileri. (Sugano. 1991) [8]	22
Şekil 2.24.	Duvarların kayma gerilmesi - normal gerilme ilişkileri [9]	23
Şekil 2.25.	Donatı Ayrıntıları [9]	25
Şekil 2.26.	Yatay yük - tepe yerdeğiştirmesi [9]	27
Şekil 2.27.	Yatay yük - tepe yerdeğiştirmesi [9]	28
Şekil 2.28.	Hasarlı betonarme çerçeveler için yatay yük - tepe yerdeğiştirmesi [9]	29
Şekil 2.29.	Numune için yatay yük - tepe yerdeğiştirmesi [9]	30
Şekil 2.30.	Hasarlı betonarme çerçeveler içine ilave edilen fabrika örgüsü donatı ağıllı dolgu için yatay yük - tepe yerdeğiştirmesi [9]	31

Şekil 2.31.	ODTÜ Deney Elemanları	34
Şekil 2.32.	Donatı Detayları	35
Şekil 2.33.	Deney Düzeneği	36
Şekil 2.34.	Ölçüm Düzeneği	37
Şekil 2.35.	Yük Çevrim Diyagramı	37
Şekil 2.36.	Tipik Kat Güçlendirilmiş Taşıyıcı Sistem Planı	41
Şekil 2.37.	3 Boyutlu Model	42
Şekil 2.38.	7- çerçevesi, rijit uç bölgeleri, örnek kolon ve kiriş	43
Şekil 2.39.	X ve Y Doğrultusu Doğal Titreşim Periyodları, Mod Şekilleri ve 1.Moda Ait Etkin Kütle Katılım Oranları	43
Şekil 2.40.	7-Çerçevesinin Düşey Yük Moment Diyagramı (Md)	46
Şekil 2.41.	7-Çerçevesinin CG Performans Seviyesi İçin Hesaplanan Deprem Yüklemesinden Elde Edilen Yatay Yük Moment Diyagramı (Me)	46
Şekil 2.42.	Güçlendirilmiş Dolgu Duvarların “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri (rsınır)” İle Karşılaştırılması	48
Şekil 2.43.	Güçlendirilmiş Dolgu Duvarların “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri (rsınır)” İle Karşılaştırılması	49
Şekil 2.44.	B Bloкта uygulanan temel planı	51
Şekil 2.45.	Bodrum Kat Planı	52
Şekil 2.46.	Örnek Eksenel Yük Mafsalı	53
Şekil 2.47.	Çerçeve Sistem Görünüşü	54
Şekil 2.48.	Normal Duvarlı Sistem Görünüşü	55
Şekil 2.49.	Güçlendirilmiş Sistem Görünüşü	56
Şekil 2.50.	Tüm durumlar için taban kesme kuvveti-çatı deplasmanı ilişkisi	57
Şekil 3.1.	Duvar Model Geometrisi	62
Şekil 3.2.	Eşdeğer Duvar Yük Aktarım Modeli	62
Şekil 3.3.	Duvar İçin Bilineer Davranış Modeli	63
Şekil 3.4.	Plastik Mafsalların Yeri	65
Şekil 3.5.	Düzeltilme faktörü δ_p	66
Şekil 3.6.	Benzer Olmayan Kirişler, Kolonlar Ve Dikdörtgen Paneller İçin μ_p Değeri	67
Şekil 4.1.	Çubuğun Geometrisi	73
Şekil 4.2.	Çeşitli Çelik Çapraz Kullanım Şekilleri	74
Şekil 4.3.	Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmiş Bir Bina	75
Şekil 4.4.	Liflerin Gerilme Şekil Değiştirme Eğrileri [17]	76
Şekil 4.5.	FRP Uygulama Metotları	77

Şekil 5.1.	Kat Planı	92
Şekil 5.2.	Kat Planı	93
Şekil 5.3.	Kat Planı	94
Şekil 6.1.	İki Doğru Parçası İle İdealleştirilen Kapasite Eğrisi	96
Şekil 7.1.1.	Dolgunuz Betonarme Çerçeve (3KÇ)	99
Şekil 7.1.2.	Dolgu lu Betonarme Çerçeve (3KTDÇ)	100
Şekil 7.1.3.	Güçlendirilmiş Dolgu lu Betonarme Çerçeve (3KGDÇ)	100
Şekil 7.1.4.	Dolgunuz Betonarme Çerçeve Kapasite Eğrisi	101
Şekil 7.1.5.	Dolgu lu Betonarme Çerçeve Kapasite Eğrisi	101
Şekil 7.1.6.	Dolgu lu Betonarme Çerçeve Kapasite Eğrisi	102
Şekil 7.1.7.	3KÇ için Göçme Durumları	103
Şekil 7.1.8.	3KDÇ için Göçme Durumları	103
Şekil 7.2.1.	Bina Görünüşü	105
Şekil 7.2.2.	Kat Planı	106
Şekil 7.2.3.	Dolgu Duvarsız Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KBY)	110
Şekil 7.2.4.	Dolgu Duvarlı Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDBY)	112
Şekil 7.2.5.	Dolgu Duvarı Hasır Donatılı Beton Tabakası İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDHY)	114
Şekil 7.2.6.	Dolgu Duvarı FRP İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDFBY)	116
Şekil 7.2.7.	Perdeler İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDPBY)	118

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1.	Numunelerin Tanıtımı	7
Çizelge 2.2.	Betonarme Çerçeve Ve Dolgu Duvar Donatı Detayları	33
Çizelge 2.3.	Deney Sonuçları	38
Çizelge 2.4.	Deney Elemanlarının Yanal Dayanımları	39
Çizelge 2.5.	Mevcut Yapının Özellikleri	42
Çizelge 2.6.	Kat Kütleleri, Kütle Merkezinin Koordinatları Ve Kütle Atalet Momentleri	43
Çizelge 2.7.	X ve Y Doğrultusu için Taban Kesme Kuvvetinin Katlara Göre Dağılımı	45
Çizelge 2.8.	Tüm Durumlar İçin X Yönü Analiz Sonuçları	57
Çizelge 2.9.	Tüm Durumlar İçin X Yönü Analiz Sonuçları	58
Çizelge 2.10.	X Yönü Performans Noktası ve Hasar Durumları Karşılaştırmaları	59
Çizelge 2.11.	Y Yönü Performans Noktası ve Hasar Durumları Karşılaştırmaları	59
Çizelge 3.1.	Sıvalı ve Sıvasız Tuğla Dolgu Duvarın Elastisite Modülü (E_{me}) ve Basınç Dayanımı (f_{me})	61
Çizelge 4.1.	LTK Malzeme Özellikleri [17]	76
Çizelge 4.2.	ξ_1 FRP Güçlendirme Katsayıları	78
Çizelge 5.1.	Yapıların Güçlendirilmesinde Esas Alınabilecek Bir Sınıflandırma	80
Çizelge 5.2.	Mevcut Bölme Duvarları Alanının Türüne Bağlı Olarak 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]	83
Çizelge 5.3.	Mevcut Bölme Duvarları Alanının Kalınlığına, Harç Ve İşçilik Kalitesine Bağlı Olarak 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]	83
Çizelge 5.4.	Mevcut Bölme Duvarları Alanının Harç Durumuna Bağlı Olarak 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]	83
Çizelge 5.5.	Taşıyıcı Sistemde Bulunan Betonarme Kolon Ve Perde Kesit Alanlarının 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]	84
Çizelge 5.6.	Özellikleri İyileştirilmiş Bölme Duvarları Alanının 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]	84
Çizelge 7.1.1.	Analiz Sonuçları	102
Çizelge 7.1.2.	Numunelerin Analiz Sonuçları	104
Çizelge 7.2.1.	2006 Deprem Yönetmeliğine Parametreleri	105

Çizelge 7.2.2.1.	Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları	109
Çizelge 7.2.2.2.	Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları	111
Çizelge 7.2.2.3.	Dolgu Duvarın Elastisite Modülü ve Basınç Dayanımı	111
Çizelge 7.2.2.4.	Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları	113
Çizelge 7.2.2.5.	Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları	115
Çizelge 7.2.2.6.	Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları	117
Çizelge 7.2.2.7.	Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları	119
Çizelge 8.1.	Analiz Sonuçları	121

FOTOĞRAF LİSTESİ

Fotoğraf 2.1.	Çelik tel ile güçlendirilmiş duvarlar [5]	17
Fotoğraf 2.2.	Deney numunesi için shotcrete uygulaması (ElGawady 2004) [6]	20
Fotoğraf 2.3.	Deney Numunesi [9]	27
Fotoğraf 2.4.	Deney Numunesi [9]	27
Fotoğraf 2.5.	Deney Numunesi [9]	27
Fotoğraf 2.6.	Deney Numunesi [9]	28
Fotoğraf 2.7.	Okul Binasının Önden Görünüşü	41
Fotoğraf 2.8.	İncelenen Bina Görünüşü	50
Fotoğraf 2.9.	İncelenen Bina Görünüşü	50

ÖNSÖZ

Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde, yüksek lisans tezi olarak verilen bu çalışmanın hazırlanmasında, her konuda yardımcı olan Yapı Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Muhammed TEKİN'e ve değerli bilgilerinden beni faydalandıran tüm Mühendislik Fakültesi öğretim görevlilerine teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitime başlamam da beni teşvik eden ve daha sonra da destek olan aileme teşekkür etmeyi borç bilirim. Tez çalışması süresince zaman ayıramadığım eşimin bana gösterdiği anlayış ve desteğe müteşekkirim.

MANİSA, 2007

İNŞ. MÜH. Erhan ALSANCAK

ÖZET

Ülkemiz topraklarının büyük bir kısmı 1. derece deprem kuşağındadır ve sık sık büyük ölçekli depremlerle sarsılmaktadır. Depremlerde zarar gören yapıların yerine yenilerinin yapılmasının gerektirdiği zaman ve para kaybı düşünüldüğünde depreme dayanıklı yapı yapmak kadar mevcut yapıların güçlendirilmesinin de üzerinde çalışılması gereken önemli bir konu olduğu anlaşılır.

Yapıların deprem dayanımının tespiti ve güçlendirilmesi için taşıyıcı sistemin gerçekçi bir şekilde modellenmesi önemlidir. Bu modellemelerde dolgu duvarların sisteme olan etkileri genellikle ihmal edilmektedir. Yapılan bu çalışmada dolgu duvarlar dikkate alınarak yedi katlı beş açıklıklı bir yapı ele alınmıştır. Sap2000 V10 programı kullanılarak FEMA 356'da Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi ile yapı performansları belirlenmiştir. Dolgu duvarlar ise yeni deprem yönetmeliğinde yer alan koşullara göre çapraz elemanlar olarak modellenmiştir. Hasır donatılı beton tabakası ile takviye edilmiş duvarlarda, yeni yönetmelik koşulları esas alınarak, doğrusal olmayan analizle değerlendirilmiştir. Diğer güçlendirme yöntemleri, çelik şeritlerle, FRP ile ve perde ile güçlendirme yöntemleri de değerlendirilmiştir. Hasır donatılı beton tabakası ile güçlendirme yönteminin bu güçlendirme yöntemleri arasındaki performansı araştırılmıştır. Dolgu duvarların ve takviyeli dolgu duvarların katkıları ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmada bina hasarların onarılması için kullanılan malzeme ve yöntemler incelenmiştir. Hangi güçlendirme yönteminin daha verimli olacağı üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca duvarların sadece bir ayırıcı eleman olarak değil, taşıyıcı olarak da önem arz ettikleri, güçlendirilerek kapasitelerinin artırılmasının ucuz ve etkili bir güçlendirme yolu olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, dolgu duvar, güçlendirme, kapasite eğrisi, performans

ABSTRACT

The important part of our country's lands is found on the first degree of earthquake sash and it frequently faces high scale of earthquakes. To build up new constructions instead of damaged ones necessitates more money and time; therefore it is important that not only building up new constructions but also strengthening existing ones. This shows that strengthening existing buildings is crucial subject which needs much more working on it.

It is important to make a realistic model of structural supporting system. In such modellings, the effects of masonry walls on the system are generally neglected. In this study, such effects are considered in the case of a structure of seven stories and five spans. The structural performances are assessed by FEMA 356 Displacement Coefficient Method using SAP2000 Ver. 10. The Masonry walls are modeled as diagonal members according to the new Turkish Earthquake Codes. The walls strengthened by reinforced concrete layers with steel-mesh inside are evaluated using nonlinear analysis according to the earthquake codes. The other strengthening methods such as strengthening with steel bars, FRP and shear wall are also considered. The performance of reinforced concrete layers with steel-mesh inside method is evaluated as to the those of other methods. The contributions of masonry walls and strengthened walls are assessed.

In this study, the materials and methods which are used for repairing the damages of structures are examined. A study is carried on to the find the most useful of the strengthening methods. More it is concluded that the walls are not only partitioning elements but also important supporting elements and it is an economical as well as effective structural strengthening method to strengthen the buildings.

Keywords: Reinforced concrete frame, masonry wall, strengthening, capacity curve, performance

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Yapıların değişik nedenlerle dayanımlarının artırılması gerekli görülmektedir. Projesinde ve yapımında hata, kusur ve eksiklikler olan yapının çeşitli elemanlarında zaman içinde hasar ve zayıflık belirtileri ortaya çıkabilir; yapıların zaman içinde kullanma amacının değiştirilmesi sonucu yapıda bazı taşıyıcı sistem değişikliklerinin yapılması gerekebilir.

Proje ve yapım hatası sonucu onarım ve güçlendirilmesi gereken yapılar her zaman vardır. Yapının taşıyıcı sisteminin bir takım mimari ve kullanma gerekçeleri ile yapı bittikten sonra değiştirilmesi nedeni ile de onarım ve güçlendirme gereği ortaya çıkmaktadır. Bir başka onarım ve güçlendirme gereği ise bugünün depreme dayanıklı yapım kurallarından önce yapılmış eski yapıların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu yapılarda bugünün teknolojisinin sağladığı düzeyde deprem güvenliği yoktur. Bu yapıların deprem güvenliklerinin bugün yeni yapılan yapılarda olması istenen düzeylere çıkarılması, çok önemli ve büyük boyutlu bir şekilde yapıların güçlendirilmesi gereksinimini yaratmıştır.

Ülkemizdeki betonarme yapılar genellikle yeterli yanal dayanım ve rijitliğe sahip olmayan, donatı detayları deprem davranışı açısından yetersiz, beton dayanımları düşük çerçevelerden oluşmaktadır. Bunun yanında bu yapılarda yumuşak kat, kısa kolon, kuvvetli giriş zayıf kolon gibi sistem yetersizliklerinin de bulunması, deprem güvenlikleri yeterli olmayan büyük bir yapı stokunu gündeme getirmektedir. Bu zayıflıklara sahip yapıların kuvvetli bir depremde sağlıklı bir davranış sergilemesini beklemek mümkün değildir. Bu nedenle, bir öncelik sırası belirlenerek, mevcut yapı stokunun deprem güvenliğinin artırılması gerekmektedir.

Güçlendirilmesi gereken bina sayısı göz önüne alındığında, bu binaların hepsinin deprem sonrası kullanılabilirliğini koruyacak şekilde güçlendirilmelerinin ekonomik olarak mümkün olmadığı görülmektedir. Diğer taraftan, can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için bu binaların büyük bir depremde göçmelerinin engellenmesi de gerekmektedir.

Betonarme binaların yatay deprem etkisinde taşıyıcı sistem hesapları yapılırken, bölme duvarlar taşıyıcı olmayan elemanlar olarak düşünölmektedir. Bölme duvarların bu hesaplarda sadece ağırlık ve kütle olarak göz önüne alınması, sistemin yatay rijitlik ve dayanım gibi mekanik özelliklerine

katkılarının göz ardı edilmesi genel bir yaklaşımdır. Homojen olmayan ve genellikle farklı malzemelerden üretilen bölme duvarlarının matematik modelleri kurulurken birçok faktörün etkili olmasının getirdiği zorluk nedeni ile yapılan bu kabul, sistem davranışının yeterince doğru olarak belirlenememesine yol açmaktadır. Ülkemizde meydana gelen önemli depremlerden sonra yapılan incelemeler ve farklı araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalar, taşıyıcı olmayan bölme duvarların yatay rijitlikleri ve dayanımlarının, binanın serbest titreşim özellikleri ve yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir. 1998'de yürürlüğe girmiş olan "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik de bölme duvar etkisini almayan taşıyıcı sistem çözüm yöntemleri ile yapıların gerçek davranışı arasındaki bu belirsizliği, çeşitli kısıtlamalar ve kontroller ile düzenleme yoluna gidilmiştir. Buna göre; katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf kat) olan binalarda, dayanım düzensizliği katsayısı hesaplanırken deprem doğrultusundaki dolgu duvar alanlarının da hesaba alınmaktadır. Ayrıca kolonlara konulacak enine donatı düzenlemesi ve bölme duvarlar ile kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeniyle oluşabilecek kısa kolonlar ile ilgili düzenlemeler de mevcuttur, [1]. Bölme duvarların yatay yükler etkisindeki bina davranışına etkilerinin daha iyi ve güvenilir biçimde tanımlanabilmesi, hesaplarda göz önüne alınması amacıyla yatay rijitlik ve dayanımlarının ayrıntılı olarak incelenmesi ve güvenilir biçimde saptanması gerekmektedir.

Yanal ötelenmeler belirli düzeyi geçmediği sürece, boşluklu tuğla duvarların betonarme çerçevelerin hem yanal rijitliğini hem de dayanımını önemli oranda artırdığı bilinmektedir. Ne var ki, yanal ötelenmeler belirli bir düzeyi aştığında söz konusu duvarlar ezilerek devre dışı kalmakta ve betonarme çerçevenin davranışına tüm deprem süresince katkıda bulunamamaktadır.

Deprem sırasında bölme duvarların taşıyıcı sisteme getirdiği etkileri, duvarın hasar görerek taşıma kapasitesini yitmesi ile ortadan kalkmaktadır. Bölme duvarlar ve betonarme çerçevelerin deprem açısından güçlendirilmesi ile duvarların binaya getirdiği katkılarında deprem sarsıntısının sonuna kadar yararlanılabilmesi, taşıyıcı sistem ve duvarların bir bütün olarak çalışmasının sağlanabilmesi etkin bir güçlendirme yöntemi olacaktır. Bu tip bir güçlendirmenin bölme duvarların her iki yüzüne çelik hasır monte ediliyor ve 50 cm aralıklı olarak ağ şeklinde çelik hasırlar birbirlerine duvardan geçen bağ çubuklarıyla bağlanıyor. Duvarın her iki yüzüne 5 cm kalınlığında püskürtme beton uygulanıyor. Bu tip bir güçlendirme şekli son yıllarda araştırmacıların dikkatini çeken bir konu olmuştur [2].

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan gevşek ve taşıyıcı olmayan bölme duvarların yüzeylerinin hasır çelikli beton ile kaplanması bölme duvarın taşıyıcı hale getirilmesi, göçme biçiminin kontrolü ve bu yolla sistemin depreme karşı güçlendirilmesi incelenecektir.

Bu yöntem yığma binaların depremden hasar gördükten sonra veya depreme karşı güçlendirmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Bu yöntemde duvarın iç ve dış yüzünü içinde donatı olan güçlendirme bantları eklenmesi ya da duvarın tümü ile içinden ve dışından üzeri beton ile örtülü bir donatı hasırı ile kaplanmasıdır.

Hasır çelik yerine kümes teli, rabbitz teli de kullanılabilir. Duvarda belli aralıklarla delikler açılarak iç ve dış yüzdeki donatıların birbirine bağlanması gerekir. Ayrıca duvara konulan hasır çeliğin duvarın alt ve üst başındaki hatılların donatılarına kaynakla ya da uçlarından kanca yapılarak tutturulması gerekir. Duvarın yüzüne konan donatı hasırının üzerine yüksek basınç altında çimento kum harcı püskürtülmelidir. Bu yöntem ile duvarın yüzü en az 4-5 cm kalınlıkta bir beton sıva ile kaplanmalıdır.

Hasırın ya da betonun duvara yapışması için uygulanmadan önce duvarın basınçlı su ile ıslatılması yararlı olmaktadır. Bu işlem ile tuğlalar arasındaki derzlerin ve diğer parçalanmış harcın ve sıvanın bir bölümü döküleceğinden yeniden betonlama sırasında beton bu derz boşluklarına girecek ve eski duvar ile yeni sıvanın kaynaşması sağlanacaktır. Bu yöntem ile duvarın tümü kaplanacağı gibi belli yerlerde, özellikle çatlakların bulunduğu yerlerde, yatay, düşey ya da diyagonal bantlar biçiminde de kaplamalar yapılmaktadır.

1.2. Amaç

Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin çelik hasırlı betonla kaplanması incelenmiş ve güçlendirme tekniğinin etkili olduğu görülmüştür [3]. Bu güçlendirme dolgu duvarın tamamına uygulanmıştır. Bazen uygulanması mümkün olmamaktadır. O duvarda kapı ve pencere bulunuyorsa bu mümkün olmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde yaygın olarak kullanılan gevrek ve taşıyıcı olmayan bölme duvarların tek yüzüne veya her iki yüzeylerine çelik hasır ve püskürtme beton uygulayarak taşıyıcı hale getirilmesi, göçme biçiminin kontrolü ve bu yolla sistemin depreme karşı güçlendirilmesinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, dolgu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan çelik hasır

ve püskürtme betonun sistem davranışına katkısı kuramsal çalışmalar ile araştırılacak ve açıklanmaya çalışılacaktır.

Betonarme çerçeve modelleri hazır programlarla da çözülüp bulunan neticeler sayesinde dolgu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan çelik hasır ve püskürtme betonun sistem davranışına katkısı araştırılacaktır.

Çalışmanın sonucunda ülkemizde mevcut yapılar için uygulanması kolay etkili ve ekonomik bir güçlendirme tekniğın yeterli bir kuramsal açıklamasına ulaşılmısı hedeflenmektedir.

1.3. Özgün Değer

Ülkemizde bölme duvarlar çoğunlukla ince cidarlı delikli gevrek tuğla ile örülmektedir. Bu tuğlaların basınç dayanımları düşüktür ve tuğlaların delikleri yatay olacak şekilde örülen bölme duvarların çerçeve ile bağlantısına özen gösterilmemektedir. Önceki çalışmalarda elde edilen deney verilerinin ve kuramsal çalışmaların, ülkemizde kullanılan yapı elemanlarına uygun olarak yeniden denenmesi ve kuramsal olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu çalışmanın, hasır çelikli beton örtü ile kaplamanın sonuçlar üzerindeki etkisinin kuramsal olarak incelenmesi ve ülkemizdeki yapı özelliklerine uygun, etkili, uygulanabilir ve ekonomik bir güçlendirme metodunu ortaya çıkarmayı hedeflemesi açısından özgündür.

1.4. Çalışmanın Kapsamı

Betonarme çerçeveler içinde oluşturulmuş bölme duvarlar, çelik hasırlı beton örtü ile mantolanınca, bu mantolanan bölme duvarlar perde duvar gibi sistemin rijitliğini artırmaktadır. Kolonlara gelen momentler azalmaktadır. Yapının yanal deplasmanının azalmasına katkıda bulunmaktadır. Sistemin daha çok enerji yutmasına ve sünek davranışına katkıda bulunmaktadır.

Tasarlanan çalışmada aşağıdaki konular araştırılacaktır.

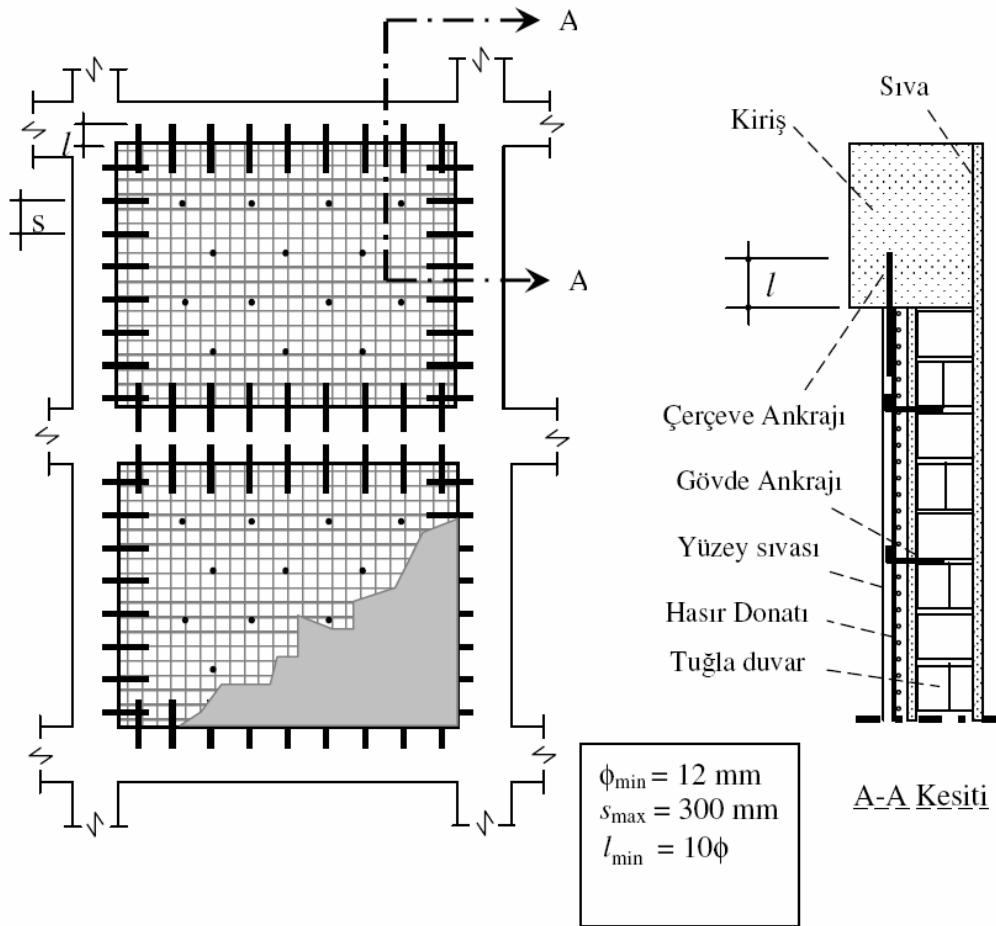
.Hasır çelikli beton tabaka ile tek yüzünden güçlendirilmiş bölme duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük taşıma, enerji yutma ve rijitlik özelliklerine olan etkisinin anlaşılması ve göçme şekillerinin belirlenmesi.

.Çerçeve ve bölme duvarın bütünleşerek çalışmasının sağlanması ve güçlendirmenin olumlu etkilerinden mümkün olduğu kadar yararlanılması.

.Güçlendirilmiş bölme duvarlar, hasır çelik ile güçlendirilmiş bölme duvarların bütün sistem olarak ya da eleman düzeyinde modellenmesine yönelik araştırmalarıdır.

.Modeller, bilgisayar programları ile de çözülecektir.

. Hasır çelikli beton tabaka ile güçlendirilme yönteminin diğer güçlendirme yöntemleri göre performansı değerlendirilecektir.



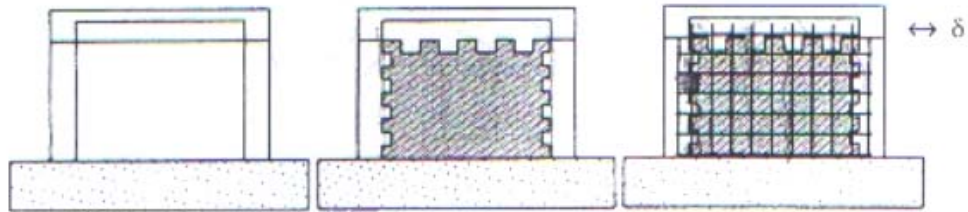
Şekil 1.1 Tuğla Duvarların Hasır Çelik ile Güçlendirilmesi [2]

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN ÖZETİ

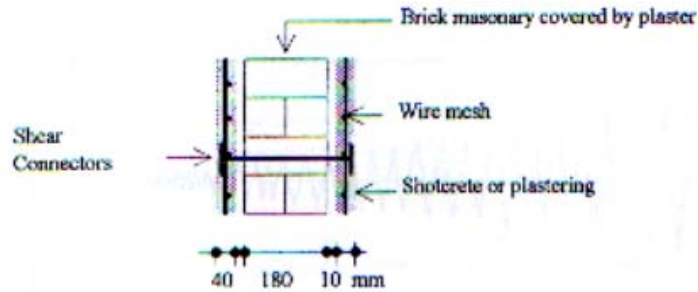
Bu bölümde konuya açıklık getiren daha önce yapılmış bazı önemli çalışmalar maddeler halinde özetlenmiştir.

2.1. Aşağıda dolgu duvarların her iki yüzünden hasır çelikli beton tabaka ile güçlendirilmesi üzerine yapılan bir deneysel çalışma anlatılmıştır [3].

Betonarme çerçevedeki dolgu duvarların her iki yüzünden hasır çelik kullanarak beton tabaka ile güçlendirilmesi üzerine deneysel çalışma İ.T.Ü Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu çalışmada $\frac{1}{2}$ ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı dolgu duvarlı çerçevelerin dolgu duvarları her iki yüzünden hasır çelikli betonarme levhalarla güçlendirilmiştir. Kolonların ve kirişlerin kesitleri 20*25 cm ve 20*32,5 cm dir. Çerçevelerin yüksekliği ve açıklığı 150 cm ve 200 cm dir. Çerçevenin 50 cm radye temeli laboratuvarın yüksek dayanımlı döşemesine yüksek mukavemetli PC çubuklarla bağlanmıştır. Betonarme elemanlar için ortalama beton mukavemeti 16 Mpa dir. 16 mm çaplı çubukların akma mukavemetleri ortalama 300 Mpa dir. Delikli kilden mamul tuğlaların ortalama basınç mukavemeti 2,5 Mpa dir. Üç farklı numunenin görünüşü şekil 2 de görülmektedir. Bu üç tip numuneden pek çok adet kırılmıştır. Güçlendirme biçiminde de şekil 2.2 de görülmektedir.

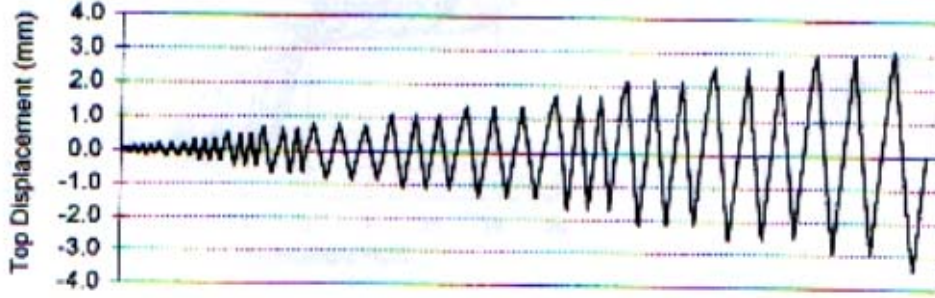


Şekil 2.1. Deneysel çalışmada kullanılan üç tip deney numuneleri [3]



Şekil 2.2. Çelik hasırlı güçlendirilmiş duvarın kesiti [3]

Dolgu duvarsız çerçevenin deneyden hasar görmesinden sonra çerçevenin içine geçmesiz olarak dolgu duvar örülmüştür. Deney numunelerine seçilen deplasman örneğini uygulamak için çift etkili hidrolik actuatör kullanılmıştır. Bütün numuneler için aynı deplasman örneği kullanılmıştır şekil 2.3 [3]. Çıplak çerçevenin deplasman kapasitesi dolgulu çerçevelerinkinden daha yüksek olduğundan elde edilen maksimum deplasman her iki yönde 23 mm alınmıştır.



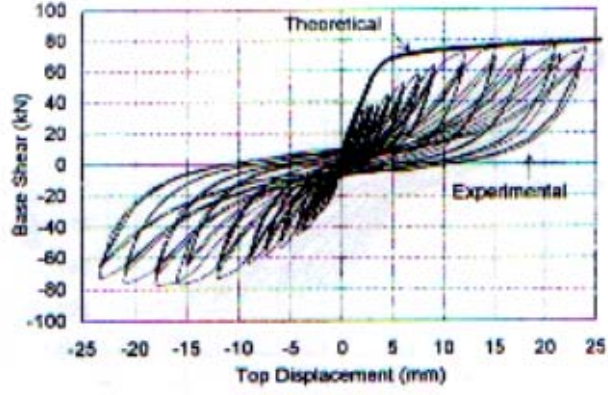
Şekil 2.3. Deplasman örneği [3]

Çerçevelerin kritik deplasmanları, diyagonal kısalma, dolgu duvarların genişmesi, donatıların deformasyonları elektronik olarak deplasman transduceter ve şekil değiştirme geyçleri ile ölçülmüştür.

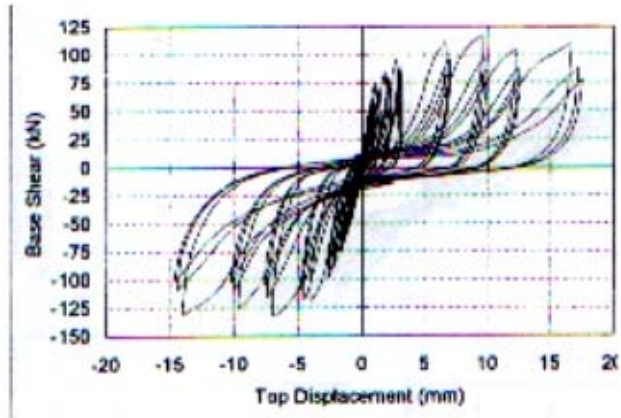
Çizelge 2.1. Numunelerin Tanıtımı

Seri 1		Seri 2		Seri 3
Numune S1T1	Numune S1T2	Numune S2T1	Numune S3T1	Numune S2T2
Çıplak Betonarme Çerçeve	Test edilmiş çıplak çerçeveye dolgu duvar eklenmiş	Betonarme çerçeve geçmeli dolgu duvarlı	Betonarme çerçeve geçmeli dolgu duvarlı	Numune S2T1 Hasırlı çelikle güçlendirilmiş

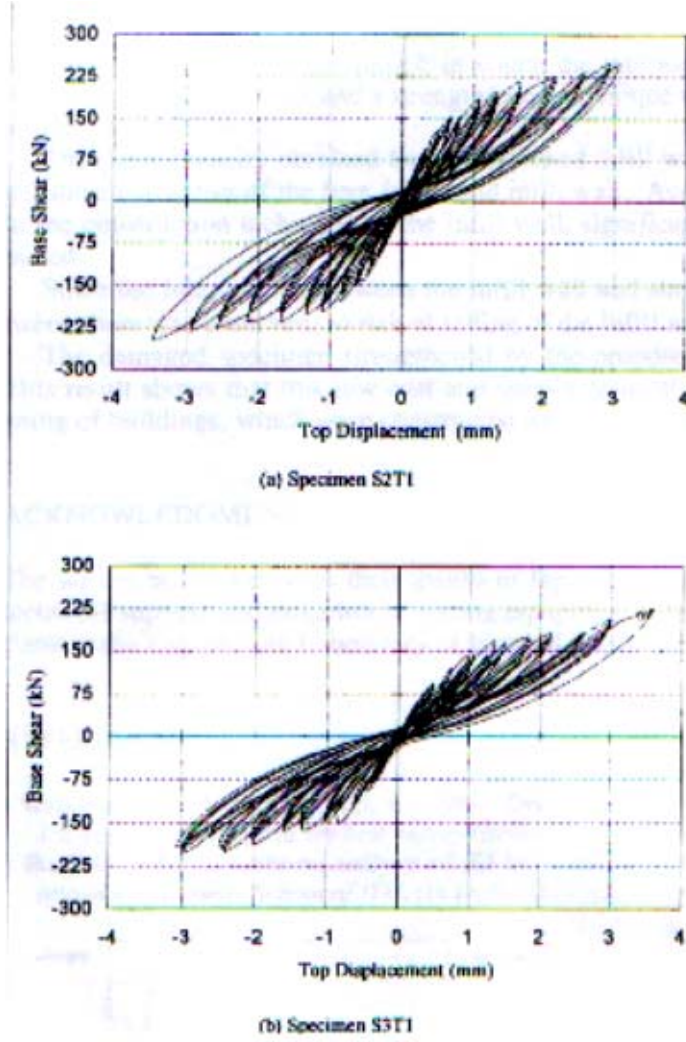
Numuneler için deneylerden elde edilen taban kesme kuvveti deplasman ilişkileri aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



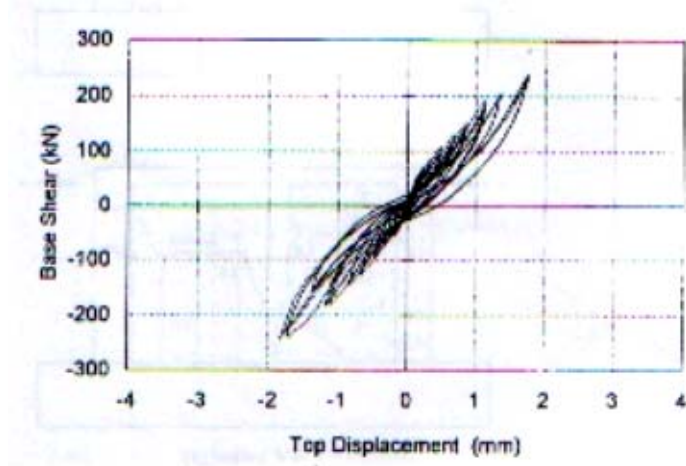
Şekil 2.4. Numune S1T1 için taban kesme kuvveti deplasman ilişkisi [3]



Şekil 2.5. Numune S1T2 için taban kesme kuvveti deplasman ilişkisi [3]



Şekil 2.6. Geçmeli dolgu duvarlı çerçeveler için (S2T1-S3T1) taban kesme kuvveti deplasman ilişkisi [3]

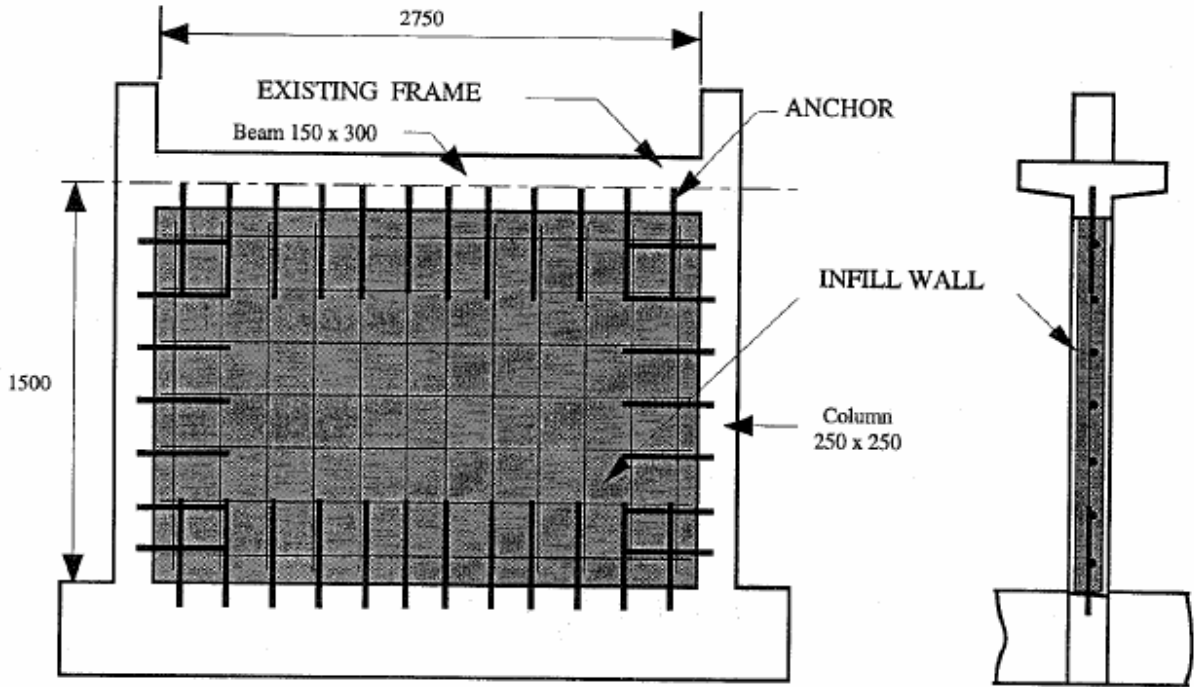


Şekil 2.7. Hasır çelikle güçlendirilmiş (S2T2) numune için taban kesme kuvveti deplasman ilişkisi [3]

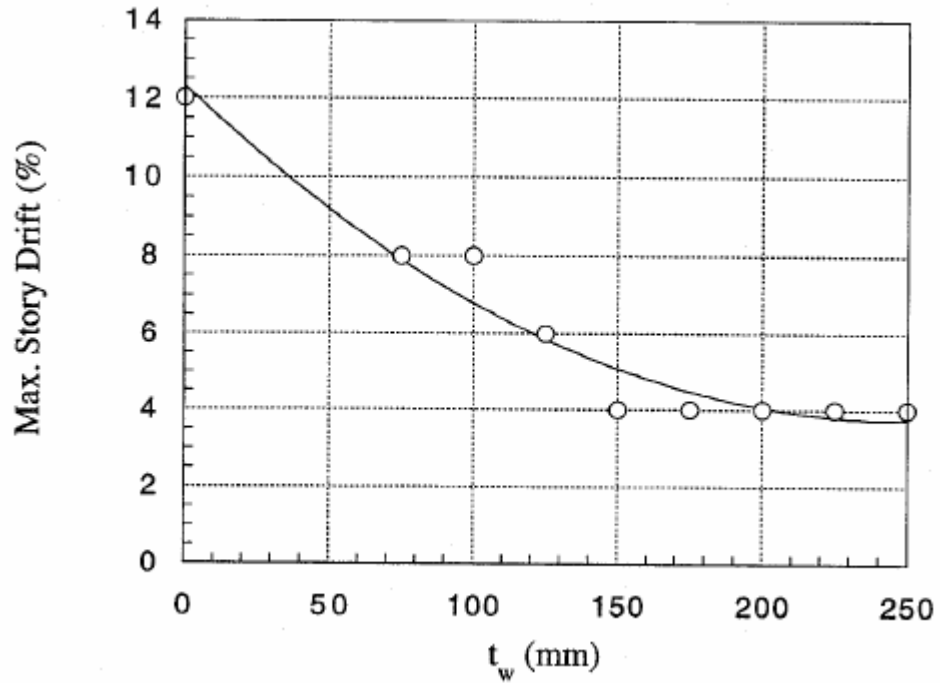
2.2. Aşağıda IDARC programı ile betonarme çerçeveler üzerine yapılan bir çalışma anlatılmıştır [4].

Güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin davranışının hassasiyetinin incelenmesinde dolgu duvar metoduna öncülük eden kesin değerler kullanılmıştır. Bu değerler, dolgu duvar tipi, duvar kalınlığı, donatı miktarı ve donatı tipini kapsamaktadır. IDARC programı kullanılarak statik ve dinamik analizler yapılmıştır. Bu analizlere ve mevcut deneysel çalışmalara dayanarak genel dizayn prosedürü ileri sürülmüştür.

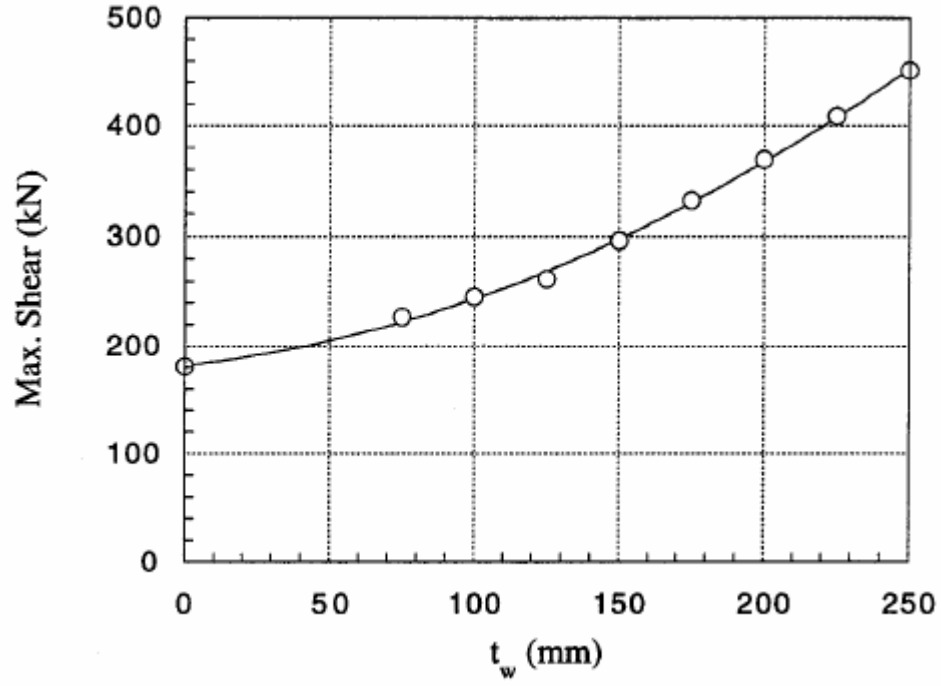
Bu parametrik çalışmada $\frac{1}{2}$ ölçekli bir katlı bir açıklıklı çerçeve kullanılmıştır. Çerçeve, kiriş, kolon ve duvar elemanları kullanılarak modellenmiştir. Kirişlerin boyutu 150*300 mm, kiriş açıklığı 2750 mm, kolon yüksekliği 1350 mm ve kolonların boyutu 250*250 mm dir. Perde duvar uzunluğu 2750 mm ve duvar kalınlığı değişkendir. Her duvar kalınlığı için moment eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Beton basınç dayanımı 40,2 Mpa ve çeliğin dayanımı 400 Mpa alınmıştır. Çerçeve boyutları şekil 2.8.[4] de gösterilmiştir.



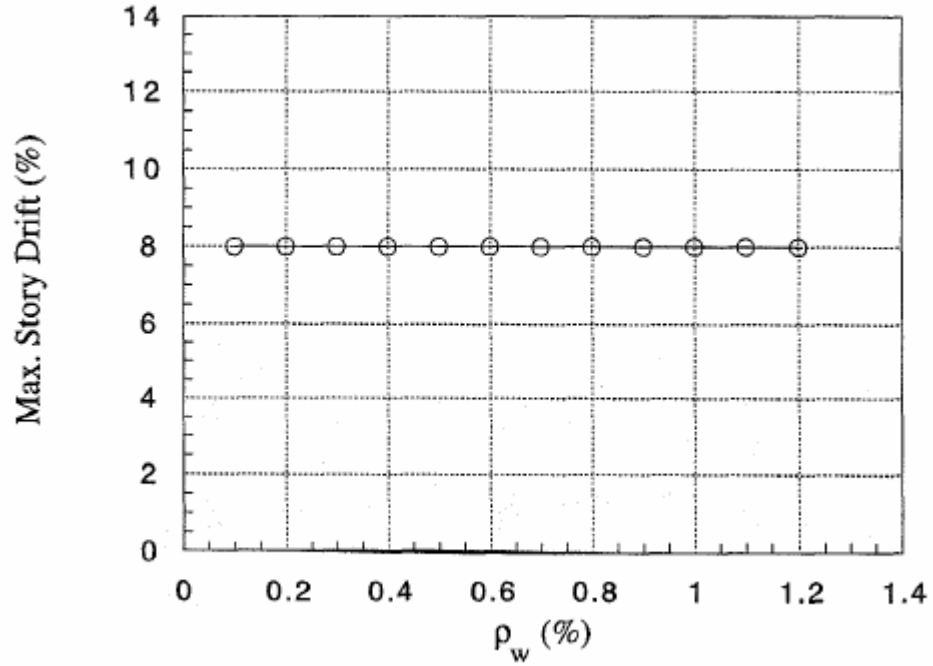
Şekil 2.8. Parametrik çalışmada kullanılan çerçeve boyutları [4]



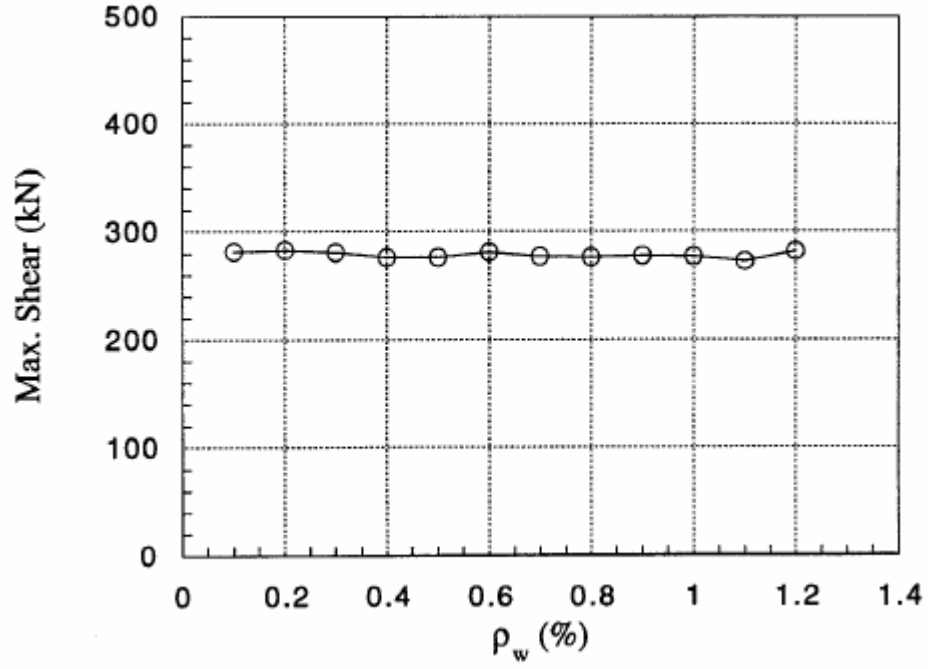
Şekil 2.9. Statik analiz için maksimum kat deplasmanı ve duvar kalınlığı ilişkisi [4]



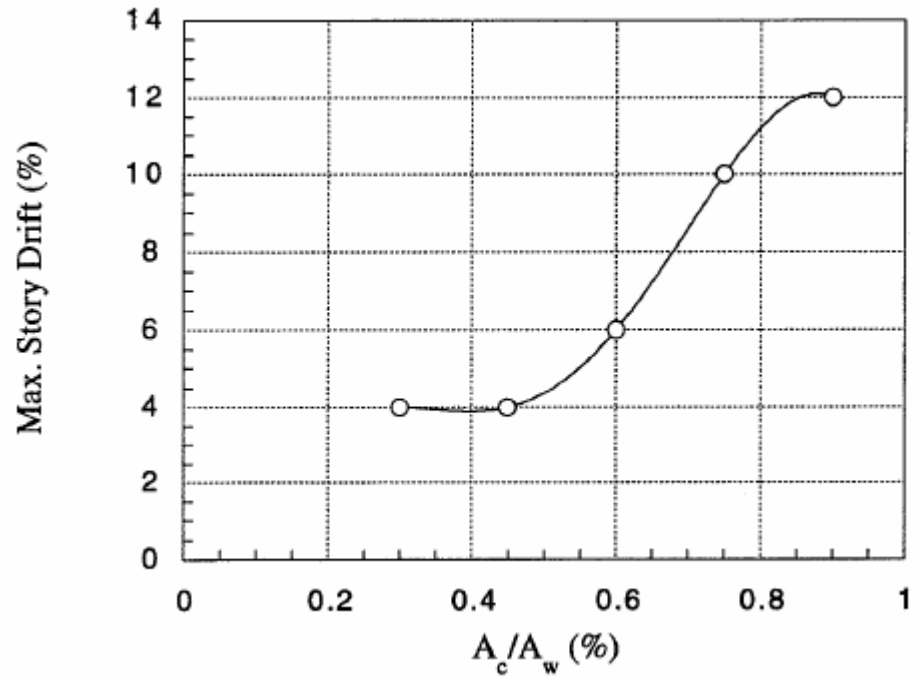
Şekil 2.10. Statik analiz için maksimum kesme kuvveti ve duvar kalınlığı ilişkisi [4]



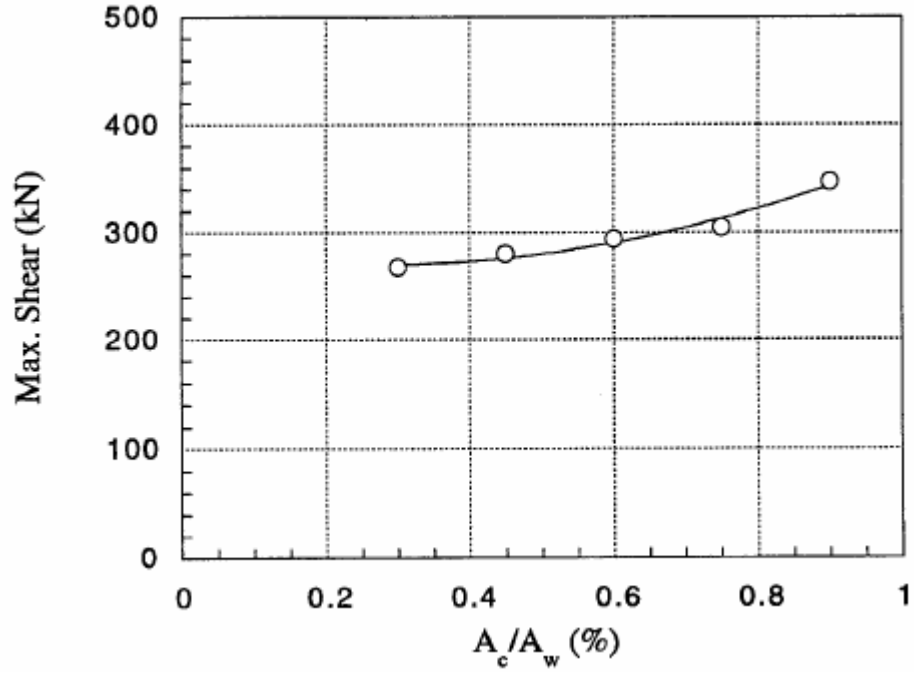
Şekil 2.11. Statik analiz için maksimum kat deplasmanı ve donatı tipi ilişkisi [4]



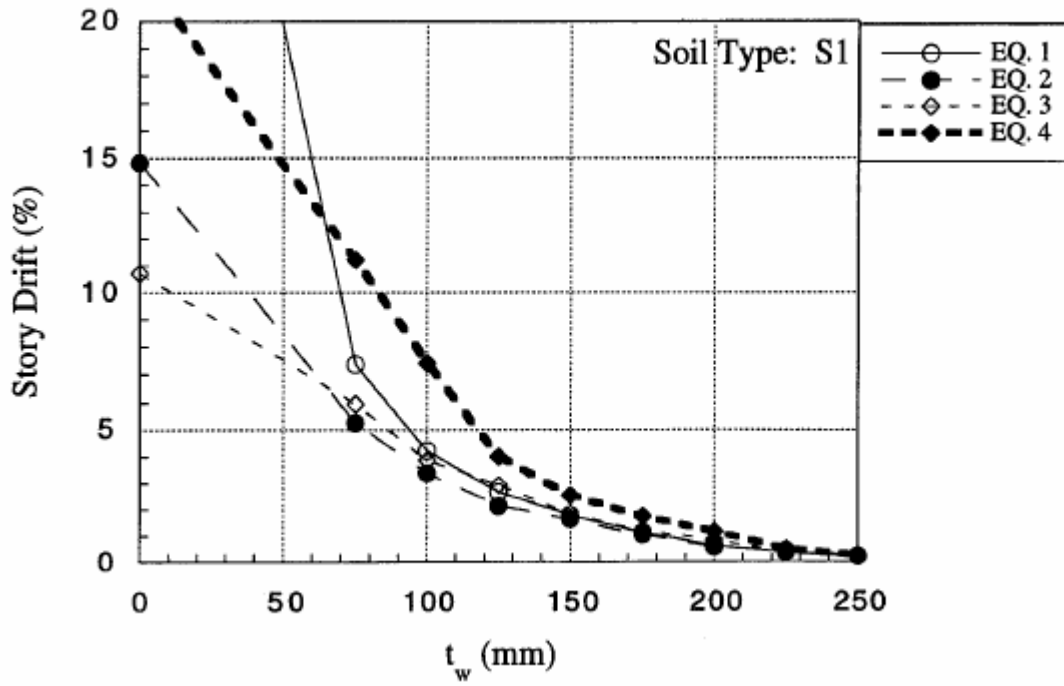
Şekil 2.12. Statik analiz için maksimum kesme kuvveti ve donatı tipi ilişkisi [4]



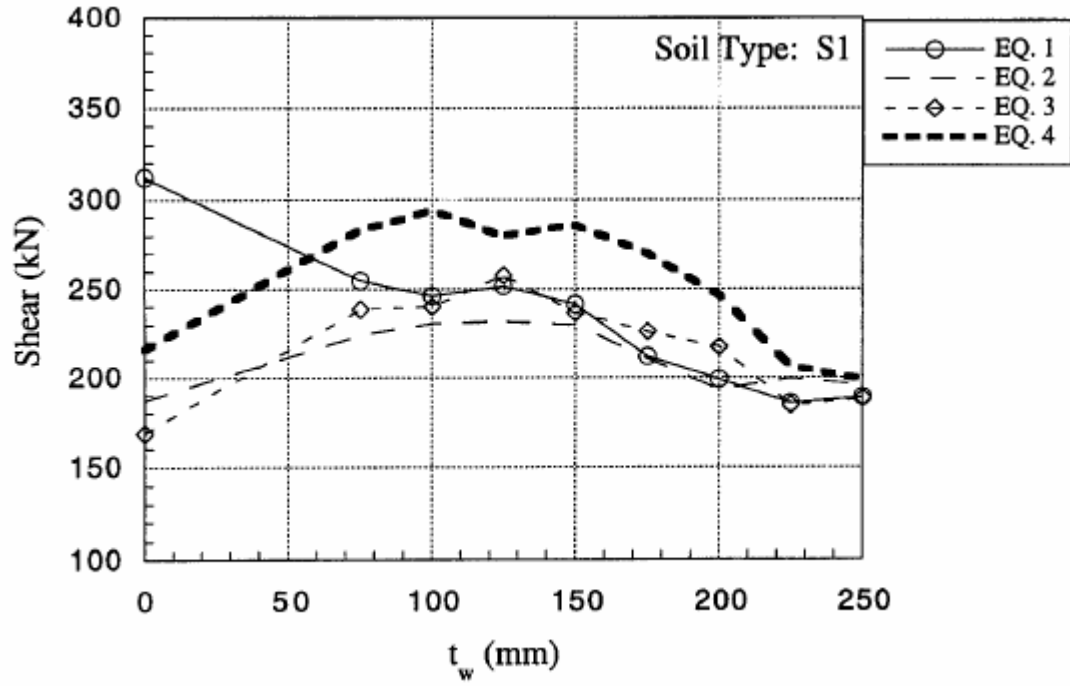
Şekil 2.13. Statik analiz için maksimum kat deplasmanı ve donatı miktarı ilişkisi [4]



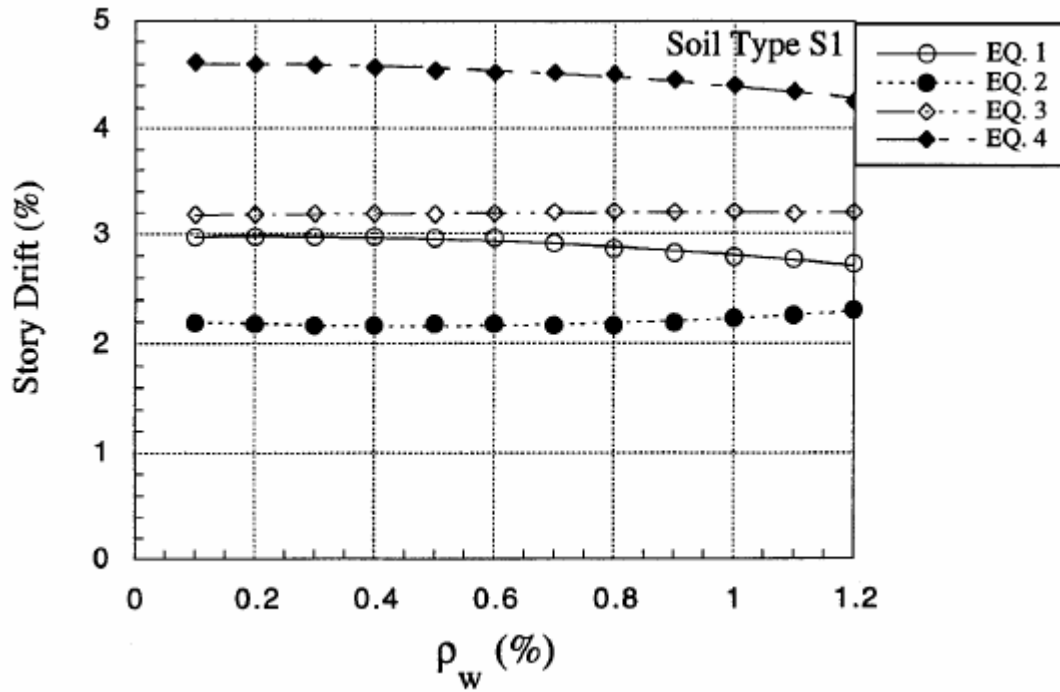
Şekil 2.14. Statik analiz için maksimum kesme kuvveti ve donatı miktarı ilişkisi [4]



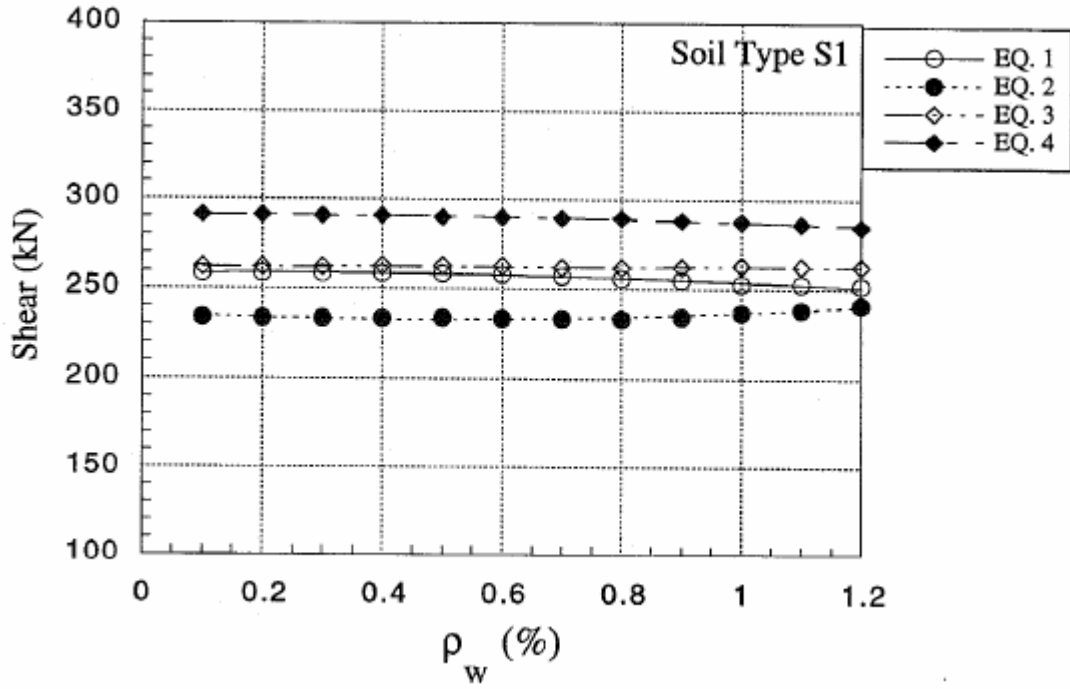
Şekil 2.15. Dinamik analiz için kat deplasmanı ve duvar kalınlığı ilişkisi [4]



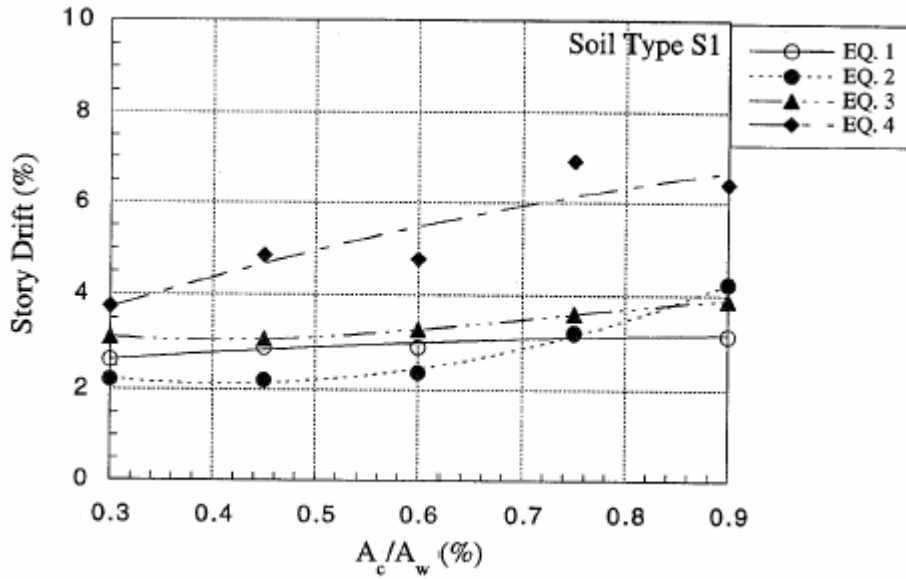
Şekil 2.16. Dinamik analiz için kesme kuvveti ve duvar kalınlığı ilişkisi [4]



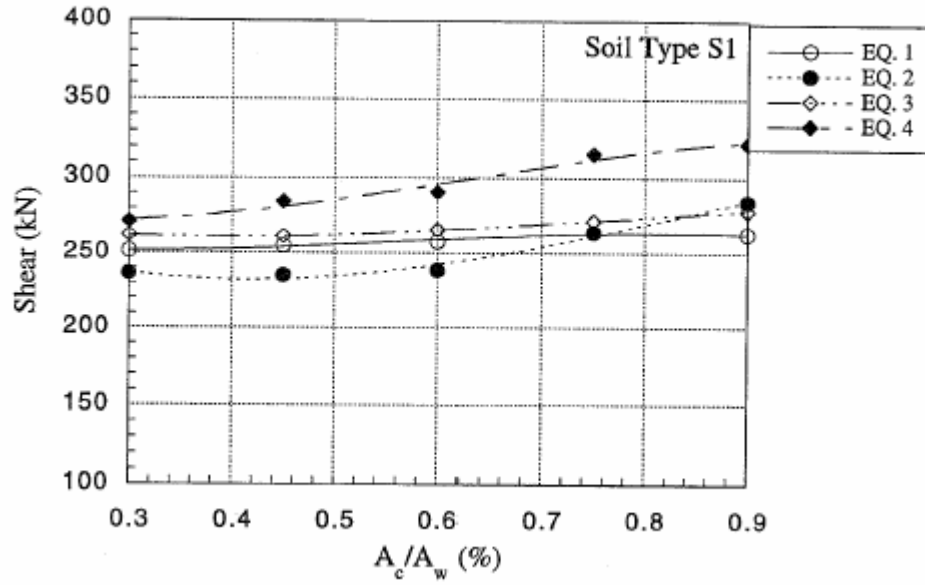
Şekil 2.17. Dinamik analiz için kat deplasmanı ve donatı tipi ilişkisi [4]



Şekil 2.18. Dinamik analiz için kesme kuvveti ve donatı tipi ilişkisi [4]



Şekil 2.19. Dinamik analiz için kat deplasmanı ve donatı miktarı ilişkisi [4]



Şekil 2.20. Dinamik analiz için kesme kuvveti ve donatı miktarı ilişkisi [4]

2.3. Aşağıda İtalya'da ki tarihi yapıların güçlendirilmesi ile ilgili bir çalışma anlatılmıştır [5].

Bu çalışmada İtalya' da ki tarihi yapıların onarımı ve güçlendirilmesi için geçerli tekniklerin gerçek verimi incelenmiştir. Duvarların güçlendirilmesi için çelik teller ve çimento harcı kullanılmıştır. Çelik teller duvarın her iki yüzüne bağlanmış ve üzeri çimento harcı ile kaplanmıştır. Fotoğraf 2.1 de uygulanan teknik görülmektedir. Bu güçlendirme tekniğinin etkili olduğu görülmüştür.



Fotoğraf 2.1. Çelik tel ile güçlendirilmiş duvarlar [5]

2.4. Aşağıda dolgu duvarların hasır çelik ve püskürtme beton tabakası ile güçlendirilmesine yönelik deneysel bir çalışma anlatılmıştır [6].

Dünyanın birçok deprem bölgesinde büyük oranda dolgu duvarlı binalar vardır. Bu binaların çoğu deprem yüküne göre dizayn edilmemiştir. Dolgu duvarların güçlendirilmesi için farklı geleneksel iyileştirme teknikleri mevcuttur. Bu çalışmada dolgu duvarlar için güçlendirme teknikleri incelenmiştir. Bu çalışmada her iyileştirme tekniği için iyileştirme prosedürleri, avantajları, dezavantajları ve etkileri incelenmiştir.

Yüzey iyileştirmelerinde bilinen metotlar genellikle tecrübeler sayesinde geliştirilmiştir. Yüzey iyileştirmelerinde ferrocement, güçlendirici sıva ve shotcrete gibi farklı teknikler uygulanmaktadır. Bu iyileştirme yöntemleri duvarın dış yüzeyini korur. Diğer yandan binanın tarihi görünüşü ve mimarisine tesir eder.

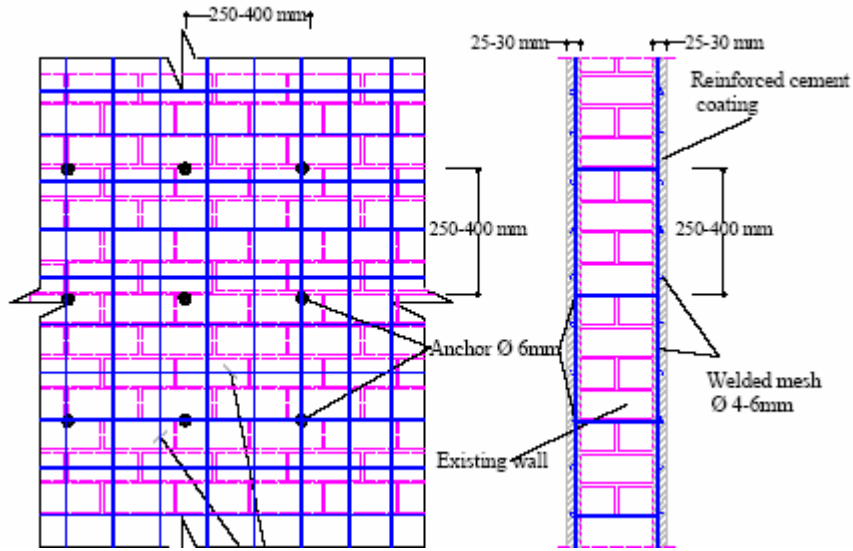
Bu yöntemde güçlendirme oranı %3-8 olan ince çubuklar sıralı bir şekilde aralarında az bir mesafe olacak şekilde sıralanır veya şekil 2.21 de gösterilen çelik hasırlar kullanılır ve üzeri yüksek dayanımlı (15-30 Mpa) 10-50 mm kalınlığında ki çimento harcı ile kaplanır. Güçlendirme plakasının mekanik özellikleri güçlendirici çelik çubukların özelliklerine bağlıdır. Genellikle harç karışımı, 1 ölçek çimento, 1.5-3 ölçek kum ve yaklaşık 0.4 w/c oranında sudan oluşmaktadır (The ferrocement network, Montes ve Fernondez 2001). Harca 0.5-1% oranında düşük miktarda polypropylene gibi fiber malzemeler eklenerek güçlendirilebilir.

Güçlendirme plakası maliyet ve uygulama yönünden ideal bir güçlendirme tekniğidir. Güçlendirme plakası uygulanan duvarın davranışını olumlu yönde etkiler. Çelik çubuklar sayesinde duvar kırıldıktan sonra duvarın parçaları dağılmaz ve duvarın esnek olmayan deformasyon kapasitesi artırılmış olur. Statik yükleme deneyinde (Abrams ve Lynch 2001) bu güçlendirme tekniğinin duvarın yatay direncini arttırdığı görülmüştür.



Şekil 2.21. Güçlendirme için kullanılan çelik hasır örnekleri [6]

Güçlendirme için yüksek dayanımlı çelik çubuklar ile güçlendirilmiş duvarın üzerine çimento sıvası uygulanabilir (Sheppard ve Tercelj 1980). Çelik çubuklar dikey ve yatay olarak belirli aralıklarla sıralanır. Güçlendirici sıva şekil 2.22 de gösterildiği gibi uygulanabilir.



Şekil 2.22. Çelik çubuklar ve çimento sıvası ile güçlendirilmiş duvar dizaynı [6]

Diyagonal çekme deneyi ve statik yükleme deneyinde bu güçlendirme tekniği ile duvarın direncinde 1.25–3 oranında bir artış görülmüştür (Jabarov 1980, Sheppard ve Tercelj 1980). Duvarın

dayanımındaki artış, güçlendiricinin kalınlığına, çimento harcının dayanımına, güçlendiricinin miktarına ve duvar hasarının derecesine bağlıdır.

Püskürtme beton yöntemi, fotoğraf 2.2 de görüleceği gibi dolgu duvarın üzerine çelik çubuklar yerleştirilir ve daha sonra püskürtme beton ile üzeri tamamen kaplanır. Püskürtme betonun kalınlığı sismik dizayna göre belirlenebilir. Genellikle püskürtme beton kalınlığı en az 60 mm yapılır (Abrams ve Lynch 2001, Tomazevic 1999, Karantoni ve Faradis 1992, Kahn 1984, Hutchison 1984). Bu güçlendirme tekniğinde birbirine kaynak yapılmış fabrika teli de kullanılabilir (Karantoni ve Fordis 1992). Genellikle 6-13 mm çapında çelik çubuklar 25-120 mm aralıklarla dizilmektedir. Ayrıca dolgu duvara matkap ile delikler açılarak epoksi veya çimento harcı ile dolgu duvar içerisindeki boşluklar doldurularak dolgu duvar dayanımı artırılabilir.



Fotoğraf 2.2. Deney numunesi için shotcrete uygulaması (ElGawady 2004) [6]

2.5. Konya’da 1990–1993 yılları arasında dört katlı yağma kooperatif binalarının güçlendirilmesinde hasır çelik ve püskürtme beton kullanılmış ve iyi netice alınmıştır [7].

2.6. Aşağıda dolgu duvarla çerçevelerin taşıma gücünün artırılmasının üstün yönleri anlatılmıştır [8].

Dolgu duvarla taşıma gücünün artırılmasında uygulanacak yöntemin belirlenmesi için:

- A. Elde edilecek taşıma gücü
- B. Çerçeveedeki rijitlik artışı

C. Süreklilik

D. Kesme kuvveti taşıma gücü

bakımından bir değerlendirme yapılmıştır.

Bu durum (Sugano. 1991), (Ersoy. 1989), (Vintzellon. 1989) gibi araştırmacılar tarafından incelenmiştir.

Değişik biçimde taşıma gücü arttırılmış çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışları deneysel olarak (Sugano. 1991) tarafından incelenmiş ve sonuçlar şekil.26 de gösterilmiştir. Burada yük deformasyon eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Çerçeve boşluğu içine perde duvar yapılması ile boş çerçeveye göre yaklaşık (4-5) kat taşıma gücü artışlarına ulaşılabilmektedir.
- Sonradan perde duvar yapımı ile perde ile kolonun birlikte dökülmesi ile elde edilen mukavemet elde edilememektedir.
- Çerçeve açıklığının içine donatı beton blok ile dolgu duvar yapılması durumunda da çerçevenin kesme taşıma gücünde ortalama 3 kata varan artışlar oluşabilmektedir.

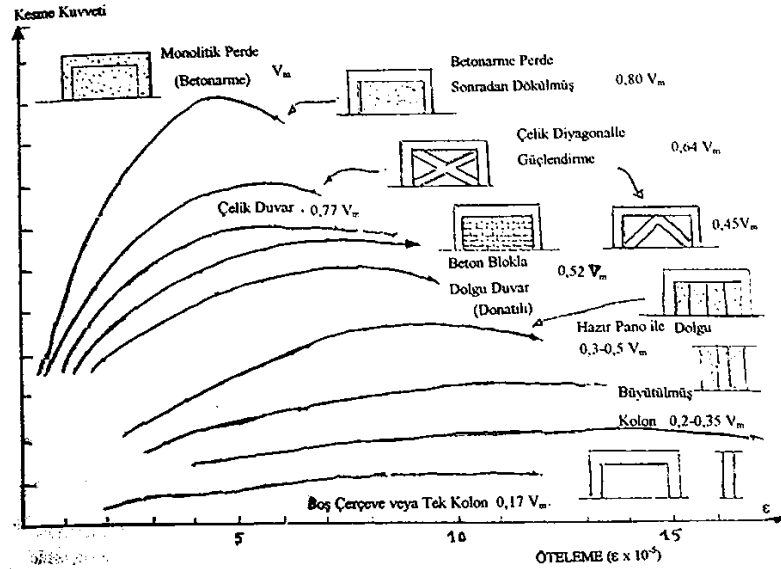
Ersoy ve diğer araştırmacılar (1989)' ın yaptıkları deneysel çalışmalardan da aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Çerçeve sisteminin içine konulan betonarme perdenin çerçeve ile bağlanmamış durumunda tersinir ve devresel yüklemeler altında etkili olmadığı gözlenmiştir.
- Betonarme perdenin donatıları ile kaynaklı olarak bağlanırlarsa iyi bir davranış olduğu anlaşılmıştır.
- Perde duvarın donatısının çerçevenin kolon ve kirişlerine yerleştirilmiş kamalarla bindirmeli olarak yapılması ile daha çok üstün bir davranış olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmalara ilaveten (Vintzellon. 1989) çerçevelerin dolgu duvarlarla yatay yükler altında davranışını inceleyen deneyler yapmış ve aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

- Donatısız yığma dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yüklere karşı taşıma gücü normal çerçevelerin taşıma gücünün en az 2 katı olmaktadır. Dolgu duvar malzemesi tuğla, beton, briket ve benzeri düşük mukavemetli bir malzeme ise normal çerçeveye oranla taşıma gücü artışı ortalama (%40) olmaktadır.

- b. Yiğma dolgu duvarların donatılı olarak yapılması ile, donatı yüzdesinin (%0.15-0.6) arasında olması durumunda, çerçevenin taşıma gücü normal çerçevenin ortalama 5 katı olmaktadır. Ancak dolgu duvardaki donatılarla çerçevedeki donatılar birbirlerine kaynaklı olarak bağlanmalıdır.
- c. Yiğma dolgu duvar yerine dökme betonarme duvar yapılırsa taşıma gücü ortalama 6 kat artmaktadır.
- d. Prefabrike betonarme panolar ile dolgu duvar yapılması durumunda, taşıma gücünde 3-5 katı artış olmaktadır. Buradaki fark panoların çerçevelere bağlantı farklılıklarından doğmaktadır.
- e. Perdelerin kolonlarla birlikte dökülmesi durumunda, normal çerçevelere oranla taşıma gücü (15-50) katı artabilmektedir.
- f. Tersinir yüklemeler etkisi ile taşıma gücündeki azalma miktarı tüm iyileştirme sistemleri için aynıdır.

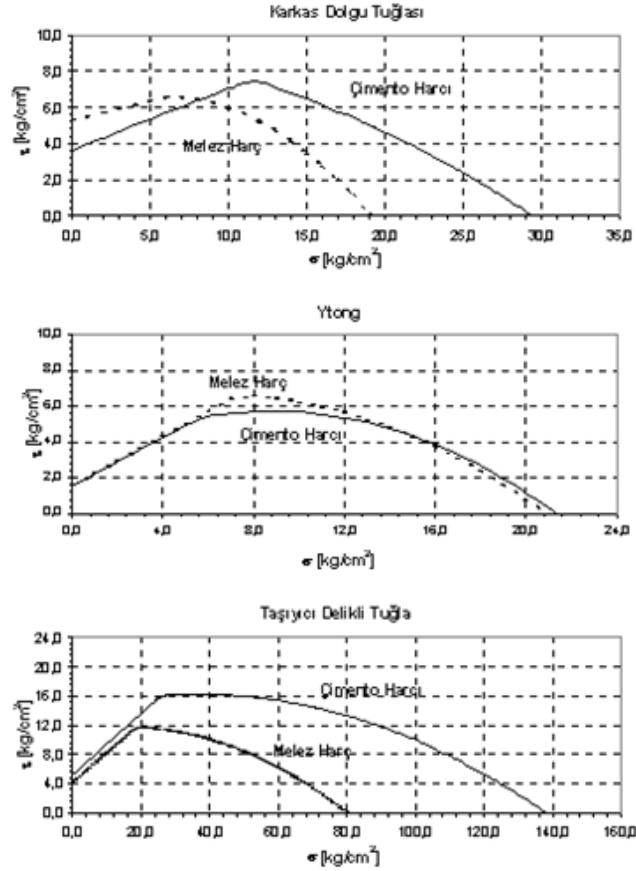


Şekil 2.23. Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon gücü üzerindeki etkileri. (Sugano. 1991) [8]

2.7. Aşağıda bölme duvarlı betonarme çerçeveler üzerinde gerçekleştirilen bazı deneysel çalışmalar anlatılmıştır [9].

Yurdumuzda kırsal kesimde üç-dört kata kadar gerçekleşebilen ve duvarların önce örülüp, betonu sonradan dökülen ve yönetmeliklerde öngörülen minimum değerlerden daha az donatısı bulunan düşey hatlı nitelikli kolonlarla ve üstlerindeki kirişlerle ya da yatay hatlılarla bütünleşmiş duvarları bulunan yapıların, depremde çok iyi davranış sergilediği görülmektedir.

İki eksenli gerilme etkisindeki bazı duvarlar için ülkemizde yapılmış deneysel bir çalışmanın sonuçlarını özetleyen şekil 2.24 deki kayma gerilmesi - normal gerilme ilişkileri incelendiğinde, duvarların bir miktar basınç altında ihmal edilemeyecek düzeyde kayma dayanımına sahip oldukları görülmektedir. Bu değerler, mevcut az katlı yapıların ortalama beton basınç dayanımları olan $100 \pm 28 \text{ kg/cm}^2$ değerinden üretilen yaklaşık kayma dayanımı 11 kg/cm^2 ile karşılaştırıldığında ihmal edilemeyecek değerlerdir.



Şekil 2.24. Duvarların kayma gerilmesi - normal gerilme ilişkileri [9]

Hesaba katılmadığı zaman yapıda burulma veya kısa kolon oluşturabilen, betonarme binalardaki bölme duvarları konusunda diğer ülkelerdeki durum incelendiğinde şu noktalar dikkat çekmektedir;

- 'Eurocode #8 Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures Bölüm 1-4' , Binaların onarım ve güçlendirilmesi bölümünde mevcut yapı periyodu olarak ölçümlenilen değerlerin kullanılabilmesi yani bölme duvarlarının yalnız kütleleriyle değil yatay rijitlikleriyle de gözönüne alınabileceği ifade edilmektedir.
- Donatısız bölme duvarı inşaa etmeme eğilimi kuvvetlidir.
- Bölme duvarlı çerçeve tanımı yapılmakta ve bölme duvarları hesaplara katılmaktadır.

Unutulmaması gereken genel bir başka özellik de, mevcut betonarme yapılarımızda esnek olan çerçevelerin eğilme deformasyonları yaptığı sırada düğüm noktaları dönerken, bunların içinde yer alan bölme duvarlarının kayma tipi şekil değiştirme yapacağı ve ileri şekil değiştirme aşamalarında bu farklılığın daha da belirginleşeceği. Bunun sonucu olarak, yatay deprem etkisinde bölme duvarı ile çerçeve elemanları arasında birbirlerine değen kesimler iki çapraz köşede sınırlı bölgede kalacak ve geri kalan kısımda çerçeve ile bölme duvarı birbirinden ayrılacaktır. Bu davranış şekli yaklaşık olarak sanal bir çift çapraz çubukla temsil edilebilmektedir.

Ülkemizde kullanılan bölme duvarlarını temsil etmek için kullanılacak bu sanal çubukların mekanik özellikleri neler olmalıdır? Bu konu yürütülen deneysel incelemenin amaçları arasında yer almaktadır.

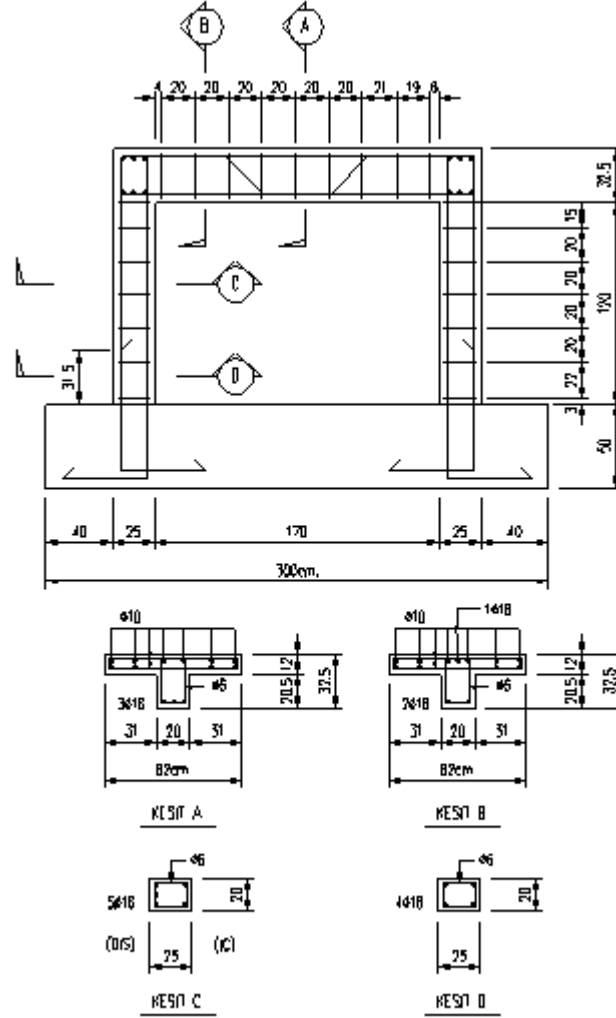
Deneysel Çalışmalar

İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında 1994 yılından bu yana devam eden deneysel çalışmalardan biri de "Bölme Duvarlı Betonarme Düzlem Çerçeve Deneyleri" dir.

Deney Numuneleri

Yaklaşık 1/2 ölçeğiyle hazırlanan bir açıklıklı tek katlı çıplak çerçeve numunelerinde açıklık ve yükseklik sırasıyla 220 cm ve 152.5 cm olup genişlik/yükseklik oranı 1.44 e karşı gelmektedir. Dikdörtgen kesitli kolonların boyutları $b / h = 20 \times 25$ cm dir. Tablalı olarak oluşturulan kirişin boyutları ise $b / h / b_t = 20 / 32.5 / 82$ cm dir. Donatı ayrıntıları şekil 2.25 de topluca yer almaktadır.

Bu numune, karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılmış standart numunedir. Kolon-kiriş birleşim bölgesi ve döşemenin de genel davranışa katkısını, gerçeğe yaklaştırabilmek amacıyla çerçeve düzlemine dik kirişlerden ve döşemeden belirli bölümler, bu numuneye katılmıştır.



Şekil 2.25. Donatı Ayrıntıları [9]

Deneyisel çalışma kapsamında; çıplak çerçeveler, değişik türde bölme duvarlı çerçeveler, çevresiyle bütünleşik bölme duvarları ve ince perdelerle güçlendirilmiş bütünleşik bölme duvarlı çerçeveler

yatay yük taşıyabilmeleri, süneklikleri ve göçme biçimlerinin gözlenebilmesi gibi amaçlarla denenmiştir.

Malzeme Özellikleri

Üretilen numunelerde BCI türü donatı ve BS16 kalitesinde beton kullanılmıştır. Bölme duvarlarının oluşturulmasında ise uygulamada yaygın olarak kullanılan boşluklu tuğlalar delikleri yatay gelecek biçimde yer almaktadır. Ortalama duvar kalınlığı 19 cm dir. Bu tür tuğlalarda deliklere dik doğrultudaki basınç dayanımı 20-40 kg/cm² düzeyindedir.

Hasarlı betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi amacıyla, bazı numunelerde, basınç dayanımı 450-500 kg/cm² düzeyinde olan yüksek dayanımlı tuğlalar da kullanılmıştır.

Bölme duvarlarının derz ve sıvalarında kum-çimento-kireç harcı kullanılmış olup, ortalama basınç dayanımı 90 kg/cm² düzeyinde gerçekleşmiştir.

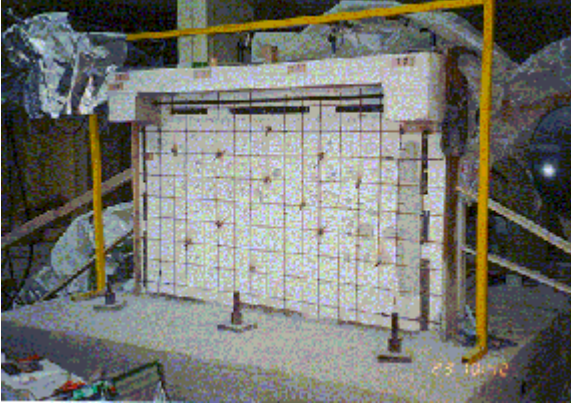
Deney Düzenegi

Yer değiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilen bu deneysel çalışmalarda, yatay yük için numunelerin bazılarında ± 25 ton yükleme kapasiteli iki yönlü hidrolik veren, bazılarında ise +50 ton kapasiteli tek yönlü hidrolik veren kullanılmıştır.

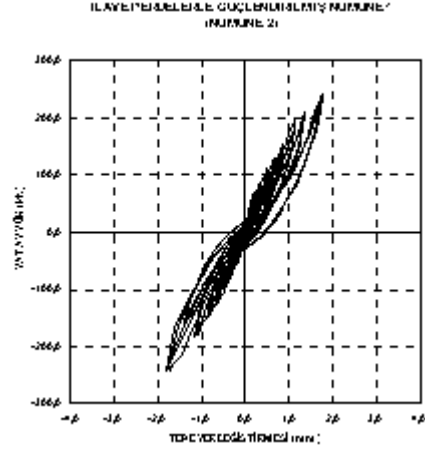
Laboratuar döşemesine, öngerme verilmiş çubuklarla bağlanan rijit bir radye temel üzerine inşa edilmiş olan numunelere yeterli sayıda ve yeterli duyarlılıkta yer değiştirme ölçer bağlanmış, görelî hareketlerin hepsi kontrol edilmiş ve tüm deneylerde benzer bir yer değiştirme dizini uygulanmıştır. Bu yer değiştirme dizini, küçük görelî yer değiştirmelerden başlayıp artmakta ve her düzeyde her iki yönde üçer kez uygulanmaktadır.

Yatay yükler etkisinde, bölme duvarları hasar görmüş çerçevelerde dört farklı güçlendirme yönteminin etkisi incelenmektedir. Bunlar,

i. Hasarlı duvarın her iki yüzüne, donatı ağı yerleştirip püskürtme beton atılarak ya da eşdeğer bir işlemle örneğin sıvanarak kalıpsız, çevre elemanlara bağlı, ince betonarme perdeler oluşturulması, Fotoğraf 2.3, Şekil 2.26.



Fotoğraf 2.3. Deney Numunesi [9]



Şekil 2.26. Yatay Yük Tepe Yerdeğiştirmesi [9]

ii. Hasarlı betonarme çerçevelerde, dörtkenara kayma kamaları ekildikten sonra çerçeve içine yüksek veya normal dayanımlı tuğla duvar örülmesi, duvarla betonarme elemanlar arasının betonla doldurulması, Fotoğraf 2.4.

iii. Hasarlı duvarın her iki yüzüne çevre elemanlara dokunmadan, karbon lifli şeritlerin yapıştırılması, Fotoğraf 2.5.



Fotoğraf 2.4. Deney Numunesi [9]

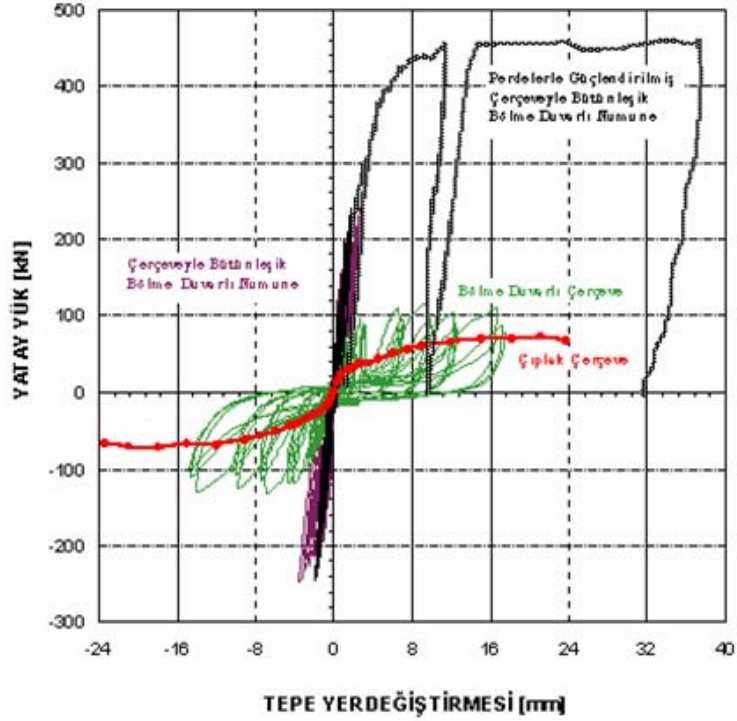
Fotoğraf 2.5. Deney Numunesi [9]

iv. Hasarlı betonarme çerçeveler içine çeşitli detaylarla fabrika örümü kayma bağlantılı donatı ağı yerleştirilip, püskürtme betonla kaplanması, Fotoğraf 2.6.



Fotoğraf 2.6. Deney Numunesi [9]

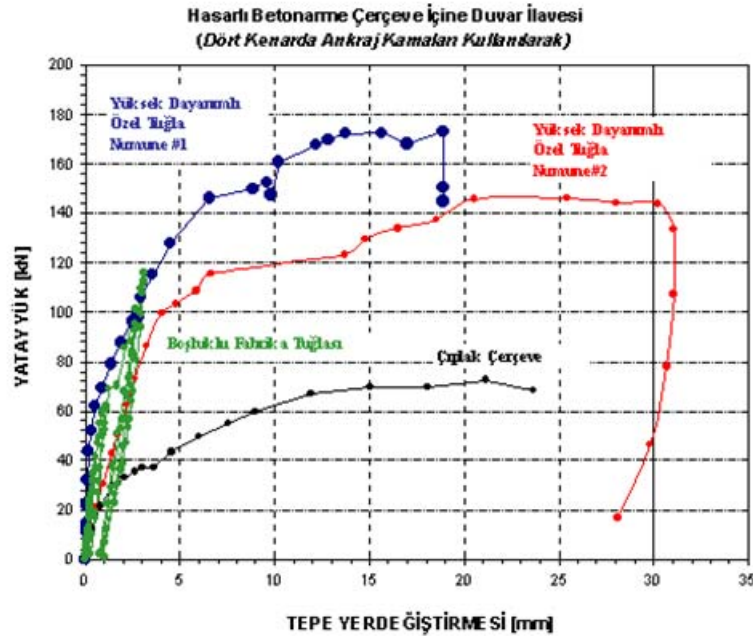
Bazı ayrıntıları yukarıda özetlenmiş bulunan bir dizi deneyin sonuçlarını bir araya getirmek üzere Şekil 2.28, Şekil 2.29 ve Şekil 2.30 da verilen diyagramlar oluşturulmuştur.



Şekil 2.27. Yatay yük - tepe yerdeğiştirmesi [9]

Şekil 2.27 de verilen yatay yük - tepe yer değiştirmesi çevrimlerinin zarfları karşılaştırıldığında ortaya çıkan sonuçlar şunlardır;

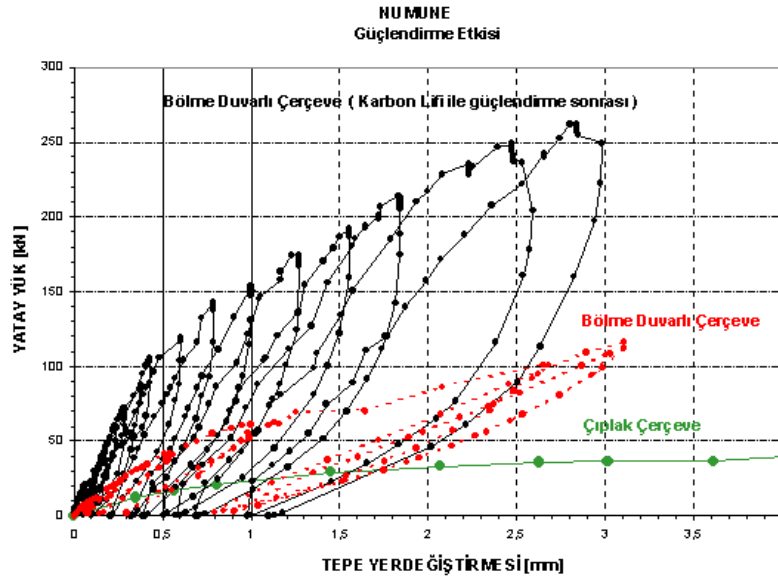
- Çıplak çerçevenin başlangıç rijitliği ve en büyük yatay yük taşıma kapasitesi, içine duvar örölmüş numunenin karşılık olan değerlerinden önemli ölçüde küçüktür.
- Bölme duvarı, çevresindeki betonarme elemanlarla bütünleşmiş numunede başlangıç rijitliği ve dayanım, bütünleşik olmayan numunelere ait karşılık gelen değerlerden çok büyüktür.
- Hasar görmüş bütünleşik bölme duvarının iki yüzünde oluşturulan ince betonarme perdeli numunenin sonuçları da rijitlik ve dayanım bakımından önceki numunelerin üstünde kalmakta ve daha büyük deplasman seviyelerinde önemli dayanım düşüşleriyle karşılaşılmamaktadır. Deney düzeneği sınırları dolayısıyla, bu deneyde ± 25 tonluk yük düzeyine kadar gerçekleştirilen iki yönlü yüklemenin ardından tek yönlü itme yapılmıştır.
- Duvar yüzeyinde yer alan hasır donatının duvarda dağılmayı tümüyle önlemiş olması ve göçmenin tabanda büyük bir kesit oluşturan ve iki kolondaki donatılar ile temele bağlanmış hasır donatının akmasıyla ortaya çıktığı gözlenmiştir.



Şekil 2.28. Hasarlı betonarme çerçeveler için yatay yük - tepe yer değiştirmesi [9]

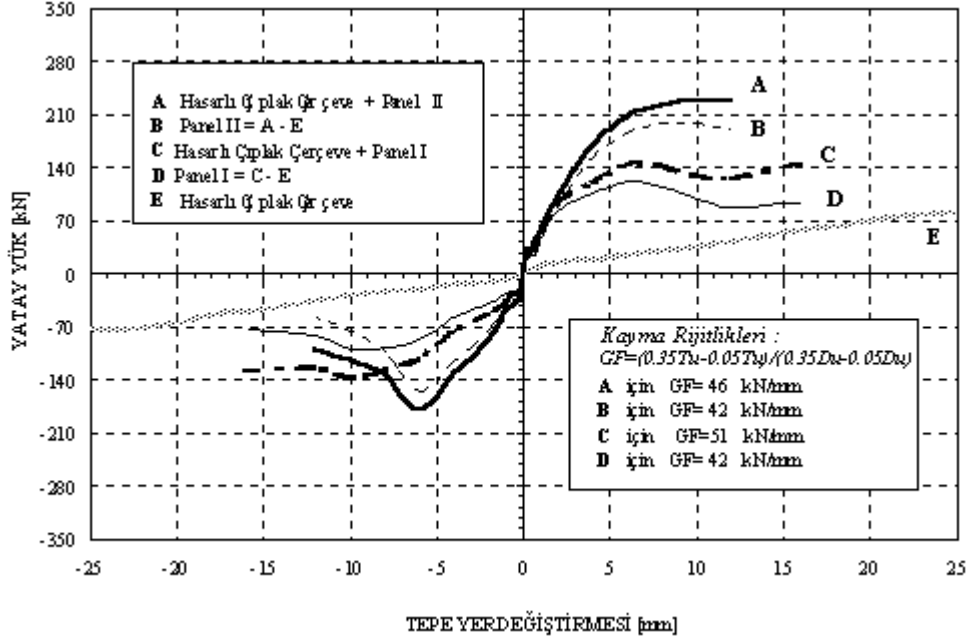
Şekil 2.28 de bir araya getirilen sonuçlar, onarılmamış hasarlı betonarme çerçevenin içine örülmüş ve onunla bütünleştirilmeğe çalışılmış üç ayrı duvarın sistem davranışına katkısını sergilemektedir. Sonuçlar çıplak çerçevenin yük-yerdeğiştirme bağıntısıyla karşılaştırıldığında;

- Her üç duvarın da önemli rijitlik ve dayanım artışı sağladığı, yeterli süneklik sergileyebildikleri görülmektedir.
- Tuğla basınç dayanım farklarının bu deneylerdeki sonuçlar üzerinde fazla etkili olmadıkları, duvar dayanımında harcın çekme dayanımının önemli rol oynadığı görülmektedir. Duvarda kırılmanın bazen tuğlayı da kesen köşegen doğrultusundaki birbirine paralel çatlaklarla ortaya çıktığı gözlenmiştir.
- Boşluklu, gevrek düşük basınç dayanımlı bölme duvarı tuğlası ile yapılan benzer deneyde ilk diyagonal çatlakların ortaya çıkmasından sonra deney durdurulmuş ve bu hasarlı numunenin her iki yüzüne çapraz doğrultularda karbon elyafı yapıştırıldıktan sonra deney yinelenmiştir. Ulaşılan yatay yük - tepe yer değiştirmesi eğrileri Şekil 14 de diğer iki eğri grubuyla karşılaştırılmıştır. Bu eğrilerden çerçeveye çeşitli yükleme ve boşaltmalar uygulandığı görülmektedir. Karbon liflerinin duvar gövdesindeki eğik çekmeyi almasından sonra hasar görmüş bölme duvarı kendini toparlayarak hem rijitlik hem çok daha yüksek yatay yük dayanımlarına ulaşmıştır. Tek yönlü olarak yapılan bu yükleme, numunenin yönü 180° döndürülüp yinelenmiş ve mevcut çatlaklar kapanarak benzer sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 2.29. Numune için yatay yük - tepe yerdeğiştirmesi [9]

Hasarlı betonarme çerçeveler içine ilave edilen fabrika örgüsü kayma bağlantılı donatı ağı durumunda ulaşılan davranış biçimleri ve standart çıplak çerçevenin davranışı topluca Şekil 2.29 de gösterilmektedir.



Şekil 2.30. Hasarlı betonarme çerçeveler içine ilave edilen fabrika örgüsü donatı ağı dolgu için yatay yük - tepe yerdeğiştirmesi [9]

Şekil 2.27, 2.28, 2.29 ve 2.30 da karşılaştırılan diyagramlar, hangi tür olursa olsun bölme duvarlı çerçevelerin çıplak çerçeveden en az iki kat daha fazla yatay yük taşıyabildiğini göstermektedir.

Bir örnek olmak üzere, alt sınırlar kullanılarak, bu miktar kabaca 15 ton olarak kabul edilirse, ½ ölçek farkı ile uygulamadaki benzer çerçevesi bir duvarın 30 ton kesme kuvveti taşıyabileceği düşünülebilir. Birbirine benzer böyle iki duvarın taşıyacağı toplam kesme kuvveti 60 ton; 600 ton ağırlığındaki bir yapının 0.10, 300 ton ağırlığındaki bir yapının ise 0.20 düzeyindeki deprem yüklemesine karşılık gelmektedir. Her katı 100 m² olan 6 veya 3 katlı bir binaya karşı gelen bu örneklerin, özen gösterilmeden ve perde kullanılmadan inşa edilmiş pek çok konut ya da işyeri tipine karşı gelebileceği görülmektedir. Başka bir deyişle, küçük binalarda her iki doğrultuda, bina büyüklüğüne ve bölgenin depremselliğine göre az sayıdaki duvarın,

- Tüm katlarda üst üste gelecek biçimde,

- Mevcut burulmayı azaltacak konumda olmak üzere seçilmesi ve taşıyıcıya dönüştürülmesi,

ve buna uygun bir temel yapılması, binanın deprem güvenliğini önemli ölçüde arttırabilecektir.

Sonuçlar

1. Deprem başlangıcında yapılar, hesaba esas alınan deprem yüklerinden daha büyüğünün etkisinde kalmaktadır. Sağlam zeminlere oturan yapılar için bu olasılık yumuşak zeminlerde oturan yapılardakinden daha yüksektir.

2. Bölme duvarlarını göz önüne almaksızın yapı davranışını gerçeğe yakın olarak kestirmek mümkün değildir.

3. Bölme duvarları güçlendirme amacıyla kullanılabilir. Özelliklerini iyileştirme yönündeki çalışmalar sürdürülmektedir.

4. Yukarıda özetlenen deneysel çalışmaların sonuçları ümit verici olmakla birlikte henüz uygulamada kullanılacak aşamaya gelinmemiştir. Bu konuda, ülkemizdeki malzeme özellikleri göz önünde tutularak üretilecek daha çok bilgiye gereksinim vardır. Deneysel ve kuramsal yeni çalışmaları gerektiren bu yöndeki araştırma girişimleri yönlendirici ve yönetici konumdaki ilgili kurumlarca öncelikle desteklenmelidir. Bu yolla yapılacak güçlendirme ile toptan göçmeyi kolayca engellemek mümkün olduğu gibi o düzeyin üzerindeki güçlendirmeler içinde çok büyük maliyet düşüşleri sağlayacak nitelikler bulundurmaktadır.

2.8. Aşağıda betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarla depreme karşı onarımı ve güçlendirilmesi ile ilgili deneysel bir çalışma anlatılmıştır [10].

Deneysel çalışma için ODTÜ'de daha önce yapılan testlerde kullanılan boyutlara sahip tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 ölçeğinde betonarme çerçeve elemanları seçilmiştir (Altın vd., 1990). Dolgulu çerçeve oluşturabilmek için kullanılan betonarme dolgu duvarların kalınlığı 50 mm olarak seçilmiştir. Her bir deney elemanı için kullanılan malzeme özellikleri, betonarme çerçeve ve dolgu duvar donatı detayları Çizelge 2.2'de özetlenmiştir. Çizelgedan görülebileceği gibi, tek numaralı elemanlar (A1, A3, A5, A7 ve A9) boş betonarme çerçeveleri temsil ederlerken, çift sayılı elemanlar (A2, A4, A6,

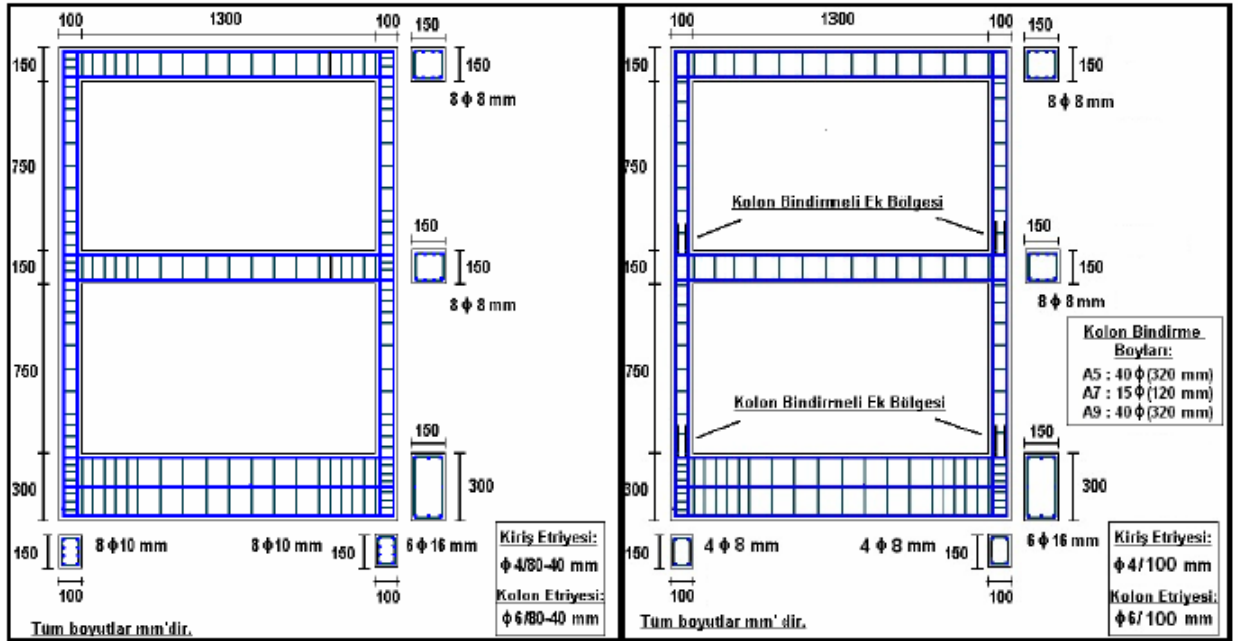
A8 ve A10) dolgu duvarlar ile rehabilite edilen dolgulu çerçeve elemanlarını temsil etmektedir. Şekil 2.31'de ODTÜ deney elemanları gibi sünek ve şartnamelere uygun imal edilmiş betonarme çerçevelerin genel boyutları ve donatı detayları verilmiştir (A1 ve A3). A5, A7 ve A9 betonarme çerçeveleri ise ülkemizdeki betonarme yapıların çoğunda rastlanılan yetersizliklere sahip zayıf çerçevelerdir. Çerçeve elemanlarının beton dayanımı düşük tutulmuş, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye kullanılmamış, çerçeve elemanlarının uç bölgeleri yeterince sargılanmamış (etriye aralığı fazla ve etriye uçları 90 derece bükülmüş), kolon boyuna donatılarındaki bindirmeli ekler kat seviyesinde ve yetersiz boy ile yapılmıştır. Bu tip çerçeve elemanlarının detayları Şekil 2.32'de gösterilmiştir. Betonarme dolgulu çerçeveler için kullanılan dolgu duvar donatı detayları ve donatı filiz detayları ise Şekil 2.33'de gösterilmiştir. Deney programında önce boş çerçeve elemanları depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yanal yükler altında test edilmiş ve hasara uğratılmıştır. Daha sonra dolgulu çerçeve oluşturabilmek için donatı filizleri nervürlü donatılardan imal edilmiş ve betonarme çerçeve kolon ve kiriş elemanlarının iç yüzeylerinde açılan deliklere özel epoksi yardımıyla yerleştirilmiştir. Dolgu duvar betonu, filizlerin hazırlanması ve duvar donatısının kalıba yerleştirilmesinden iki gün sonra dökülmüştür. Çerçeve elemanları üzerinde herhangi bir iyileştirme işlemi yapılmamıştır. Dolgu duvar donatısı, çift sıra hasır şeklinde, 6 mm çapında çelik çubukların 150 mm aralıklarla yerleştirilmesi ile hazırlanmıştır. Donatı detaylar Şekil 2.32'de gösterilmektedir. İlk iki dolgulu deney elemanı(A2 ve A4) daha önce yapılan ODTÜ deney elemanlarına benzer olarak hazırlanmıştır. ODTÜ deneylerinde dolgu duvarın hasarsız çerçeveler uygulanmasına karşın, bu çalışmada çerçevelerde ön yüklemeye bir hasar oluşturulmuş ve dolgu duvar uygulaması hasarlı çerçeveler üzerinde yapılmıştır (A10 elemanı hariç).

Çizelge 2.2. Betonarme Çerçeve Ve Dolgu Duvar Donatı Detayları

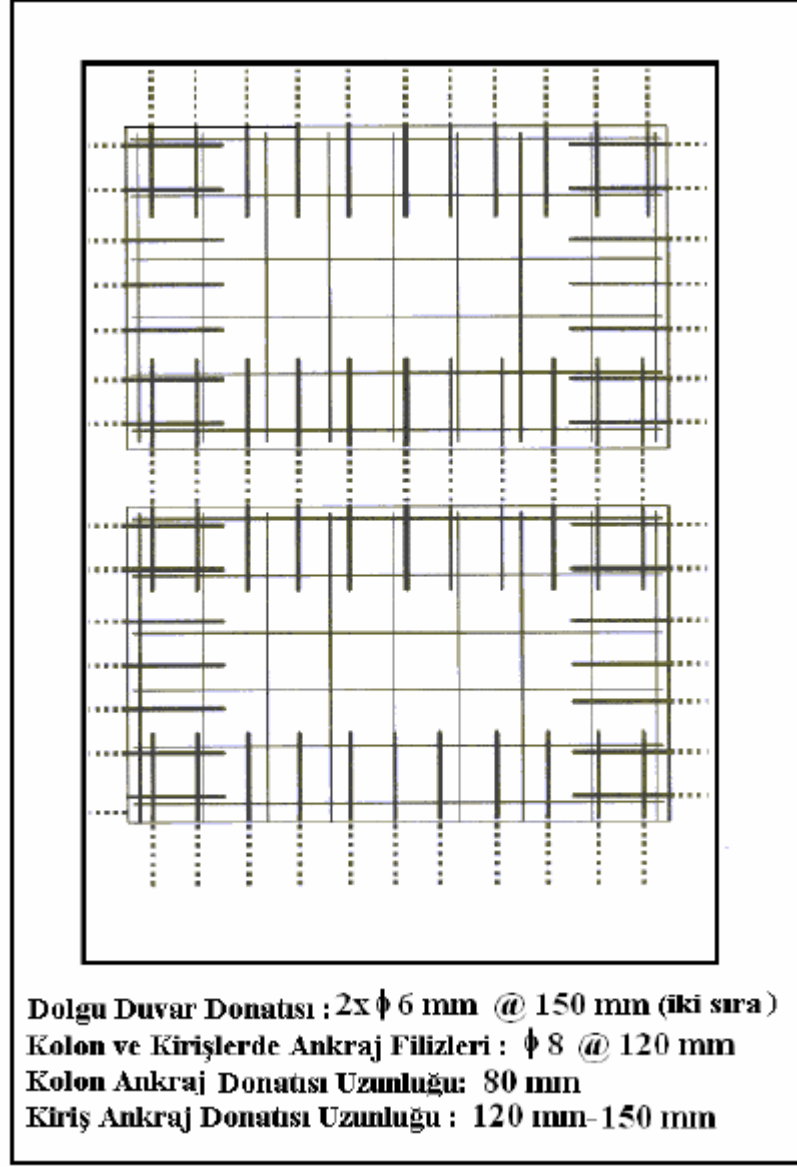
No	Eleman Tipi	Kolon Boyuna Donatısı (ρ)	Kiriş Boyuna Donatısı (ρ)	f_{ck} çerçeve (MPa)	f_{ck} dolgu (MPa)	f_{yk} Kolon Boyuna Donatısı (MPa)	f_{yk} Kiriş Boyuna Donatısı (MPa)	f_{yk} Dolgu Duvar (MPa)	Kolon Eksenel Yüğü (kN)	Kolon Bindirmeli Ek Boyları (l_b)
A1	Çerçeve	8 \varnothing 10 (0.04)	8 \varnothing 8 (0.01)	22	–	520	478	–	71	Bindirmeli Ek Yok
A2	<u>Dolgulu Çerçeve</u>	8 \varnothing 10 (0.04)	8 \varnothing 8 (0.01)	–	22	520	478	396	71	-
A3	Çerçeve	4 \varnothing 14 (0.04)	8 \varnothing 8 (0.01)	23	–	473	478	–	71	Bindirmeli Ek Yok
A4	<u>Dolgulu Çerçeve</u>	4 \varnothing 14 (0.04)	8 \varnothing 8 (0.01)	–	21	473	478	396	71	-
A5	Çerçeve	4 \varnothing 8 (0.01)	8 \varnothing 8 (0.01)	11	–	478	478	–	28	40 \varnothing (320 mm)

A6	<u>Dolgu</u> <u>Çerçeve</u>	4 Ø 8 (0.01)	8 Ø 8 (0.01)	-	26	478	478	376	28	-
A7	Çerçeve	4 Ø 8 (0.01)	8 Ø 8 (0.01)	10	-	478	478	-	28	15 Ø (120 mm)
A8	<u>Dolgu</u> <u>Çerçeve</u>	4 Ø 8 (0.01)	8 Ø 8 (0.01)	-	23	478	478	376	28	-
A9	Çerçeve	4 Ø 8 (0.01)	8 Ø 8 (0.01)	12	-	478	317	-	-	40 Ø (320 mm)
A10	<u>Dolgu</u> <u>Çerçeve</u>	4 Ø 8 (0.01)	8 Ø 8 (0.01)	-	19	478	317	376	49	-

Not: $N/N_o = 0.12$ (Tüm elemanlarda uygulanmıştır, N_o = Kolon Aksenal Yük Kapasitesi).



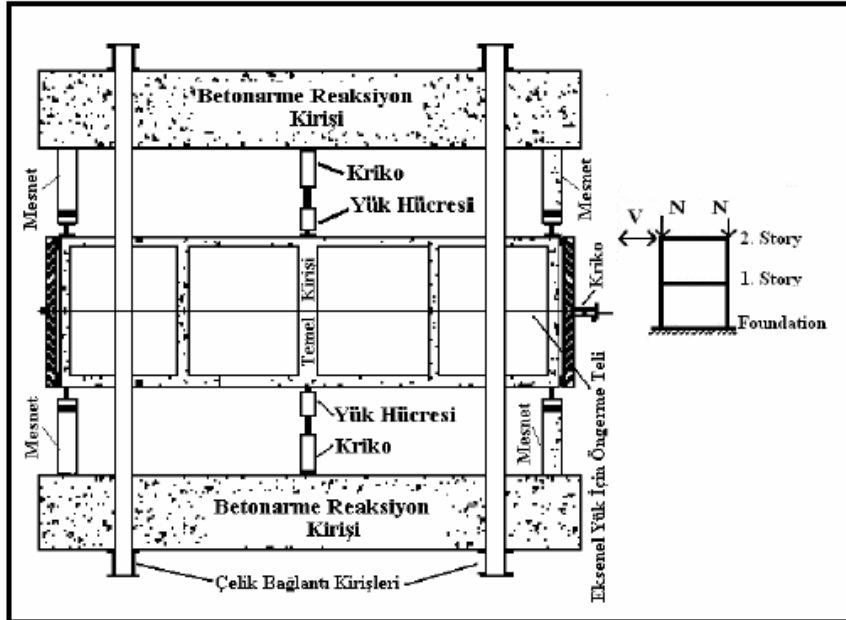
Şekil 2.31. ODTÜ Deney Elemanları



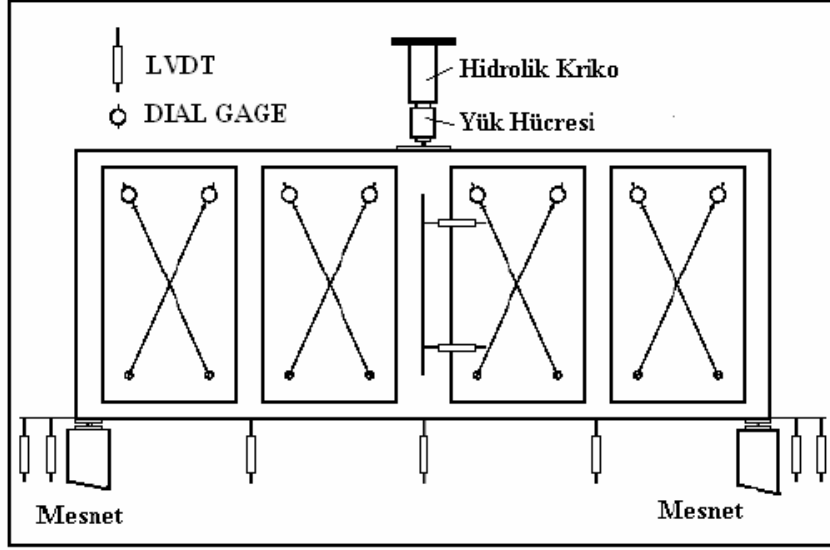
Şekil 2.32. Donatı Detayları

Deney elemanları ortak bir temel kirişine sahip, ikiz betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Bunda amaç, Şekil 2.33'de de görülebileceği üzere, yükleme düzeneğindeki simetrinin avantajlarından faydalanmaktır. Deney elemanları, iki reaksiyon kirişinin birbirine çelik putreller ile bağlanması ile oluşturulan kapalı bir yükleme çerçevesi içinde test edilmiştir. Deney elemanları ikiz çerçevelerin ikinci kat seviyelerinden mesnetlenmiş ve yanal yük elemana temel kirişi seviyesinden

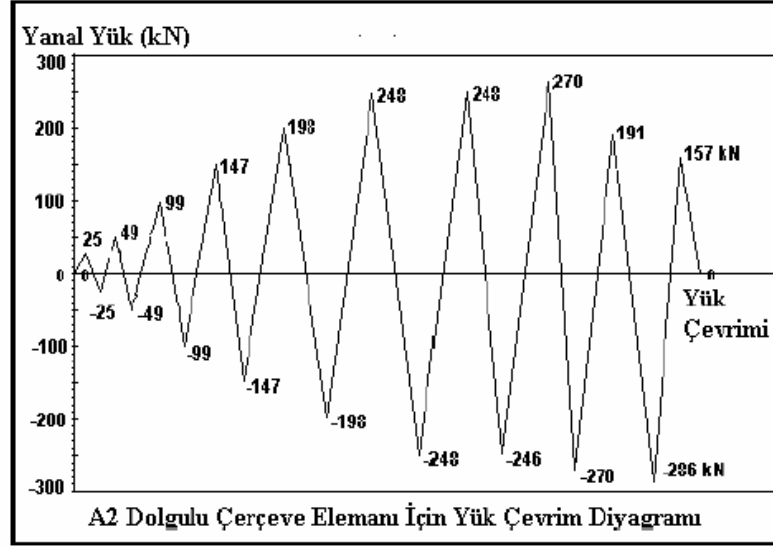
uygulanmıştır. Eksenel yükler ise öngerme kablosu, çelik reaksiyon kirişleri ve hidrolik pompa yardımıyla kolonlar üzerine etkilmiştir. Şekil 2.33'de deney düzeneği ile deney elemanı üzerine etkiyen yükler gösterilmektedir. Deney elemanı kapalı yüklemeye çerçevesi içine yerleştirildikten sonra ölçüm cihazları deney elemanı üzerine monte edilmiş ve kalibre edilmişlerdir. Her deneyde, deplasmanları, dönmeleri ve kayma deformasyonlarını ölçmek üzere, Şekil 2.34'de gösterilen ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Kolon eksenel yükleri deney süresince sabit tutulmuştur. Yanal yük artan yük adımlarıyla uygulanmıştır. Yük miktarı ve deplasmanlar elektronik olarak kayıt edilmiştir. Her test öncesinde verilecek yük adımları tespit edilmiş ve her yük adımına ulaşıldıktan sonra yük boşaltılmış ve ters yöndeki yük adımı uygulanmıştır. Birinci ve ikinci yük çevrimlerinde yük, deney elemanlarının deformasyonlarının elastik bölgede kalmasını sağlamak amacıyla düşük tutulmuştur. Daha sonra göçme oluşuncaya kadar yük adımları artarak ve tersinir tekrarlanır şekilde uygulanmıştır. Bu yük çevrimleri herhangi bir depremi simüle etmemektedir. Tipik bir yük çevrim diyagramı Şekil 2.35'de görülebilir.



Şekil 2.33. Deney Düzeneği



Şekil 2.34. Ölçüm Düzeneği



Şekil 2.35. Yük Çevrim Diyagramı

Deney sonuçları Çizelge 2.3'de özetlenmiştir. A2 ve A4 dolgulu çerçeve elemanları sünek ve şartnamelere uygun hazırlanmıştır. Bu elemanların kolonlarında herhangi bir bindirmeli ek yapılmamış, beton kalitesi iyi tutulmuş ve süneklik için gereken detaylar sağlanmıştır. A6, A8 ve A10 dolgulu deney elemanlarının çerçeveleri ülkemizde (özellikle konut/ofis türü binalarda) sıkça

rastlanan yetersizliklere sahiptir. Bu amaçla, çerçeve elemanlarının uç bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamış ve etriye uçları 90 derece bükülerek kabuk betonu içinde bırakılmış, beton dayanımı düşük tutulmuş, kolon-kirişlerin birleşimlerde sargı donatısı kullanılmamış, kolon bindirmeli ekleri kat seviyesinde ve yetersiz boy ile imal edilmiştir. Bindirmeli ek boyları 15 ila 40 çubuk çapı boyunda yapılmıştır. Bu elemanların kolonlarında kullanılan boyuna donatı miktarı, A2 ve A4 dolgulu çerçeve elemanlarının üçte biri kadardır.

Çizelge 2.3. Deney Sonuçları

Deney Elemanı	Maksimum Yanal Yük (kN)	Maksimum Yanal Yükte 2. Kat Ötelenme Oranı (%)	Maksimum Yanal Yükte 1. Kat Ötelenme Oranı (%)	Nominal Kesme Gerilmesi* (MPa)	Göçme Mekanizması
A1	33.34	2.6	3.0	$0.11\sqrt{f_{ck}}$	Kolonlarda Mekanizma Oluşması
<u>A2</u>	286.36	1.0	0.8	$0.99\sqrt{f_{ck}}$	Eğilme + Eğik Çatlama
A3	34.12	2.0	3.6	$0.11\sqrt{f_{ck}}$	Kolonlarda Mekanizma Oluşması
<u>A4</u>	310.88	0.6	0.6	$1.13\sqrt{f_{ck}}$	Eğilme + Ankraj Sıyrılması
A5	13.53	1.3	1.6	$0.06\sqrt{f_{ck}}$	Kolonlarda Mekanizma Oluşması
<u>A6</u>	137.29	0.8	0.6	$0.45\sqrt{f_{ck}}$	Eğilme + Ankraj Sıyrılması
A7	11.76	1.0	1.4	$0.06\sqrt{f_{ck}}$	Kolonlarda Mekanizma Oluşması
<u>A8</u>	98.07	0.1	0.2	$0.33\sqrt{f_{ck}}$	Eğilme + Ankraj Sıyrılması
A9	-	-	-	-	-
<u>A10</u>	180.44	0.4	0.5	$0.68\sqrt{f_{ck}}$	Eğilme + Ankraj Sıyrılması

*Dolgulu Çerçeveler için nominal kayma gerilmesi $\approx V_{maks} / (0.8 \times 1500 \text{ mm} \times 50 \text{ mm})$ olarak hesaplanmıştır.

Deney elemanlarının yanal dayanımları Çizelge 2.4'de özetlenmiştir. Dayanım değerleri dolgu duvar eklenmesi ile oluşan dayanım artışını açıkça göstermektedir. Dalgulu çerçeve yanal dayanımının,

boş çerçeve yanal dayanımına oranla 9 ile 14 kat daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Bu araştırmada denenen hasarsız çerçeveye sahip tek dolgulu çerçeve A10 dolgulu çerçevesidir. Bu çerçevenin yanal dayanımı, benzer ama hasarlı çerçeveye sahip deney elemanından (A6) yaklaşık % 30 daha fazladır.

Çizelge 2.4. Deney Elemanlarının Yanal Dayanımları

Deney Eleman No:	Deney Eleman Tipi	Maksimum Yanal Dayanım V_{max} (kN)	$\frac{V_{max} \text{ Dolgulu Çerçeve}}{V_{max} \text{ Boş Çerçeve}}$
A1	Boş Çerçeve	33	8.7
<u>A2</u>	Dolgulu Çerçeve	286	
A3	Boş Çerçeve	34	9.1
<u>A4</u>	<u>Dolgulu Çerçeve</u>	310	
A5	Boş Çerçeve	13	10.5
<u>A6</u>	<u>Dolgulu Çerçeve</u>	137	
A7	Boş Çerçeve	11	8.9
<u>A8</u>	<u>Dolgulu Çerçeve</u>	98	
A9*	Hasarsız Çerçeve (A5 çerçevesi ile aynı)	13	13.8
<u>A10</u>	<u>Dolgulu Çerçeve</u>	180	

Deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle aşağıda sıralanan bulgulara ulaşılmıştır:

- Hasarlı boş çerçevelere betonarme dolgu duvarlar eklenmesiyle oluşturulan dolgulu çerçevelerin yanal dayanımı, boş çerçeveye göre önemli oranda artırmıştır. Bu artışın 9 ile 14 kat arasında olduğu gözlemlenmiştir. Bu artış oranı ağır hasar görmüş çerçevelere sahip dolgu duvarlı elemanlarda oluşmuştur.
- Dolgu duvar eklenmesi, dolgulu çerçeve yanal rijitliğinde, boş çerçeveye oranla 13 ile 24 kat arasında artış sağlamıştır.
- Kolon boyuna donatı oranının, dolgulu çerçevenin eğilme kapasitesi üzerinde önemli katkısı vardır.

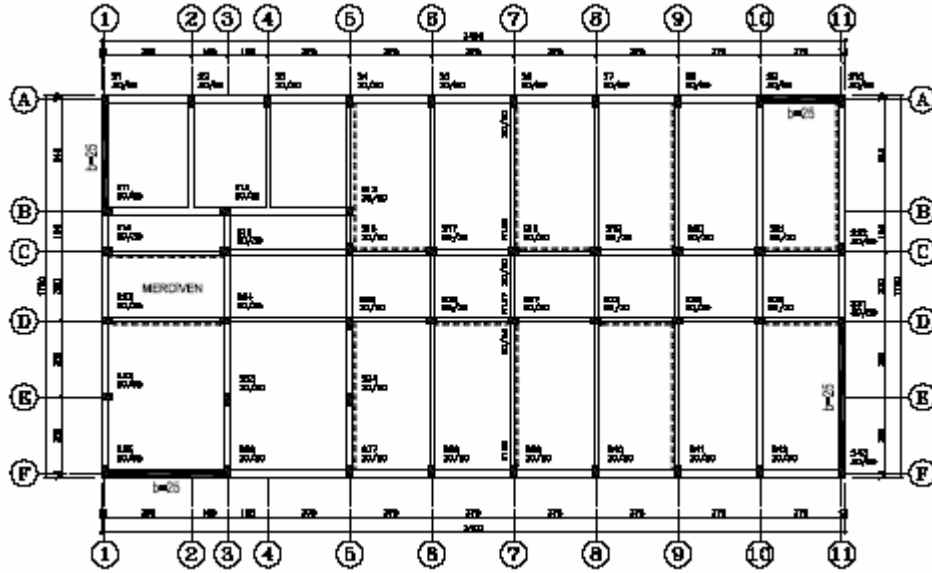
- Çerçevenin beton dayanımının, dolgulu çerçeve dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmamakla birlikte, beton kalitesi çerçeveye ekilen donatı filizlerinin performansını önemli ölçüde etkilemektedir.
- Özellikle kat seviyesinde oluşturulan ve yetersiz bindirme boyuna sahip kolon boyuna donatıları, artan moment ve tersinir-tekrarlanır yük etkisi ile fonksiyonlarını gereği gibi yerine getirememekte ve bunun sonucu çerçeveyi dolgu duvarına bağlayan ankraj donatıları akma kapasitesine erişmeden betondan sıyrılmaktadır. ODTÜ'de yapılan bir deneysel çalışmada bu tür bir erken göçmeyi engellemek için, kolon bindirme bölgesinde uygulanan çelik kolon mantolamasının dayanım ve davranışı oldukça iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Sonuvar, 2001).
- Çerçeve elemanlarına ekilen donatı filizlerinin performansı, işçilik ve malzeme kalitesi ile doğrudan ilgilidir ve bu konularda yapım sırasında gereken özen gösterilmelidir.

2.9. Aşağıda güçlendirilmiş 3 katlı betonarme okul binasının doğrusal elastik yöntem (eşdeğer deprem yükü) ile değerlendirilmesi anlatılmıştır [11].

Güçlendirilmiş 3 katlı betonarme okul binası incelenmiştir. Mevcut bina çerçeve sisteminden oluşmaktadır. Güçlendirme imalatı sırasında binanın kullanımını engellemek için dıştan her iki doğrultuda ikişer adet güçlendirme perdesi eklenmiş, uygun olan iç çerçevelerde ise boşluklu fabrika tuğlasından imal edilmiş mevcut dolgu duvarlar hasır çelik donatılı siva ile güçlendirilerek sistem iyileştirilmiştir. Güçlendirilen dolgu duvarlar aşağıdaki kalıp planında kesik çizgilerle gösterilmektedir. Çerçeve sistemi, uzun doğrultuda (X-doğrultusu) 6 akstan, kısa doğrultuda (Y-doğrultusu) ise 11 akstan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri 3.2 m, kat alanı ise 595 m²'dir. Tipik kat planı aşağıda verilmektedir. Döşeme kalınlığı 10 cm'dir.



Fotoğraf 2.7. Okul Binasının Önden Görünüşü

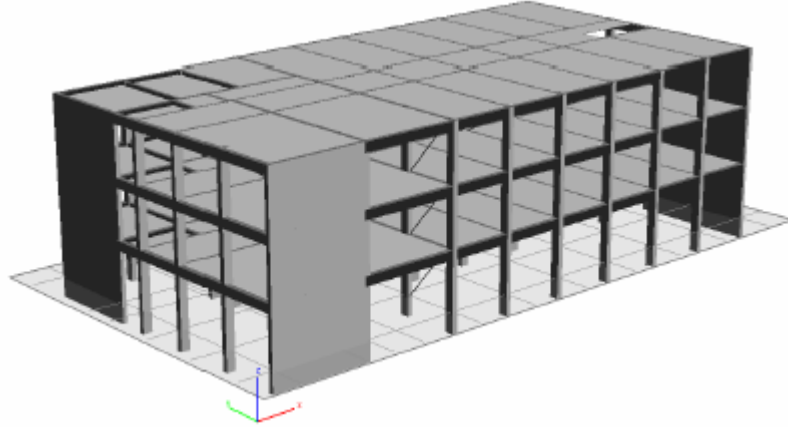


Şekil 2.36. Tipik Kat Güçlendirilmiş Taşıyıcı Sistem Planı

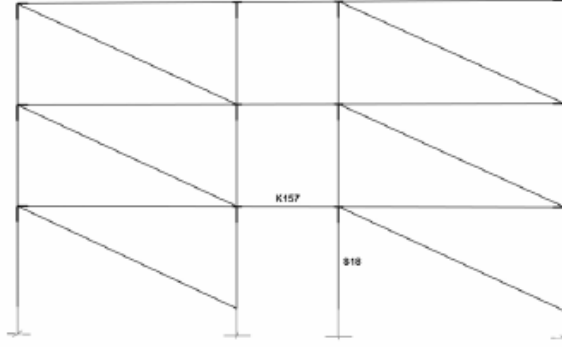
Tüm kolonlar 30x50 cm boyutlarındadır. C ve D aksı üzerinde yer alan kirişler 20x50 cm, diğer tüm X-yönü kirişleri 30x50 cm boyutlarındadır. 1, 3, 5 ve 11 aksları üzerinde yer alan kirişler 30x50 cm, diğer tüm Y-yönü kirişleri 20x50 cm boyutlarına sahiptir. Güçlendirme perdeleri 25 cm kalınlığa sahiptir. Bu perdeler binanın dışında X-doğrultusunda F/1-3 ve A/10-11 aksları arasında, Y-doğrultusunda ise A/A-B ve 11/D-F aksları arasındadır. Perdeler tüm katlar boyunca devam etmektedir. Yukarıdaki şekilde kesik çizgilerle gösterilen dolgu duvarlar bir yüzeyine uygulanan 4 cm kalınlıkta hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmiştir. Kolon ve kiriş boyutları her katta aynıdır.

Çizelge 2.5. Mevcut Yapının Özellikleri

Mevcut Yapının Özellikleri		2006 Deprem Yönetmeliği Parametreleri	
Binanın Projesi (Var / Yok):	Yok	Deprem bölgesi:	1
Bilgi Düzeyi:	Orta	Deprem bölge katsayısı:	0.40
Bilgi Düzeyi Katsayısı:	0.90	Bina önem katsayısı:	1.0
Donatı Gerçekleşme Katsayısı:	1	Zemin cinsi:	Z2
Mevcut Beton Dayanımı (Ortalama – Standart Sapma):	16 MPa	Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n): 0.3	
Mevcut çelik dayanımı (Ortalama – Standart Sapma):	420 MPa		
Hedeflenen Performans Düzeyi: Can Güvenliği (50 yılda %2), Hemen Kullanım (50 yılda %50)			



Şekil 2.37. 3 Boyutlu Model



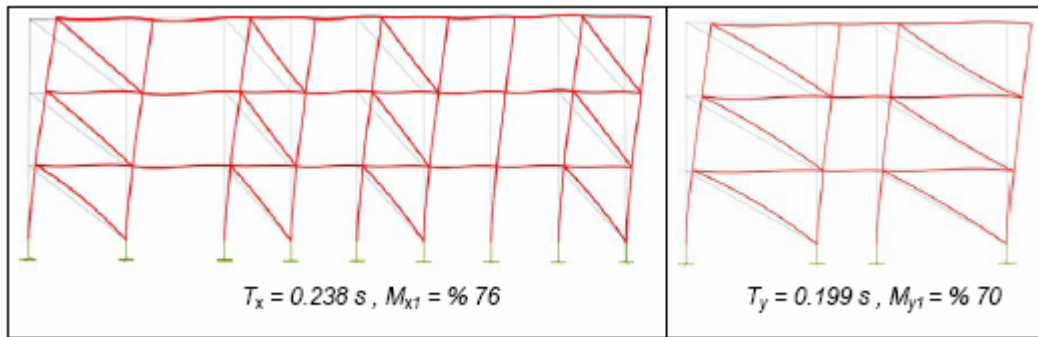
Şekil 2.38. 7- çerçevesi, rijit uç bölgeleri, örnek kolon ve kiriş

Kat kütleleri, kütle merkezinin koordinatları ve kütle atalet momentleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.6. Kat Kütleleri, Kütle Merkezinin Koordinatları Ve Kütle Atalet Momentleri

Kat	Kütle (t)	Kütle Merkezi Koordinatları		Kütle Atalet Momenti (tm ²)
		X (m)	Y (m)	
1	738.88	24.57	14.34	64827.464
2	738.88	24.57	14.34	64939.235
3	738.19	24.56	14.34	64939.235

Binanın doğrusal elastik hesap yöntemiyle değerlendirilmesinde çatlamaş kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Beton elastisite modülü $E_c = 27,000$ MPa olarak alınmıştır.



Şekil 2.39. X ve Y Doğrultusu Doğal Titreşim Periyodları, Mod Şekilleri ve 1.Moda Ait Etkin Kütle Katılım Oranları

Binanın X ve Y Doğrultusu 1.Doğal Titreşim Periyodunun Kontrolü

Binanın 1. doğal titreşim periyodunun 2006 Deprem Yönetmeliği Denklem 2.11'e göre kontrolü:

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \rightarrow T_{x1}, T_{y1}$$

$$T_{x1} = 2\pi \left(\frac{(738.88 \times 0.006653^2) + (738.88 \times 0.017076^2) + (738.19 \times 0.027612^2)}{(4517.59 \times 0.006653) + (9035.178 \times 0.017076) + (14163.769 \times 0.027612)} \right)^{1/2} = 0.236 \text{ s}$$

$$T_{y1} = 2\pi \left(\frac{(738.88 \times 0.004688^2) + (738.88 \times 0.01166^2) + (738.19 \times 0.018602^2)}{(4517.59 \times 0.004688) + (9035.178 \times 0.01166) + (14163.769 \times 0.018602)} \right)^{1/2} = 0.194 \text{ s}$$

Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı

X ve Y doğrultusu için taban kesme kuvvetinin hesabı :

$V_t = \lambda W A(T_1) / R_a(T_1)$, $A(T_1) = A_o I S(T_1)$, $R_a(T_1) = 1$, $I = 1$, $A_o = 0.4$ alınacaktır.

$W = 21738.46 \text{ kN'dur.}$

$S(T_1)$, $T_x = 0.236 \text{ s}$ ve $T_y = 0.194 \text{ s}$ için 2.5g'dir.

Ancak, örnek bina okul binası olduğundan, 2006 Deprem Yönetmeliği Çizelge 7.7'ye göre "**Can Güvenliği Performans Seviyesi (CG)**" için analiz edilirken $S(T_1) = 1.5 \times 2.5g = 3.75g$ alınacaktır, "**Hemen Kullanım Performans Seviyesi (HK)**" için analiz edilirken ise $S(T_1) = 0.5 \times 2.5g = 1.25g$ alınacaktır.

Buradan CG için $A(T_1) = 3.75g \times 0.4 = 1.5g$, HK için de $A(T_1) = 1.25g \times 0.4 = 0.5g$ hesaplanır.

$\lambda = 0.85$, CG için $V_t = 27716.5 \text{ kN}$, HK için $V_t = 9238.8 \text{ kN}$ olarak hesaplanır.

CG için $\Delta FN = 0.0075 N$ $V_t = 0.0075 \times 3 \times 27716.5 = 623.62 \text{ kN}$,

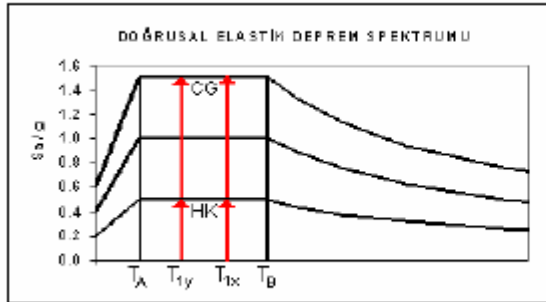
HK için $\Delta FN = 0.0075 N$ $V_t = 0.0075 \times 4 \times 15888.3 = 207.87 \text{ kN}$ olarak hesaplanır.

Çizelge 2.7. X ve Y Doğrultusu için Taban Kesme Kuvvetinin Katlara Göre Dağılımı

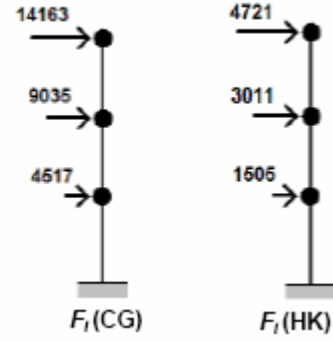
Kat	Kat Ağırlıkları (W _i) (kN)	Kat Yüksekliği (m)	H _i (m)	W _i H _i (kNm)	F _i (CG) (kN)	F _i (HK) (kN)
3	7241.6	3.2	9.6	69519.4	14163.8	4721.1
2	7248.4	3.2	6.4	46389.8	9035.2	3011.7
1	7248.4	3.2	3.2	23194.9	4517.6	1505.8

$$F_{\beta} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j}$$

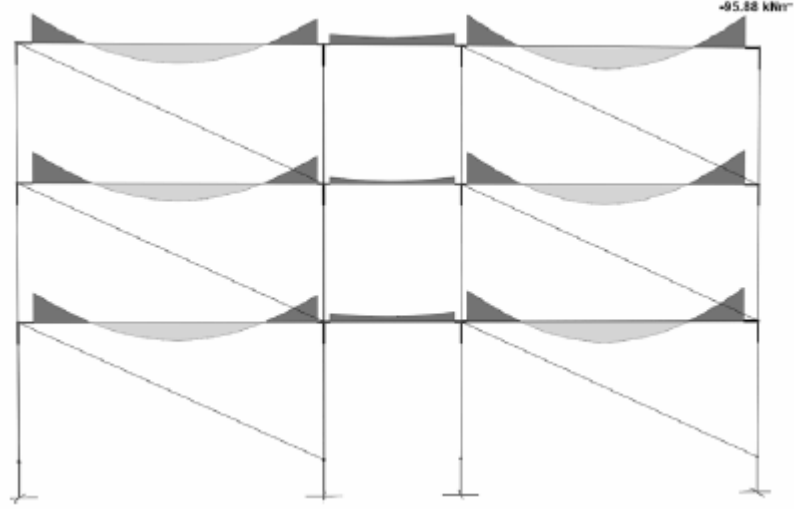
$$F_i = F_{\beta} (V_i - \Delta F_N)$$



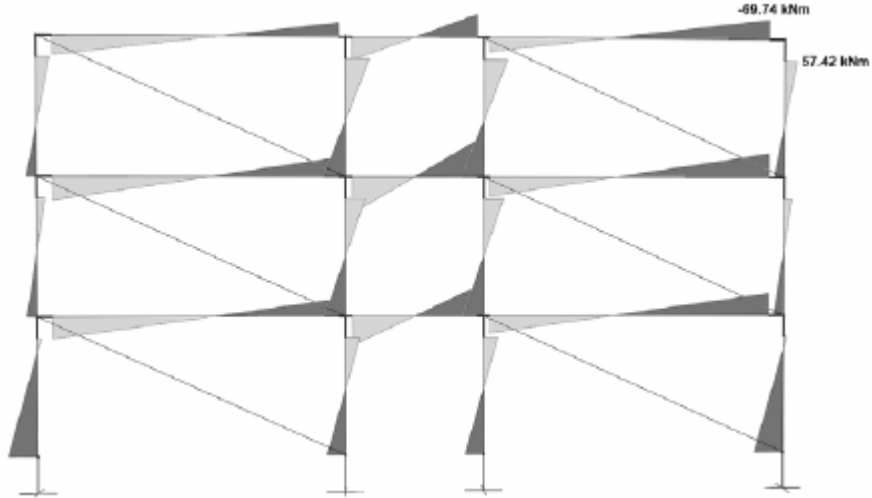
$$T_A = 0.15 \text{ s}, T_B = 0.4 \text{ s}, T_{1x} = 0.236 \text{ s}, T_{1y} = 0.194 \text{ s}$$



Binanın Düşey Yükler (G+0.3Q) ve Yatay Yükler (E) Altında Analizi



Şekil 2.40. 7-Çerçevesinin Düşey Yük Moment Diyagramı (Md)



Şekil 2.41. 7-Çerçevesinin CG Performans Seviyesi İçin Hesaplanan Deprem Yüklemesinden Elde Edilen Yatay Yük Moment Diyagramı (Me)

- Binanın yatay yükler altındaki analizinde ek dışmerkezlik uygulanmamıştır.
- η_b kontrolü: Her katta X ve Y doğrultusunda $\eta_b < 1.4$ koşulu sağlanmaktadır.

Güçlendirilmiş Dolgu Duvar Kapasite Hesabı

SK116 Güçlendirilmiş Dolgu Duvarının Eksenel Yük Kapasitesi Değerinin Hesabı

Güçlendirilmiş dolgu duvarın analitik karşılığı olan “Eşdeğer Basınç Çubuğu”na ait rijitlik ve kapasite değerleri 2006 Deprem Yönetmeliği Denklem 7.12, 7.13, 7.14, 7.15 ve 7.16'ya göre hesaplanacaktır.

Duvar Açıklığı (l) = 6990 mm, Duvar Yüksekliği (hd) = 3200 mm olarak düşünülürse,

Basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı $\theta = \arctan\left(\frac{hd}{l}\right) = \arctan\left(\frac{2700}{6490}\right) = 22.59^\circ$ olarak bulunur.

Basınç çubuğunun diyagonal uzunluğu, $r_d = \sqrt{6490^2 + 2700^2} = 7029.23$ mm olarak hesaplanır.

$$\lambda = \left[\frac{Ed * td * \sin 2\theta}{4 * Ec * Ik * hd} \right]^{1/4} = \left[\frac{2465 * 230 * \sin(2 * 22.59^\circ)}{4 * 27000 * 312500000 * 2700} \right]^{1/4} = 0.00082$$

E_d dolgu duvar malzemesinin elastisite modülü (2465 Mpa),

t_d güçlendirilmiş dolgu duvar kalınlığı (19 cm + 4 cm)

I_k , kolon atalet momenti (3125000000 mm⁴)

E_c ise çerçeve elemanlarının elastisite modülü değeridir.

“Eşdeğer Basınç Çubuğu”nun etkili derinliği,

$$a_d = 0.175 * (\lambda * hk)^{-0.4} * rd = 0.175 * (0.00082 * 2700)^{-0.4} * 7029.23 = 895.10$$
 mm olacaktır.

Eşdeğer Basınç Çubuğu'nun eksenel rijitliği,

$$k_d = \frac{a_d * t_d * E_d}{r_d} = \frac{895.10 * 230 * 2465}{7029.23} = 72195.24$$
 N/mm olarak hesaplanır.

Güçlendirilmiş Dolgu Duvarın, Plan alanı, $A_d = 6990 \times 230 = 1607700 \text{ mm}^2$,

Kayma Gerilmesi Dayanımı, $\tau_d = 0.211 \text{ MPa}$,

Basınç Gerilmesi Dayanımı $f_d = 1.695 \text{ MPa}$ 'dır.

Hasır donatının akma dayanımı $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$, yatay donatı oranı ise $\rho_{sh} = 0.002$ 'dir.

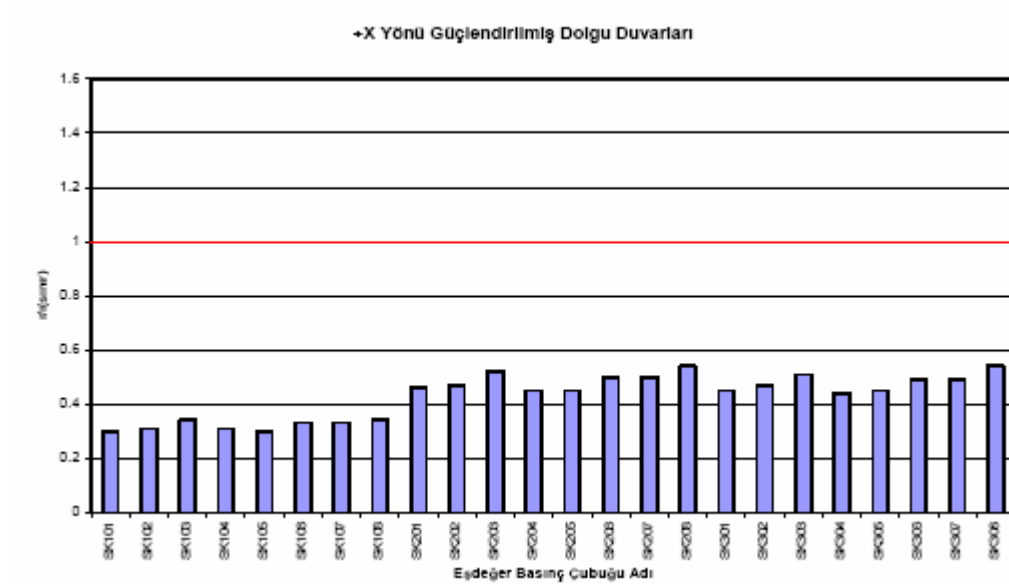
$$V_d = A_d(\tau_d + f_{yd}\rho_{sh}) \leq 0.22A_d f_d \Rightarrow V_d = 1492700 * (0.211 + 435 * 0.00057) = 685070 \text{ N}$$

$$0.22A_d f_d = 0.22 * 1492700 * 1.695 = 556600 \text{ N}$$

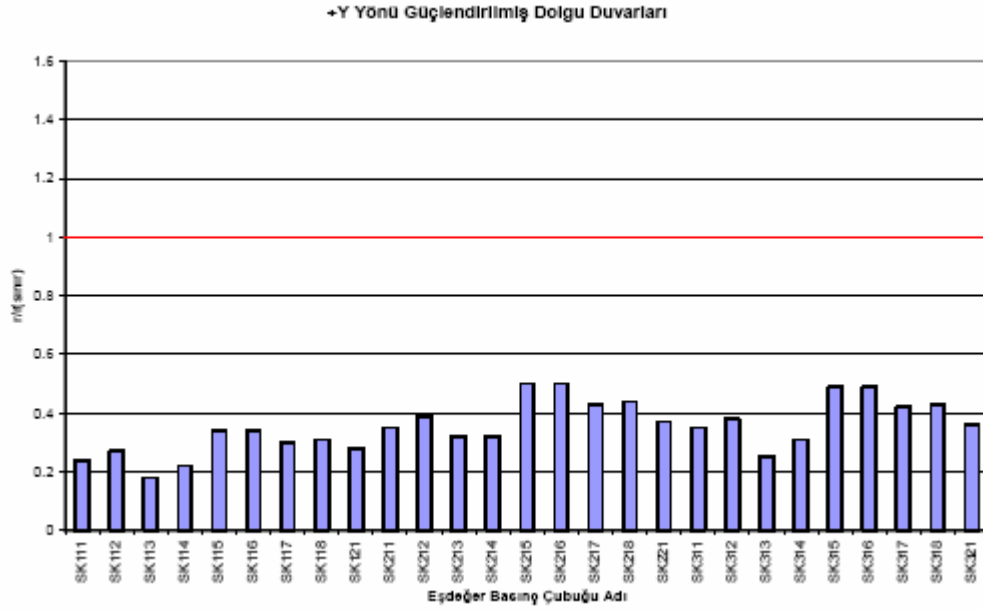
$556600 < 685070$ olduğu için $V_d = 556600 \text{ N}$ olarak hesaplanmış olur.

Eşdeğer Basınç Çubuğu'nun kesme kapasitesi, aksenal yük kapasitesinin yatay bileşeni olduğundan,

$$N_d = \frac{V_d}{\cos \theta} = \frac{556600}{\cos 22.59^\circ} = 602.85 \text{ kN} \text{ bulunur.}$$



Şekil 2.42. Güçlendirilmiş Dolgu Duvarların “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri (rsınır)” İle Karşılaştırılması



Şekil 2.43. Güçlendirilmiş Dolgu Duvarların “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri (r_sınır)” İle Karşılaştırılması

2.10. Aşağıda Denizli Eski SSK Hastanesi'nin dolgu duvar takviyesi ile güçlendirilmesi anlatılmıştır [12].

Yapılan bu çalışmada modellemede örnek bir yapı ele alınmıştır. İncelenen yapıda kolon ve kirişlerde yapılan donatı tespiti ile doğrusal ötesi davranış dikkate alınarak gerekli plastik mafsallar oluşturulmuştur. Dolgu duvarlar ise yeni deprem yönetmeliğinde yer alan koşullara göre çapraz elemanlar olarak modellenmiş ve dayanımlarına göre eksenel yük mafsalları oluşturulmuştur. Yapılan analizlerle yetersizliği ortaya koyulan yapıda, dolgu duvarların güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Hasır donatılı beton tabakası ile takviye edilmiş duvarlarda, yeni yönetmelik koşulları esas alınarak, doğrusal olmayan analizle değerlendirilmiştir. Dolgu duvarların ve takviyeli dolgu duvarların katkıları ortaya koyulmuştur. Çalışmada, yalnız çerçeve, normal duvarlı çerçeve ve takviyeli duvarlı çerçeve sistemleri modellenerek, mevcut ve güçlendirilmiş duvarların sisteme katkısı belirlenmiştir. Normal duvarların 4 kata kadar güçlendirilmiş duvarların ise 6 kata yakın rijitlik artışına neden oldukları, takviyeli ve mevcut duvar katkısı ile sistem performansının iyileştiği görülmüştür. Bu çalışma sonucunda duvarların sadece bir ayırıcı eleman olarak değil, taşıyıcı

olarak da önem arz ettikleri, güçlendirilerek kapasitelerinin artırıldığında ucuz ve etkili bir güçlendirme yolu olduğu belirlenmiştir.

İncelenen Bina

Sağlık Bakanlığı, Denizli Eski SSK Hastanesi, B Bloku mevcut durumu, değerlendirilmek üzere yerinde yapılan test, ölçüm ve tespitler ile sonradan yapılan analizlere göre deprem bakımından değerlendirilmiştir.



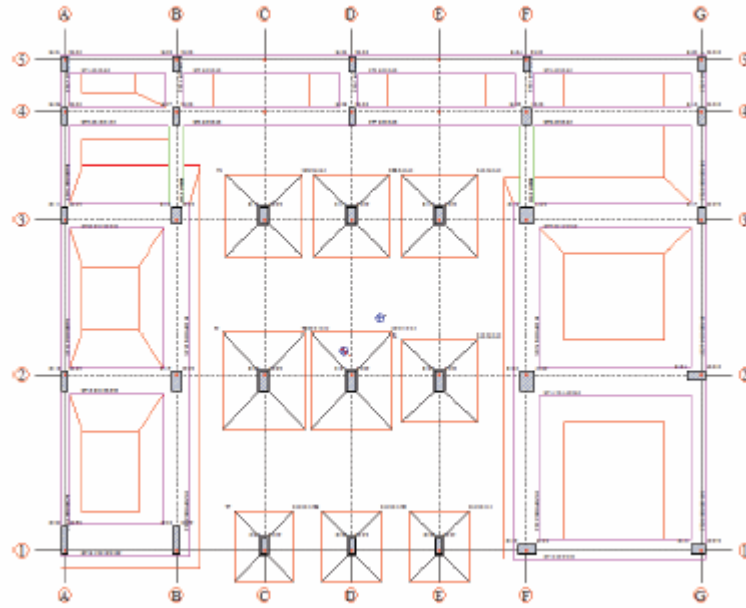
Fotoğraf 2.8. İncelenen Bina Görünüşü



Fotoğraf 2.9. İncelenen Bina Görünüşü

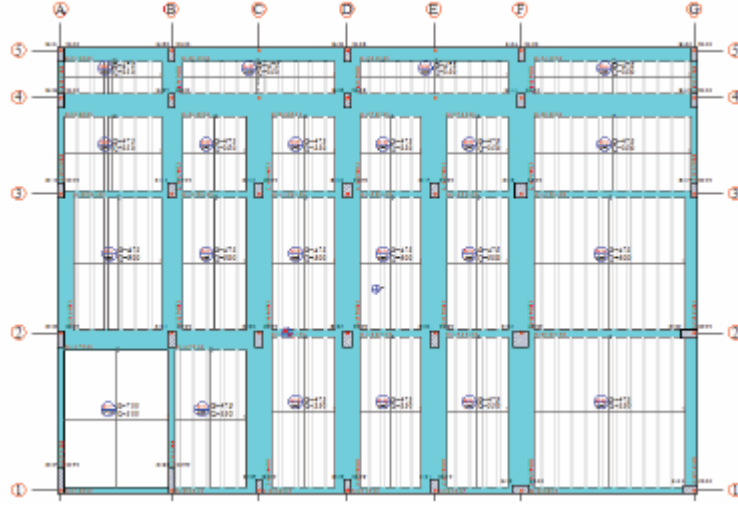
Bodrum, zemin, 1 ve 2 olmak üzere toplam 4 kattan oluşan Eski SSK Hastanesi B Bloкта, yerinde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Yapıda uygulanan temel tipi ve boyutlarının araştırılması için yapının uygun olan köşesinden kazı yapılarak temeller açığa çıkartılmıştır. Temellerin geometrik bakımından boyutları ve tipi tespit edilmiştir. Elde bulunan projelerden de yararlanılarak temel sistemi Şekil 2.44'deki gibi modellenmiştir. Analizler sonucunda temel altında oluşan zemin gerilemelerinin çok fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle zeminin, çimento enjeksiyonu ile güçlendirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 2.44. B Bloкта uygulanan temel planı

Çalışma kapsamında incelenen yapının, taşıyıcı sistem eleman boyutları yerinde tespit edilmiştir. Kolon yüzeylerinde pas payının kaldırılması suretiyle donatılar açığa çıkartılmış ve bu noktalarda donatıların konum, miktar ve çaplarına ilişkin ölçümler yapılmıştır (Şekil 2.45). Ayrıca donatı tespit cihazı kullanılarak donatıların durumlarına ait bilgiler edinilmiştir. Yapının 1. katında kolonlarda tespit edilen donatı oranı %0,85'dir. Zemin kat ve bodrum katta bu oran %0,8 - %2,73 arasında değişmektedir. Etriye aralıklarının 20~25 cm, çaplarının $\Phi 6-8$ olduğu, kancalarının ise 900 uygulandığı tespit edilmiştir. Sistemde sargılama etkisi oluşturacak sıkılaştırma ve donatı düzeni bulunmamaktadır. Bu durumun sistem sünekliliğini düşüren en önemli nedenlerden biridir.



Şekil 2.45. Bodrum Kat Planı

İncelenen yapıda, düşey taşıyıcı elemanlardan (kolonlardan) test çekici ve karot alma yöntemi ile beton kalitesi tayin edilmiştir. Karot deney sonuçları; karot alınan noktalarda yapılan tahripsiz yöntem sonuçları ile karşılaştırılarak kullanılan tahribatsız yöntemin kalibrasyonu sağlanmıştır. Bu veriler irdelenerek beton dayanımı 109 kgf/cm² olarak belirlenmiştir.

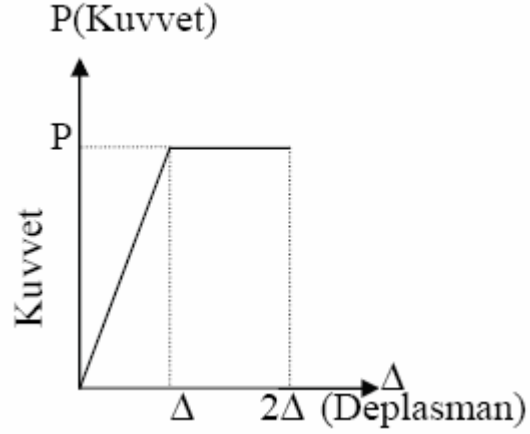
Mevcut Ve Güçlendirilmiş Durum Analiz Sonuçları

Modelleme Esasları

Tüm analizlerde statik itme yöntemi kullanılmıştır. Tespit edilmiş olan donatı durumlarına göre kiriş ve kolonlarda dayanım ve süneklik değerleri hesaplanarak plastik mafsallar teşkil edilmiştir. Mevcut duvarlardaki eksenel yük mafsallarının sünekliği ikinci bölümdeki literatürden yararlanarak 2 alınmıştır. Akma boyunca dayanımda değişiklik olmayacağı yaklaşımıyla hareket edilmiştir. Buna göre örnek bir eksenel yük mafsalı Şekil 2.46'da gösterilmiştir. Takviyeli duvarlar, tek taraftan ϕ 6,5 yatay ve düşeyde 15 cm aralıklı hasır donatı ve 10 cm kalınlıkta C20 betonu kullanılarak oluşturulmuştur. DBYBHY 2006'da belirtilen şartlar esas alınmıştır.

Eksenel yük çubuk boyunca sabittir. Hemen kullanım, can güvenliği ve göçme önlenmesi noktaları için plastik kapasitenin sırasıyla %10-%60- %90'nının kullanıldığı noktalar dikkate alınmıştır. Çapraz

elemanlar çekme kuvveti almayacak şekilde modellenmiştir. Güçlendirilmiş durumdaki duvarların mafsalları yine aynı şekilde oluşturulmuştur fakat eksenel yük mafsalına duvar dayanımına sonradan eklenen beton tabakası ve donatının katkıları eklenmiştir.



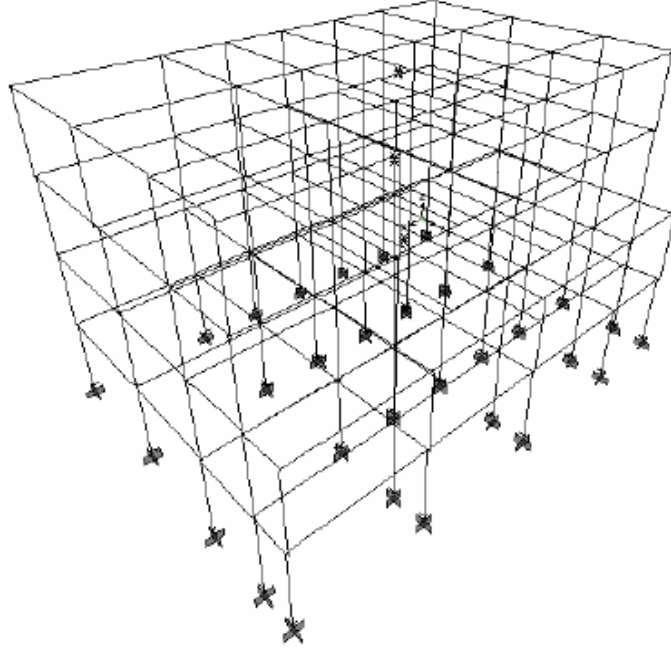
Şekil 2.46. Örnek Eksenel Yük Mafsalı

Sistem Modelleri

Eski SSK Hastanesi B Blok aşağıda verilen farklı durumlarda modellenmiştir. Modellemede SAP 2000 yazılımı kullanılmıştır.

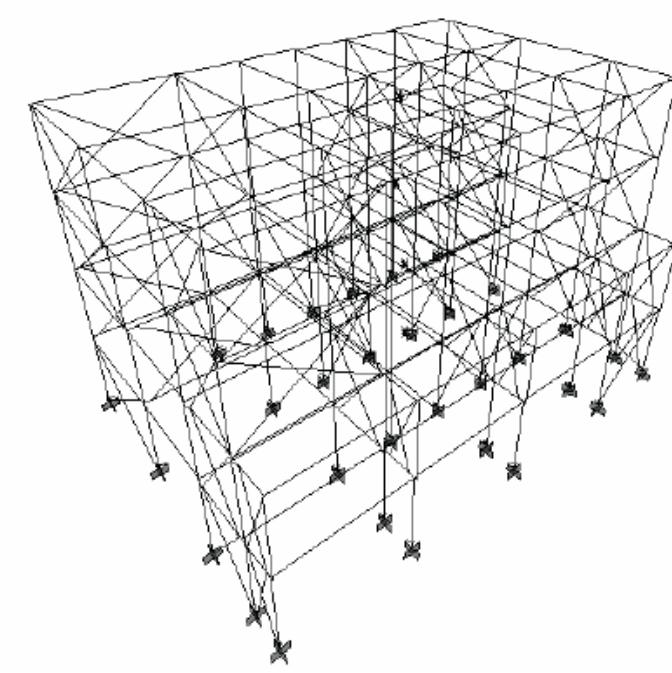
- **Ç.S:** Çerçeve Sistem
- **ND.S:** Normal Duvarlı Çerçeve Sistem
- **ND.P.S:** Normal Duvarlı-Perdeli Çerçeve Sistem
- **GD.ND.S:** Güçlendirilmiş Duvarlı-Normal Duvarlı Çerçeve Sistem
- **GD.ND.P.S:** Güçlendirilmiş Duvarlı- Normal Duvarlı-Perdeli Çerçeve Sistem

Mevcut veriler kullanılarak, sistem öncelikle çerçeve olarak modellenmiştir.



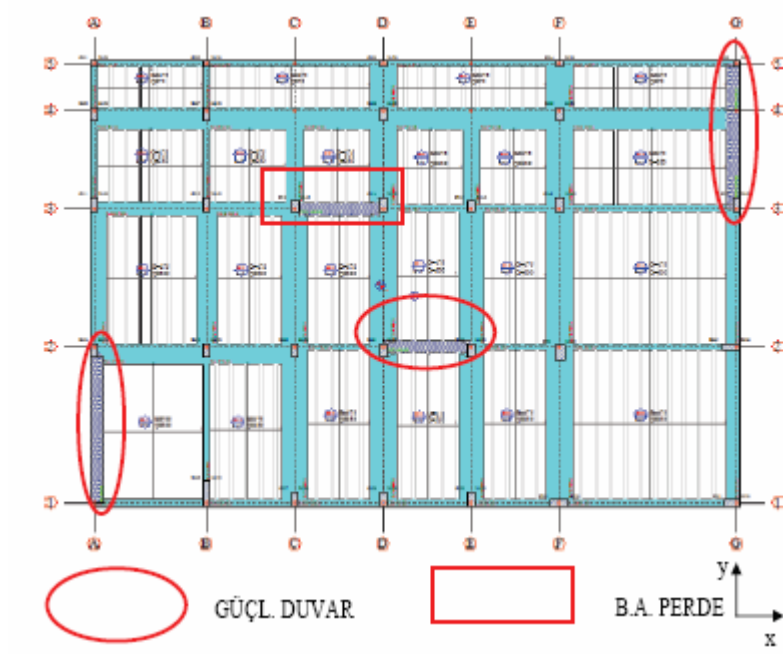
Şekil 2.47. Çerçeve Sistem Görünüşü

Bu çerçeve içine, çapraz olarak modellenen duvarlar eklenmiş ve mevcut sistem analizleri yapılmıştır.



Şekil 248. Normal Duvarlı Sistem Görünüşü

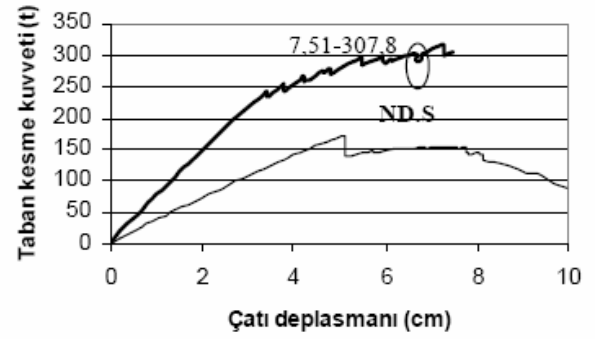
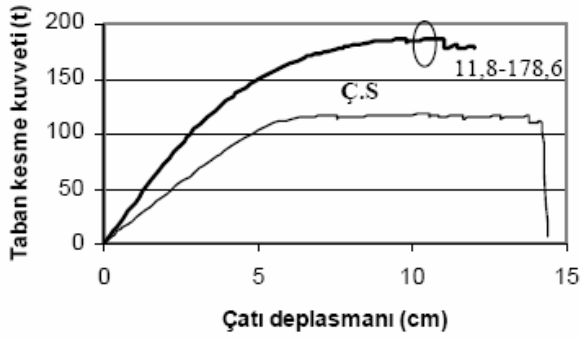
Bu duvarlı sisteme X yönünde 1 adet betonarme perde ve 1 adet. güçlendirme duvar, Y yönünde ise 2 adet güçlendirme duvar eklenmiştir. Bu güçlendirme duvarlarının ve betonarme perdenin etkileri ayrı ayrı ve beraber değerlendirilmiştir.

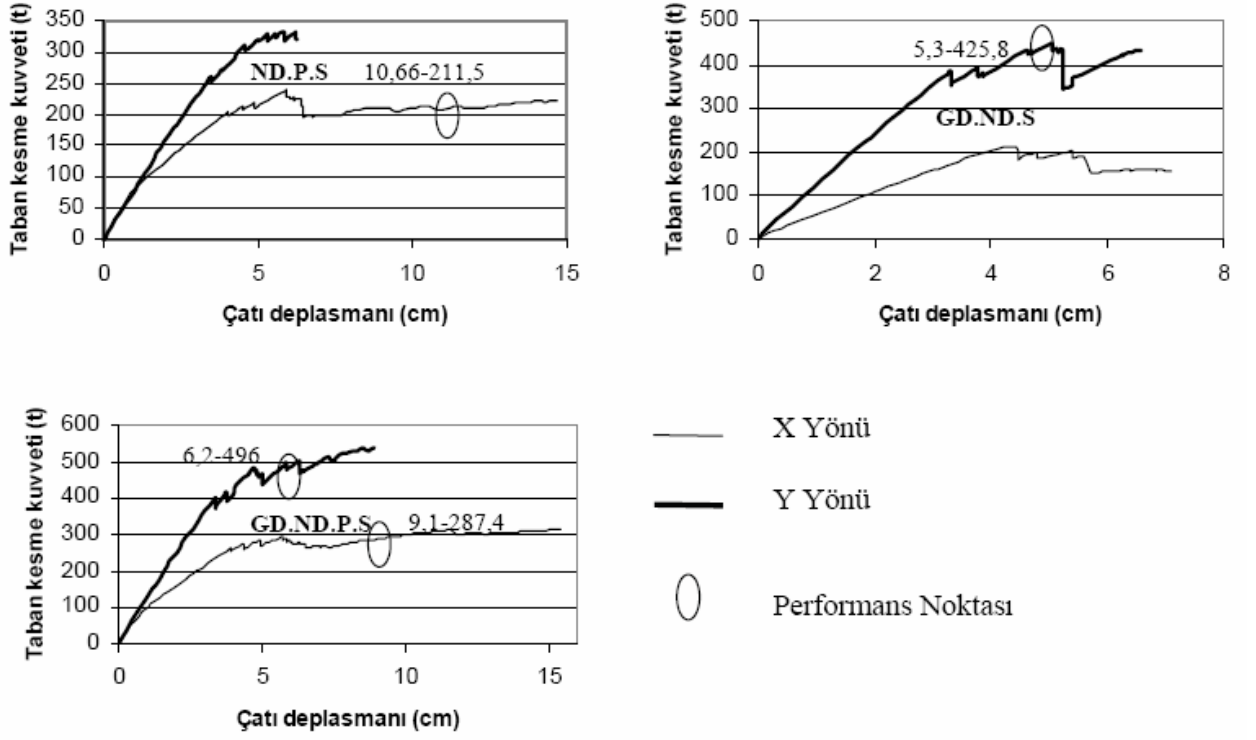


Şekil 2.49. Güçlendirilmiş Sistem Görünüşü

Analiz Sonuçları

Modellenen sistemler X ve Y yönlerinde statik itme analizine tabi tutulmuş ve taban kesme kuvveti-çatı deplasman ilişkileri, performans noktaları ve hasar durumları irdelenmiştir.





Şekil 2.50. Tüm durumlar için taban kesme kuvveti-çatı deplasmanı ilişkisi

Çizelge 2.8. Tüm Durumlar İçin X Yönü Analiz Sonuçları

Bina Modelleme Tipi	Taban Kesme Kuvveti (t)	Çatı Kat Akma Deplasmanı (cm)	Nihai Deplasman (cm)	Süneklik
Ç.S	117	5,3	14,2	2,7
ND.S	185	4,8	8,2	1,9
GD.ND.S	220	4,5	*7,2	*1,6
ND.P.S	239	4	*14,8	*3,7
GD.ND.P.S	330	4	*15,4	*3,9

Çizelge 2.9. Tüm Durumlar İçin Y Yönü Analiz Sonuçları

Bina Modelleme Tipi	Taban Kesme Kuvveti (t)	Çatı Kat Akma Deplasmanı (cm)	Nihai Deplasman (cm)	Süneklik
Ç.S	187	8	18	2,25
ND.S	330	3,5	*7,5	*2,1
GD.ND.S	450	3,2	*7	*2,2
ND.P.S	335	3,5	*6,2	*1,7
GD.ND.P.S	480	3,5	*9,4	*2,7

Analizler tam olarak sonlandırılmamıştır. Bu değerler daha büyük olabilir. Şekil 2.50'de görüldüğü gibi Ç.S'den GD.ND.P.S'ye genel olarak taban kesme kuvvetlerinde artış, çatı kat deplasmanında ise düşme meydana gelmiştir. Y yönünde ise bu artış daha fazladır. Bunun nedeni Y yönündeki güçlendirme ve normal duvarların fazlalığıdır. Mevcut duvarların modellenmesi, sistemin yatay taşıma kapasitesini arttırmıştır. Perde ve güçlendirilmiş duvar ilavesinin ise bu kapasiteyi daha da arttırdığı gözlenmiştir.

Çizelge 2.8'den görüldüğü gibi X yönünde yeterli mevcut ve güçlendirilmiş duvar bulunmayışı sebebiyle duvarların etkisi tam olarak bu yönde anlaşılamamıştır. Fakat Çizelge 2.9'e bakıldığında, her iki duvar çeşidinin fazlalığı Y yönünde olumlu sonuçlara sebep olduğu görülmüştür. Güçlendirme ve mevcut duvarların modellenmesi ile taban kesme kuvvetinde 2,5 kata varan artışlar görülmüştür. Deplasmanlar ise yarıya inmiştir. Performans noktasına ulaşamayan modeller (--) yeterli görülmemiştir. Depremde ağır hasar/göçmeye uğrayacakları kabul edilebilir. Sadece ND.P.S istisnadır. Çünkü bu durumda analiz sonlandırılmamış herhangi bir göçme mekanizması elde edilememiştir.

Çizelge 2.10. X Yönü Performans Noktası ve Hasar Durumları Karşılaştırmaları

Bina Modelleme Tipi	Performans Noktası (cm-t)	Hasar Alan Eleman Sayısı	Hasar Alan Kolon Sayısı	Hasar Alan Kiriş Sayısı	Hasar Alan Duvar Sayısı
Ç.S	--	-	-	-	-
ND.S	--	-	-	-	-
GD.ND.S	--	-	-	-	-
ND.P.S	10,66-211,5	29	2	18	9
GD.ND.P.S	9,05-287,4	28	-	16	12

-- Performans noktası hesaplanamamıştır.

Çizelge 2.11. Y Yönü Performans Noktası ve Hasar Durumları Karşılaştırmaları

Bina Modelleme Tipi	Performans Noktası (cm-t)	Hasar Alan Eleman Sayısı	Hasar Alan Kolon Sayısı	Hasar Alan Kiriş Sayısı	Hasar Alan Duvar Sayısı
Ç.S	11,88-179,61	20	7	13	-
ND.S	7,51-307,75	31	-	8	23
GD.ND.S	5,26-425,79	17	-	-	17
ND.P.S	--	-	-	-	-
GD.ND.P.S	6,15-496,04	38	-	8	30

-- Performans noktası hesaplanamamıştır.

3. DOLGU DUVARLAR

3.1 Dolgu Duvarlar

Genelde dolgular iki değişik kategoride gruplandırılabilirler: yalıtılmış dolgular ve normal dolgular (bazen kesme dolguları da denir)

Yalıtılmış dolgular tamamen sınırlandırılmış çerçevelerin üstünden ve her iki yanından tamamen izole edilmiş panellerdir. Dolgu ve çerçeve arasındaki izolasyon (boşluklar) mümkün olan her çerçeve deformasyonundan büyük olmalıdır ki bu şekilde herhangi dolgu-çerçeve etkileşimi engellenmiş olsun. Bu dolgularda dolgu çerçeve etkileşimi söz konusu değildir.

Bu çalışmada ikinci kategorideki normal dolguları incelemektedir. Yapının yanal kuvvet-dayanım sisteminin bir bölümü gibi hareket eder. Bu kategorideki dolgular sınırlandırılmış çerçevelerin her dört yanında sıkı sıkı etkileşimde olmalıdır yani aralarında hiç boşluk kalmamalıdır. Bütün boşluklar tam harç bağlantı ilişkisini garantilemek için tamamen doldurulmalıdır.

Dolgu çerçevelerin düzlemsel olan davranışları dolgunun ve çerçevenin basit mekanik ve geometrik özellikleri dışında daha birçok sayıda faktöre bağlıdır. Bu ilave faktörler dolgu çerçevelerin orijinal rijitliğini ve dayanımını değiştirebilmektedir.

3.2 Dolgulu Çerçevelerin Taşıma Kapasitesi

Yanal kuvvetlerin dolgulu çerçeve uygulanmasıyla dolgu ve çerçeve elemanlarında değişken gerilim dağılımı oluşur. Yanal kuvvetler arttıkça gerilim dağılımı değişikliğe uğrar ta ki dolgularda bir bozulmaya sebep olana kadar. Kesme ya da basınç mukavemetine ulaşıldığında dolguda hasarlar oluşur.

Dolgu duvarları kuşatan çerçeve elemanlarının beklenen eğilme ve kesme mukavemetleri de değerlendirilmelidir. Kolon ve kirişlerdeki kesme ve eğilme mukavemeti dolgu hasarı için gerekli olan kuvvetin yatay ve düşey bileşenlerini aşmalıdır. Bu olay hasarın dolguyu kuşatan çerçeveden önce dolguda meydana gelmesini sağlar.

3.3 Malzeme ve Geometrik Özellikler

Dolgulu çerçevesel yapıların taşıma güçlerinin belirlenebilmesi için tüm eleman geometrik ve mekanik malzeme özelliklerinin sunulması gerekmektedir. Bütün dolgu duvarların ölçüleri, yeri ve çerçeve elemanın sınırları yani bütün geometrik özellikleri belirlenmelidir. Dolgu ölçüleri yüksekliği (h), uzunluğu (l) ve kalınlığı (t) var olan bina planlardan veya yerindeki ölçülerinden elde edilmelidir. Çerçeve elemanında bütün konuyla ilgili ölçülerinin de ($H, L_f, h_b, b_b, h_c, b_c, v_b$) elde edilmesi gerekir.

Dolgu duvarın mekanik malzeme özelliklerinin değerlendirmek için ihtiyaç duyulan dolgu dayanımı (f_m), basınç altındaki elastisite modülü (E_m) ve kesme kuvveti (f_v) değerlerinin de bilinmesi gerekmektedir.

3.4 Tuğla Duvar Elastisite Modülü

Tuğla duvar elastisite modülü sıvalı ve sıvasız duvarlar için farklı değerler almaktadır ve sıva kalınlığı dolgu duvar elastisite modülünü değiştirmektedir (Öktem ve Pala, 2003). Dolgu duvarların yatay yük altındaki çelik çerçevelerin davranışına olan etkisini araştırmak amacıyla, (Köken, 2003)'ün yaptığı çalışmada, sıvalı ve sıvasız tuğla duvar için kullanılan Elastisite Modülü (E_{me}) ve Basınç Dayanımı (f_{me}), Çizelge 3.1'deki gibidir [13].

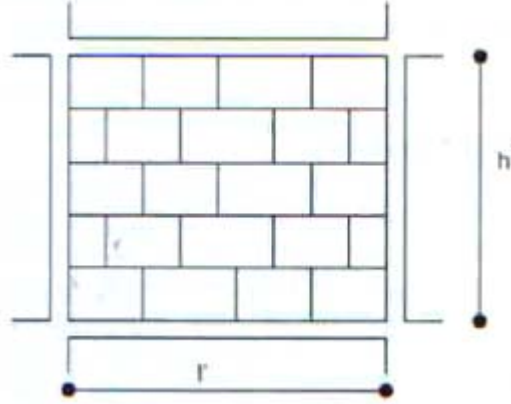
Çizelge 3.1. Sıvalı ve Sıvasız Tuğla Dolgu Duvarın Elastisite Modülü (E_{me}) ve Basınç Dayanımı (f_{me})

Dolgu Duvar Malzemesi	Elastisite Modülü (E_{me}) (MPa)	Basınç Dayanımı (f_{me}) (MPa)
Tuğla	1087	1.63
Tuğla + Sıva	1393	1.86

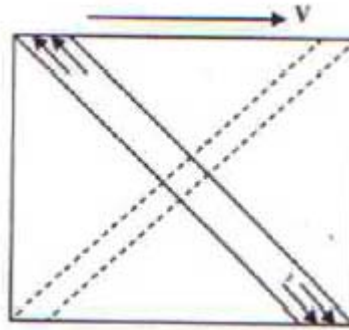
3.5 Dolgu Duvarların Davranışa Katkısı

Son yıllarda yapılan çalışmalarda duvarların sistem rijitliğini etkilediği gerek deneysel gerekse teorik çalışmalarda ortaya konulmuştur (Fardis vd., 1999). Ancak ülkelere göre değişen duvar yapım ve kullanılan malzeme sistemleri değiştiği için detay noktalarda bölgesel farklılıklardan söz edilebilir. Hesap sistematğinde en basitleştirilmiş hesap olarak duvar diyagonalı doğrultusunda eş

değer çubuk modeli kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de hesaplamada kullanılan model duvar geometrisi gösterilmiştir. Şekil 3.2'de ise duvarın kesme kuvveti taşıma ve aktarma mekanizması gösterilmiştir (Madan ve Reinhorn, 1997) [14].

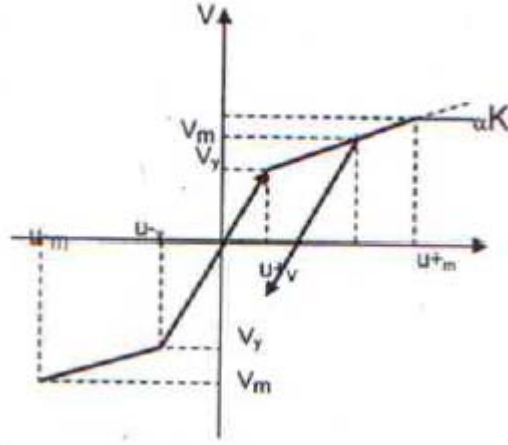


Şekil 3.1. Duvar Model Geometrisi



Şekil 3.2. Eşdeğer Duvar Yük Aktarım Modeli

Yatay yük yer değiştirme ilişkisi olarak sistemin lineer davrandığını kabul etmek çok gerçekçi olmaz. Çünkü duvar deprem etkisinde gelen kesme kuvvetinin çok büyük olmayan değerlerinde kısa sürede çatlak ve tersinir deprem yükler altında rijitliğini giderek kaybeder. Bu nedenle duvarın gerilme şekil değiştirme ilişkisine dayalı olarak, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi bilineer kesme kuvveti yer değiştirme davranışı tanımlanması daha gerçekçi olacaktır. Duvarın başlangıç elastik rijitliği, V_y akma kuvvetine dek geçerli ve akma sonrası azaltılmış rijitliği için maksimum u_m ' e kadar geçerli bir model alınabilir.



Şekil 3.3. Duvar İçin Bilineer Davranış Modeli

Yukarıda gösterilen bilinear davranış modeli için, 3.1 numaralı eşitlikte maksimum kesme kuvveti hesaplanması verilmiştir, söz konusu kesme kuvvetine karşı gelen maksimum yer değiştirme ise 3.2 numaralı eşitlikte gösterilmiştir.

$$V_m^+(V_m^-) \leq A_d f_m' \cos \theta \leq \frac{V.t.l'}{(1 - 0.45 \tan \theta')} \leq \frac{0.83.t.l'}{\cos \theta} \quad (3.1)$$

$$u_m^+(u_m^-) = \frac{\varepsilon_m^- . l d}{\cos \theta} \quad (3.2)$$

Modelde oldukça önemli olan akma kesme kuvveti ve yer değiştirmeleri ise 3.3 ve 3.4 numaralı eşitliklerden hesaplanacaktır.

$$V_y^+(V_y^-) = \frac{V_m - \alpha K_o u_m}{(1 - \alpha)} \quad (3.3)$$

$$u_y^+(u_y^-) = \frac{V_m - \alpha K_o u_m}{K_o (1 - \alpha)} \quad (3.4)$$

Başlangıç duvar rijitliği ise 3.5 eşitliğinde ifade edilmiştir.

$$K_o = \frac{Ed \cdot Ad}{l'} \quad (3.5)$$

Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan t , duvar kalınlığı, l' dolgu duvar yataydaki temiz boyu, f'_m , duvar prizma dayanımı, ϵ'_m , ilgili şekil değiştirme miktarı, θ , duvar diyagonal bant açısı, V , duvar başlangıç basınç dayanımı, A_d , eşdeğer bant alanı, l_d , eşdeğer bant boyu, α akma sonrası rijitliğin başlangıç rijitliğine oranı, K_d duvar başlangıç rijitliğidir. Duvar elastisite modülü 500–700 f_{ckd} olarak alınabilir. f_{ckd} karakteristik duvar dayanımı ise 2000–4000 kN/m^2 alınabilmektedir.

3.6. Dolgu Duvarlar Ve Çerçevesel Arasındaki Etkileşim [15]

3.6.1. Giriş

Yapının toplam rijitliğini arttırmak için betonarme veya çelik çerçevelerin içine dolgu duvarlar inşa edilir. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay göçme yüklerinin, gerilmelerin hesaplanması ve göçme modlarını önceden bildirmek için bir metot gereklidir.

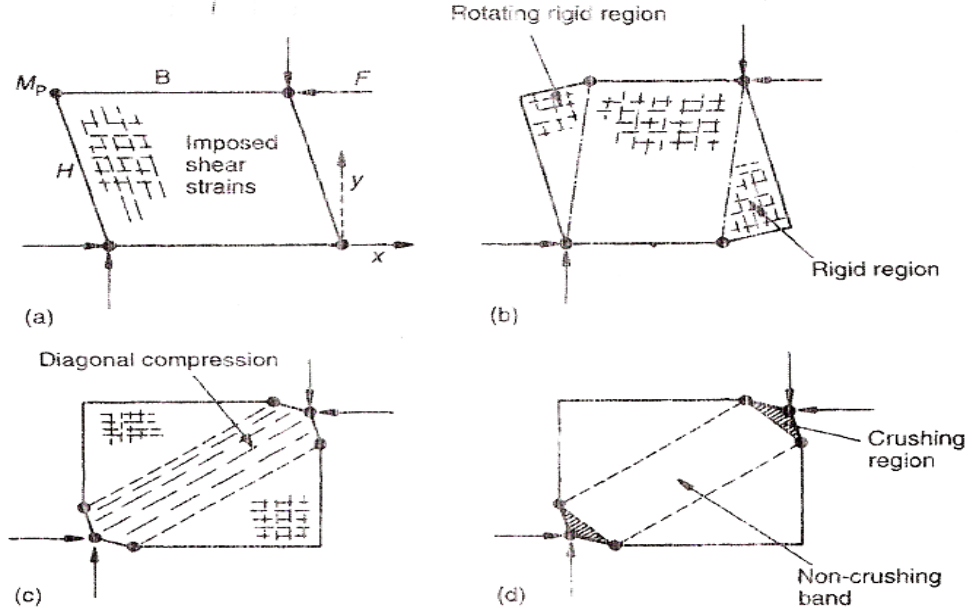
Bazı yazarlar, dolgu duvarlı çerçevelerin kapasitesini belirlemek için teorik metotlar üzerinde çalışmışlardır. Bu teorik yaklaşımlar için genellikle laboratuvarlarda yapılan deneysel çalışmaların neticelerinden faydalanmışlardır.

Dolgu duvarlı çerçeveler için teorik metot 1977 yılında Riddington ve Stafford Smith tarafından çalışılmıştır. Bu metot oldukça karmaşık sonlu elemanlar yaklaşımına dayanmaktadır. Başka bir alternatif metot 1978 yılında Wood tarafından elde edilmiştir. Bu metot da idealleştirilmiş plastik göçme moduna dayanmaktadır.

Riddington ve Stafford Smith tarafından önerilen metodun temeli, eşdeğer diyagonal çubuk metoduna dayanmaktadır. Dolgu duvarlar, diyagonal basınç çubuğu gibi modellenmektedir.

3.6.2. Plastisite Teorisine Bağlı Dizayn Metodu

Bu metotta Wood (1978) tarafından dikkate alınan dört tane idealleştirilmiş plastik göçme modu ileri sürülmüştür. Bu dört durum ve plastik mafsalların yeri Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Plastik Mafsalların Yeri

Çerçevenin göçme modunu belirlemek için çerçeve/duvar dayanım oranı m_d aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$m_d = \frac{8 * M_p * \gamma_m}{f_k * t * L^2} \quad (3.6)$$

M_p : Kolon veya kiriş plastik momentinin düşük olanı

f_k : Dolgu duvarın dayanımı

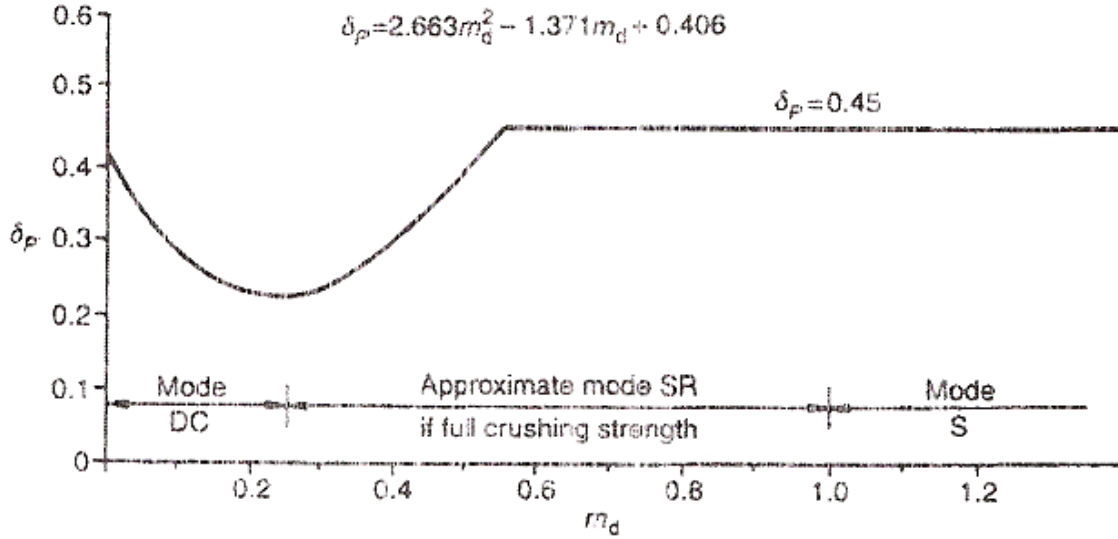
$m_d < 0.25$ için göçme modu DC (diyagonal basınç) veya CC (köşe sıkışması)

$0.25 < m_d < 1$ için göçme modu SR (kesme dönmesi)

$m_d > 1$ için göçme modu S (kesme)

3.6.2.1. Dizayn Proseduru

Denklem 3.6 dan m_d nin değeri hesaplanır ve düzeltme faktörü δ_p ile düzeltilir. Düzeltilmiş değer, $m_e = m_d / \delta_p$ olur. Düzeltme faktörü δ_p Şekil 3.5 den elde edilir.



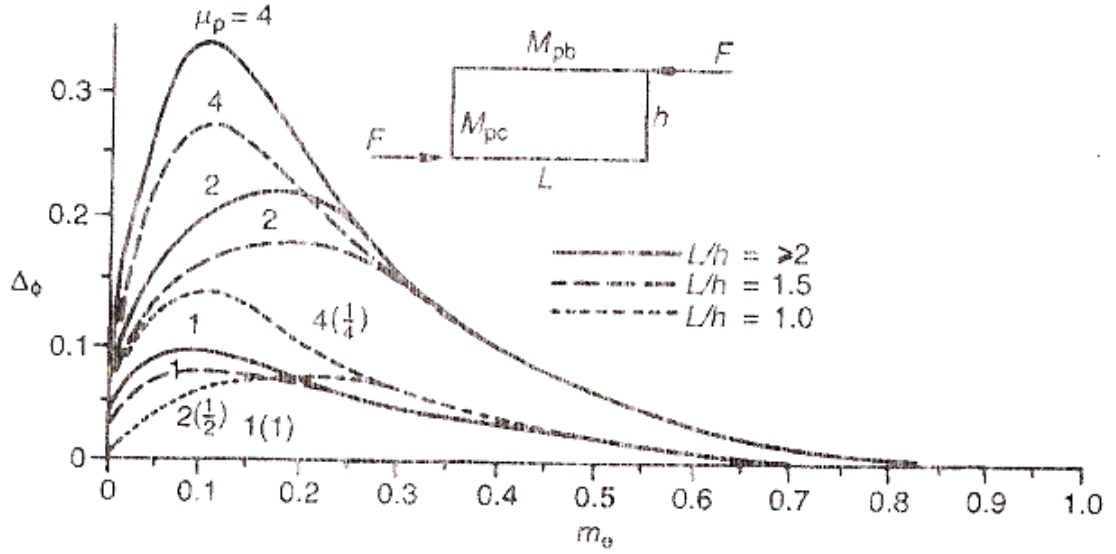
Şekil 3.5. Düzeltme faktörü δ_p

Daha sonra boyutsuzluk parametresi ϕ_s , aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$\phi_s = 2 / (\sqrt{m_e} + 1 / \sqrt{m_e}) \quad (3.7)$$

Bu parametre, benzer kirişler, kolonlar ve kare paneller için elde edilmiştir. Benzer olmayan kirişler, kolonlar ve dikdörtgen paneller için μ_p değeri ve Şekil 3.7 yardımıyla düzeltme faktörü $\Delta\phi$ tespit edilir.

$$\mu_p = (\text{kiriş için en küçük plastik moment}) / (\text{kolon için en küçük plastik moment})$$



Şekil 3.6. Benzer Olmayan Kirişler, Kolonlar Ve Dikdörtgen Paneller İçin μ_p Değeri

Eğer $\mu_p \geq 1$ (güçlü kiriş) ise grafik direkt olarak kullanılır.

Eğer $\mu_p < 1$ (zayıf kiriş) ve $L/h = 1$ ise parantez içindeki değer kullanılır.

Eğer $\mu_p < 1$ (zayıf kiriş) ve $L/h > 1$ ise $\mu_p = 1$ eğrisi kullanılır.

Aşağıdaki denklem kullanılarak dizayn dayanımı F tespit edilir.

$$F = (\phi_s + \Delta\phi) * [4 * (\text{küçük } M_p) / h + \frac{1}{2 * \gamma_m} * \delta_p * f_k * t * L] / 1.2 \quad (3.8)$$

Dizayn prosedüründe Wood, emniyetli tarafta kalmak için (1.2) ilave faktör kullanmıştır. M_p , $z * \sigma_y / \gamma_m$ olarak verilen etkili plastik momenttir. Dizayn prosedüründeki dizayn dayanımı F, dizayn yüküne eşit veya büyük olması gerekir.

Örnek:

Dolgu duvarlı çerçevenin boyutları ve özellikleri:

Panel yüksekliği = 2 m

Panel uzunluğu = 4 m

Panel kalınlığı = 110 mm

Panel dayanımı = 10 N/mm²

Duvar için yüzey sürtünme katsayısı = 3.1

Kolon mukavemet momenti = 600 cm³

Kiriş mukavemet momenti = 800 cm³

Çelik malzeme için gerilme değeri = 250 N/mm²

Çelik için yüzey sürtünme katsayısı = 1.15

Kiriş için etkili plastik moment = (800*10³)*250/(1.15*10⁶) = 174 kN.m

Kolon için etkili plastik moment = 130 kN.m

$$\mu_p = 1.34$$

$$L/h=2$$

$$m_d = \frac{8 * 130 * 10^6 * 3.1}{10 * 110 * 4^2 * 10^6} = 0.18$$

Şekil 3.5 den $\delta_p = 0.25$ elde edilir. δ_p değerine bağlı olarak;

$$m_e = 0.24 / 0.25 = 0.96$$

$$\phi_s = 2 / (\sqrt{0.96} + 1 / \sqrt{0.96}) = 1.0$$

Şekil 3.6 dan $\Delta_\phi = 0$ elde edilir.

$$F = 1.0 * \{ (4 * 130) / 2 + [0.25 * (10 / 3.1) * 110 * 4000] / 2 * 10^3 \} / 1.2$$

$$F = 217(\text{çerçeve}) + 148(\text{duvar})$$

$$F = 365 \text{ kN}$$

3.7. Dolgu Duvarların Modellenmesi

3.7.1. Eşdeğer Diyagonal Çubuk Metodu

Eşdeğer diyagonal çubuk metodu formülasyonu Mainstone (1971) tarafından ileri sürülmüştür. Mainstone (1971) tarafından ileri sürülen yöntemde dolgu duvarlar diyagonal çubuklarla temsil edilmektedir. Dolgu duvar ile çerçeve arasındaki rijitlik parametresi λh ile ifade edilmiştir [16].

$$\lambda h = \sqrt{\frac{E_i * t_i * h^3 * \sin 2\theta}{4 * E_c * I_c}} \quad (3.9)$$

E_i = Dolgu duvarın elastisite modülü

t_i = Dolgu duvarın kalınlığı

θ = Diyagonal çubuğun yatay ile yaptığı açı

h = Dolgu duvarın yüksekliği

E_c = Kolonun elastisite modülü

I_c = Kolonun atalet momenti

Çatlama yükü, H_{CM} ve en büyük dayanma gücü, H_{UM} aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir.

$$H_{CM} = 2\alpha_i h t_i f_t \cos^2 \theta \quad H_{UM} = 2\alpha_c h t_i f_c^1 \cos^2 \theta \quad (3.10)$$

f_t = Dolgu duvarın çekme dayanımı

f_c^1 = Dolgu duvarın basınç dayanımı

α_i ve α_c aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir.

$$\lambda h < 5 \text{ için } \alpha_i = 0.17 (\lambda h)^{-0.4} \quad (3.11)$$

$$\alpha_c = 0.56 (\lambda h)^{-0.88} \quad (3.12)$$

$$5 < \lambda h < 8 \text{ için } \alpha_i = 0.15 (\lambda h)^{-0.3} \quad (3.13)$$

$$\alpha_c = 0.52 (\lambda h)^{-0.8} \quad (3.14)$$

3.7.2. Plastisite Teorisine Bağlı Dayanım

Plastisite teorisinin genel yaklaşımı dolgu duvarlı çerçevelere uygulanmıştır. Wood (1978) tarafından ifade edilmiştir. Liauw ve Kwan tarafından çok katlı, çok açıklıklı dolgu duvarlı çerçeveler için yeniden düzenlenmiştir. Bu yaklaşım aşağıda ifade edilmiştir [16].

$$\frac{H_{UL}}{\sigma_c * t * h} = \min(m_1, m_2, m_3) \quad (3.15)$$

$$m_1 = \sqrt{\frac{2(M_{pj} + M_{pc})}{\sigma_c * t * h^2}} \quad (3.16)$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{2(M_{pj} + M_{pc})}{\sigma_c * t * h^2}} * \frac{1}{\tan \theta} \quad (3.17)$$

$$m_3 = \frac{4M_{pj}}{\sigma_c * t * h^2} + \frac{1}{6} \quad (3.18)$$

H_{UL} = En büyük dayanma gücü

t= Dolgu duvar kalınlığı

h= Kat yüksekliği

M_{pb} = Kirişin plastik momenti

M_{pc} = Kolonun plastik momenti

M_{pj} = Noktanın plastik momenti (M_{pb} ve M_{pc} değerlerinin küçük olanı)

θ = Dolgu diyagonalin yatay ile yaptığı açı

σ_c = Dolgu duvar malzemesinin basınç dayanımı

4. BÖLME DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1. Hasır Çelik Donatılı Harç Tabakası ile Güçlendirme

Binada varolan ve temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren yığma bölme duvarların kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan hasır çelik donatılı harç tabakası ile kalınlaştırılarak artırılır. Uygulanacak sıva 4 hacim kum, 1 hacim çimento ve 1 hacim kireç karışımı ile yapılacaktır. Bu karışımla yapılan sıvanın basınç gerilmesi dayanımı 5 MPa, kayma gerilmesi ise 2 MPa alınacaktır. Güçlendirilen duvarların köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30'dan küçük olmalıdır. Bu türlü uygulamalarda mevcut çerçeve içinde basınç çubuğu oluşumu sağlanmalı ve çerçeveye yük aktarımı için gerekli ankrajlar düzenlenmelidir. Donatılı harç tabakası ile çerçeve elemanları arasında kullanılacak en küçük ankraj çubuğu çapı 16 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 40 cm olmalıdır. Ayrıca donatılı harç tabakası ile mevcut bölme duvarın birlikte çalışmasının sağlanması için duvar düzlemine dik yönde, her bir metrekare duvar alanında bir adet ankraj yapılacaktır. Duvara dik yönde yapılacak ankraj çubukları bölme duvarın sıva derzleri içine gömülecek ve çubuk çapı 8 mm olacaktır. Duvar düzlemine paralel ve dik doğrultuda yapılacak tüm ankraj çubukları açılacak deliklere epoksi ile ekilecek ve uçları L şeklinde 90 derece bükülerek hasır donatısının içine geçirilecektir.

4.1.1. Donatılı Yığma Dolgu Duvarların Modellenmesi

Simgeler

A_d = Dolgu duvar yatay kesit alanı

a_d = Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (cm)

E_c = Çerçeve betonunun elastisite modülü

E_d = Duvarın elastisite modülü

f_d = Duvarın basınç gerilmesi dayanımı

f_{yd} = Hasır donatı çeliğinin tasarım akma dayanımı

h_d = Dolgu duvar yüksekliği (cm)

h_k = Kolon boyu (cm)

I_k = Kolonun atalet momenti (cm⁴)

k_d = Eşdeğer basınç çubuğunun aksenal rijitliği

r_d = Dolgu duvar diyagonal uzunluğu (cm)

t_d = Dolgu duvar kalınlığı (cm)

V_d = Dolgu duvar kesme kuvveti dayanımı

ρ_{sh} = Duvardaki yatay gövde donatılarının duvar brüt enkesit alanına oranı

θ = Eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısı

λ = Eşdeğer Basınç Çubuğu Katsayısı

τ_d = Dolgu duvar kayma gerilmesi dayanımı

Güçlendirilmiş yığma dolgu duvarların yapı modelinde temsil edilmesi sırasında kullanılacak olan rijitlik ve dayanım özellikleri burada tanımlanmaktadır. Yapı modelinde betonarme çerçeve içinde düzenlenmiş ve hasır donatı ile güçlendirilmiş olan dolgu duvarlar göz önüne alınacaktır. Duvar yüzey alanına oranı yüzde 10'u geçmeyen boşlukların bulunduğu duvarların yapı modeline katılmasına, boşlukların konumu diyagonal basınç çubuğu oluşumunu engellememesi koşuluyla izin verilebilir. Güçlendirilmiş dolgu duvarlar uygulanan deprem yönünde basınç kuvveti alan eşdeğer diyagonal çubuk elemanları ile temsil edileceklerdir.

4.1.2. Rijitlik

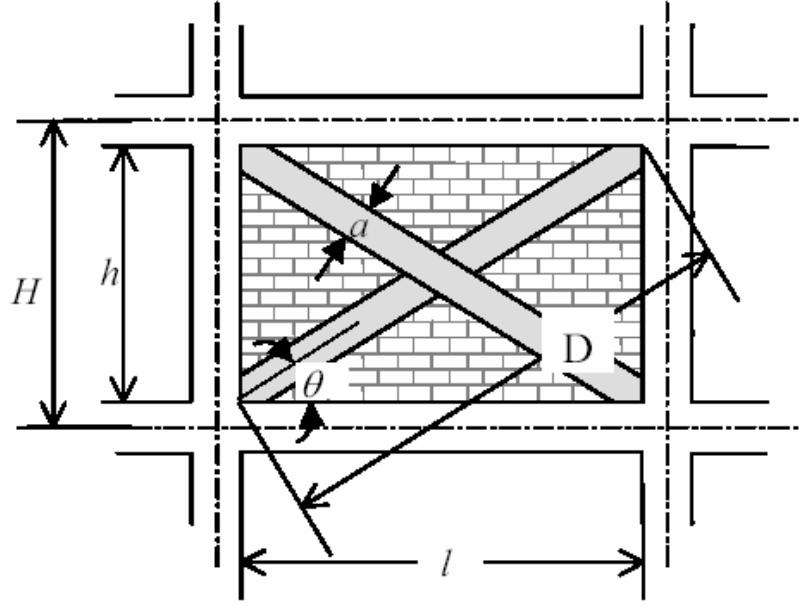
Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı dolgu duvar kalınlığına eşittir. Genişliği (ad) Denk.(4.1)'den hesaplanacaktır. Elastisite modülü duvarın elastisite modülü ile aynıdır.

$$a_d = 0.175 * (\lambda * hk)^{-0.4} * rd \quad (4.1)$$

Burada ad çubuk genişliği (cm), hk kolon boyu (cm), rd dolgu duvar diyagonal uzunluğudur (cm). λ Denk.(4.2)'den hesaplanacaktır.

$$\lambda = \left[\frac{Ed * td * \sin 2\theta}{4 * Ec * Ik * hd} \right]^{1/4} \quad (4.2)$$

Denk.(4.2)'de Ed ve Ec dolgu duvar ve çerçeve betonunun elastisite modülü, td ve hd duvarın kalınlığı ve yüksekliği (cm), Ik kolonun atalet momenti (cm⁴) ve θ diyagonalin yatay ile olan açısıdır (Şekil 4.1).



ŞEKİL 4.1. Çubuğun Geometrisi

Diyagonal çubuk elemanının aksel rijitliği Denk.(4.3) ile hesaplanır.

$$k_d = \frac{a_d * t_d * E_d}{r_d} \quad (4.3)$$

4.1.3. Kesme Dayanımı

Dolgu duvarın kesme dayanımı, diyagonal çubuğun eşdeğer basınç kuvveti dayanımının yatay bileşeni olarak kabul edilecektir. Yatay kesit alanı A_d , basınç gerilmesi dayanımı f_d ve kayma gerilmesi dayanımı τ_d olan güçlendirilmiş dolgu duvarın kesme kuvveti dayanımı V_d , Denk.(4.4) ile hesaplanır.

$$V_d = A_d (\tau_d + f_{yd} \rho_{sh}) \leq 0.22 A_d f_d \quad (4.4)$$

Burada f_{yd} hasır donatının akma dayanımı, ρ_{sh} ise duvardaki yatay gövde donatılarının duvar brüt enkesit alanına oranıdır. Hasır donatı yatay ve düşey yönlerde aynı donatı alanına sahip olmalıdır.

4.1.4. Malzeme Özellikleri

Yukarıda verilen denklemlerde E_d , f_d ve τ_d için çeşitli tuğla türlerinden yapılan yığma duvarlarda önerilen değerler aşağıda verilmiştir. Elastisite modülünün, basınç ve kayma gerilmesi dayanımlarının hesaplanmasında güçlendirilmiş duvarın kompozit kesit yapısı dikkate alınabilir.

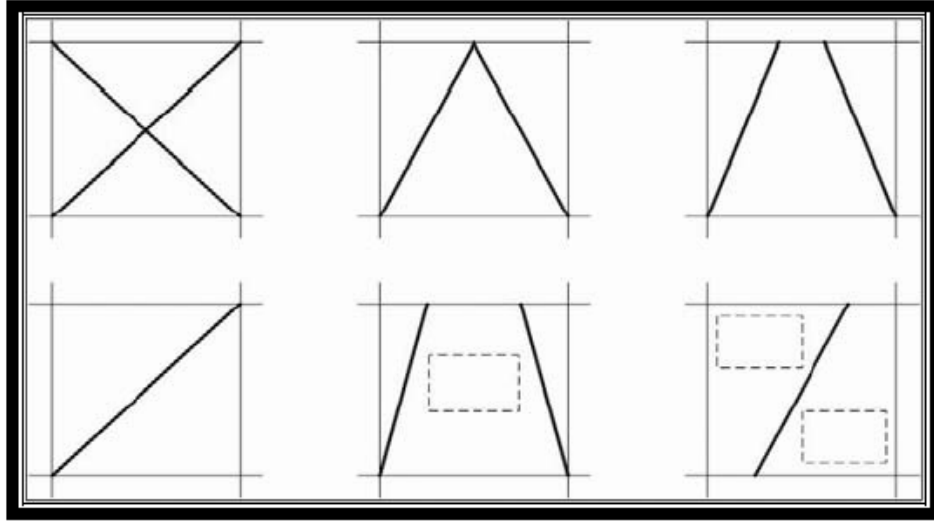
Boşluklu fabrika tuğlası: $E_d = 1000 \text{ MPa}$; $f_d = 1.0 \text{ MPa}$; $\tau_d = 0.15 \text{ MPa}$

Harman tuğlası: $E_d = 1000 \text{ MPa}$; $f_d = 2.0 \text{ MPa}$; $\tau_d = 0.25 \text{ MPa}$

Gazbeton blok: $E_d = 1000 \text{ MPa}$; $f_d = 1.5 \text{ MPa}$; $\tau_d = 0.20 \text{ MPa}$

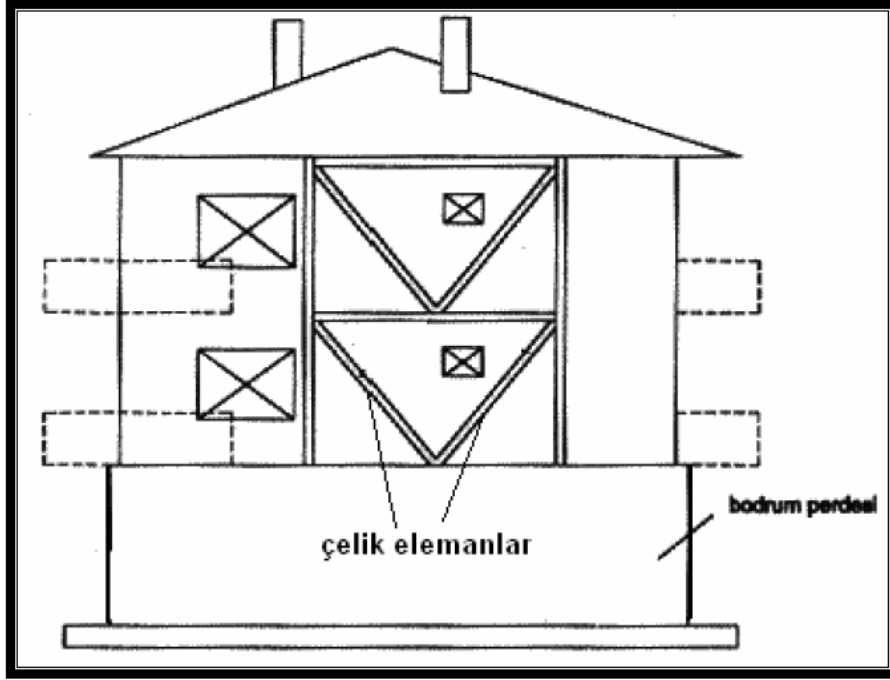
4.2. Çelik Elemanlarla Güçlendirme

Taşıyıcı sistem betonarme perdeler yerine çelik çaprazlar kullanılarak da güçlendirilebilir.



Şekil 4.2. Çeşitli Çelik Çapraz Kullanım Şekilleri

Bu durumda en basit uygulama kiriş-kolon düzlemine yerleştirilecek çaprazlar yanında kolon ve kirişe bitişik konulacak çelik elemanlarla yapılabilir. Eksenel çelik çaprazlar yanında dış merkez çaprazlar da kullanılabilir.



Şekil 4.3. Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmiş Bir Bina

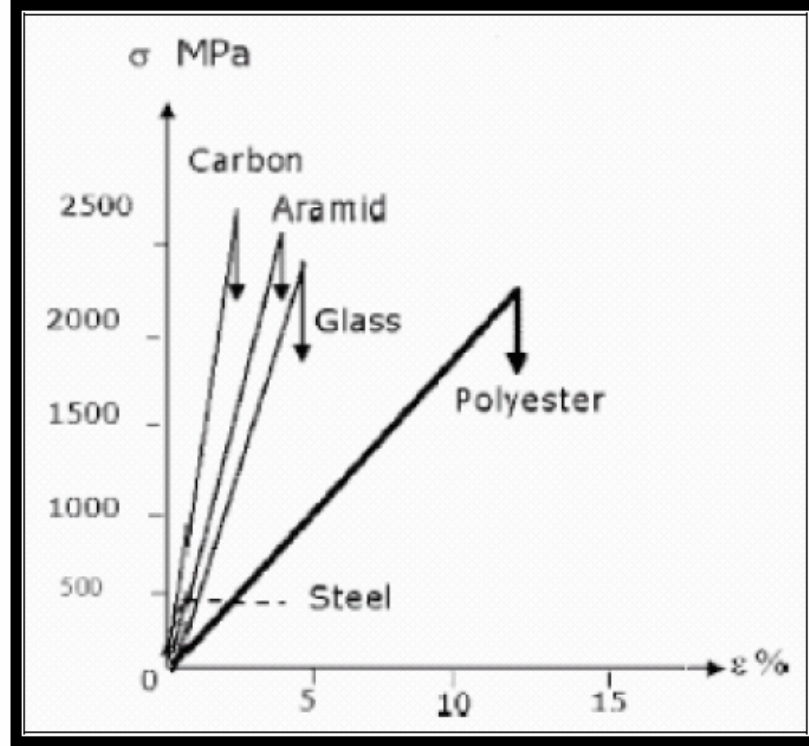
Ancak, bu durumda dışmerkezlik nedeniyle kuvvetlerin alınması yeni güçlükler doğurabilir. Çaprazlar betonarme çerçevenin içinde oluşturabildiği gibi, dışında da oluşturulup ona bağlanabilir. Kolona ve kirişe bitişik olan çelik elemanlarla kuvvetin olabildiğince düzgün yayılı iletilmesi sağlanır. Ancak, çaprazlar nedeniyle köşelerde büyük yoğun çekme ve basınç kuvvetlerinin betonarme ve çelik taşıyıcı sistem arasında iletilmesi gerekir. Özellikle, beton kalitesinin çok düşük olması durumunda büyük köşe levhalarına ihtiyaç duyulur. Çaprazlı çelik kafes sistemde kuvvetlerin kattan kata geçmesinin sağlanmasına özen gösterilmelidir. Bunun için kolona bitişik düşey çelik elemanların katlar arası sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Çelik elemanların rijitliklerinin betonarmeye göre düşük olması nedeniyle, yatay deprem yüklerinin önemli bir bölümünün taşınması ancak çok büyük çelik kesitleriyle mümkün olur. Bunun yanında mevcut betonarme sistemle çelik sistemin bütünleşmesini sağlamak ve betonarme sistemde oluşan deprem kuvvetlerinin önemli bir kısmını çelik taşıyıcılara iletmek ayrıntılı çalışma gerektiren bir husustur.

4.3. Lif Takviyeli Kompozitlerle Güçlendirme

Lif takviyeli kompozitler (LTK) son yıllarda yapıların onarım ve güçlendirmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

Çizelge 4.1. LTK Malzeme Özellikleri [17]

Lifler	Dayanım (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Özgül Ağırlığı (kg/m ³)
Cam Lifleri	1700-2100	50	2500
Karbon Lifleri	1700-2500	150-190	1900
Aramid Lifleri	1700-2100	65-120	1400



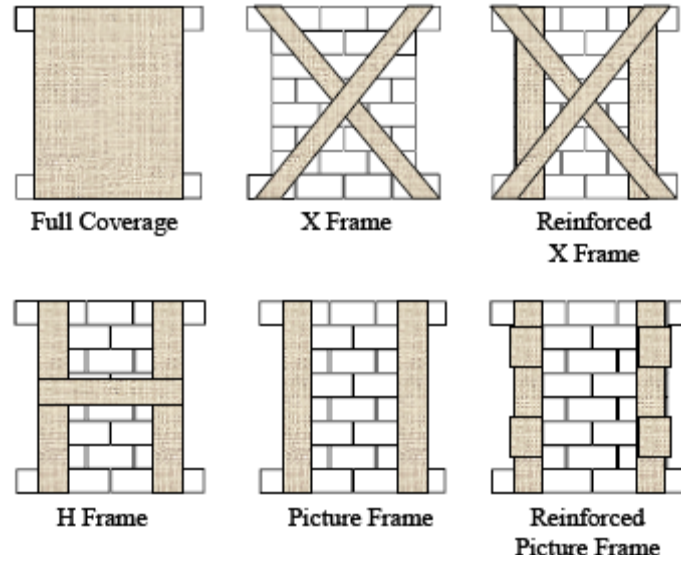
Şekil 4.4. Liflerin Gerilme Şekil Değişirme Eğrileri [17]

Yapıların dolgu duvarlarının LTK'lerle güçlendirilmesi ve perde gibi çalışabilen elemanlar haline getirilmesi yani sisteme yönelik iyileştirmelerin yapılabilmesi çalışmaları henüz yenidir. Bu konuda deneysel çalışmalar sürdürülmektedir. LTK, binaların boşaltılmadan güçlendirilmesini sağlayabilecek bir yöntem olması itibarıyla giderek önem kazanmaktadır. Duvar güçlendirmesini hedefleyen LTK tasarımı süneklik artırmadan ziyade dayanım artırma amacıyla yapılmalıdır. Daha

çok beton kalitesinin iyi olduğu ancak enine ve boyuna donatının yetersiz olduğu durumlarda kullanılabilir.

Dolgu duvarın dış yüzeyinin FRP ile güçlendirme uygulamaları Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu uygulama tekniklerinin Al-Chaar (1998)'in deneysel sonuçlarına bağlı olarak ξ_1 , FRP güçlendirme katsayıları elde edilmiştir. ξ_1 katsayıları Çizelge 4.2'de verilmektedir. ξ_1 katsayıları eşdeğer basınç çubuğu metodunda FRP uygulama tekniklerine bağlı olarak eşdeğer basınç çubuğu genişliğini arttırıcı katsayılardır [18].

Mainstone (1971) ve Stafford Smith ve Carter (1969)'in dolgu çerçevenin doğrusal davranışı ile ilgili hesapları, Mainstone (1971) ve Al-Chaar (1998)'in deneysel sonuçları ile karşılaştırıldığında yaklaşık değerler gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4.5. FRP Uygulama Metotları

Çizelge 4.2. ξ_1 FRP Güçlendirme Katsayıları

FRP Strip Orientation	ξ_1
2 Layer Full Coverage	1.51
1 Layer Reinforced X Frame	1.48
1 Layer Full Coverage	1.41
2 Layer X Frame	1.33
1 Layer X Frame	1.29
1 Layer H Frame	1.20

$$\lambda_1 H = H * \left[\frac{E_m * t * \sin 2\theta}{4 * E_c * I_{col} * h} \right]^{1/4} \quad (4.5)$$

$$a = 0,175 * D * (\lambda_1 H)^{-0,4} \quad (4.6)$$

λ_1 =Dolgu ile çerçevenin rijitlik parametresi

H=Çerçevenin yüksekliği

E_m =Basınç altındaki duvarın elastisite modülü

E_c = Çerçevenin elastisite modülü

I_{col} =Kolonun atalet momenti

h=Dolgu panelin yüksekliği

D=Dolgunun diyagonal uzunluğu

Eğer hala oluşan boşluklar varsa ve dış yüzeyde FRP varsa, eşdeğer çubuk kalınlıkları Denklem 4.7'e göre hesaplanmalıdır.

$$a_{azaltılan} = a * (R_1)_i * (R_2)_i * \xi_1 \quad (4.7)$$

Bu denklemde,

$(R_1)_i$ = Boşluklu dolgu duvarlarda azaltma faktörünün tanımlanan boşluk durumuna göre değerlendirilmesi.

$(R_2)_i$ = Azaltma faktörünün var olan dolgu hasarlarına göre değerlendirilmesi

ξ_1 = FRP ye bağlı güçlendirme faktörü

4.4. Perdelerle Güçlendirme

Sistem güçlendirmesinde perdelerle güçlendirme halen en yaygın ve geleneksel uygulama şeklidir.

Perde ilave edilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yeni durumun yapıda burulma etkileri yaratmamasıdır. Yapının kütle ve rijitlik merkezi mümkün olduğunca yakın kalmalıdır. Ayrıca yeni elemanların betonu dökülmeden önce bu elemanlara yük aktarması söz konusu olan döşemeler askıya alınmalıdır.

Güçlendirme perdeleri her iki doğrultuda en az ikişer tane olmalıdır. Yapının kat adedinin ve plandaki alanının az olması halinde toplam perde sayısı üçe de indirilebilir. Perdenin iki kolon arasında kalması tercih edilmelidir. Bazı hallerde bir taraftan bir kolona birleşmesi düşünülebilir. Bu durumda diğer tarafta perde ucu düzenlenmelidir. İki uçtan da kolona bitişik olmayan döşemeyi delip geçen perde ile döşeme arasında çok büyük gerilme yığılmaları meydana geleceğinden bu tür perdeler yapılmamalıdır. Perdelerin temellerinin oluşturulması da çok önemlidir. Komşu kolonları da kapsayacak şekilde sürekli veya plak temel düzenlemesi yapmak gerekir. Bu şekilde kolonların normal kuvvetlerinden faydalanarak perdeye komşu tekil temeller birleştirilerek büyük bir perde temeli yapılması gerekir.

Bu durum perdenin mevcut sistemle bütünleşmesini sağlayacağı gibi, perdenin uçlarında meydana gelecek çekme kuvvetinin kolon basınç kuvvetini göz önüne alarak azaltılmasını da sağlar. Bunun yanında perde temelini düzenlenmesinde kolon basınç kuvvetinin olumlu katkısı hesaba katılmış olur. Kapı ve pencere boşluğunun bulunması durumunda perde bir uçtan komşu kolona bağlanırken, diğer taraftan perde için bir uç bölgesi oluşturulur. Her iki durumda da perde kat seviyelerinde döşemeyi başlık bölgelerinde deler, bu suretle başlık donatılarının sürekliliği sağlanır. Bunun yanında perde gövdesinde döşemede yer yer boşluklar açılarak, hem beton dökümü için kolaylık sağlanırken, bu boşluklara yerleştirilecek çapraz donatılarla perdenin katlar arası bütünleşmesi daha da rahatlatılmış olur.

5. BASİTLEŞTİRİLMİŞ GÜÇLENDİRME YÖNTEMİ

Bina türü yapılarda güçlendirme hedefi yapıların şiddetli depremlerde binaların hasar görmemesi değil yıkılmayarak can güvenliğinin sağlanmasıdır. Depremde yıkılma veya ağır hasar görme riskine sahip olup, güçlendirilmesi ekonomik olan binalar için uygulanması kolay, hızlı ve mümkün mertebe ucuz güçlendirme teknikleri kullanılarak kısmi veya toptan göçmenin önlenmesi ve can kaybının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Yapıların güçlendirilmesinde esas alınabilecek bir sınıflandırma İ.BB. Deprem Master Planı çalışmasından alınarak Çizelge 5.1’de verilmiştir [19].

Çizelge 5.1. Yapıların Güçlendirilmesinde Esas Alınabilecek Bir Sınıflandırma

	Yüksek olmayan betonarme ve yığma bina (7 ve daha az katlı)		Yüksek betonarme ve yığma bina (8 ve daha çok katlı)	Çelik yapı
	Az katlı (Betonarme 1-3, yığma 1-3)	Çok katlı (Betonarme 4-7, yığma 4-7)		
Konut	Basitleştirilmiş güçlendirme	Basitleştirilmiş veya Kapsamlı güçlendirme	Kapsamlı güçlendirme	Kapsamlı güçlendirme
Önemli Bina	Kapsamlı güçlendirme			

Yapılan incelemelerde özellikle İstanbul’daki yapıların önemli bir kısmının projesinin mevcut olmadığı, mühendislik hizmeti görmediği veya projesi mevcut olsa dahi bu projeye uyulmadığı görülmüştür. Bu gerçeği göz önünde bulundurarak güçlendirme işleminin ayrıntılı bir dizi hesaplar sonucu ortaya çıkarılması sağlıklı değildir. Ayrıntılı incelemeler taşıyıcı sistemin yerel zayıflıklarını dikkate alamayabilir. Örneğin, bazı kolonlarda donatının kenetlenme boyu yeterli değilse veya bazı kolon-kiriş birleşim bölgelerinde beton yerleşimi sorunlu ise veya kolonların eksenine kattan kata küçük de olsa değişiyorsa, böyle bir sistemde doğrusal olmayan bir hesap yapmanın kabul edilebilir doğrulukta bir sonuç vereceği oldukça şüphelidir. Binanın deprem güvenliğinin belirlenmesinde olduğu gibi, güçlendirmede de ayrıntılı taşıyıcı sistem hesabına gerek olmaksızın, basit önlemlerin uygulanması ile yapılan güçlendirme, basitleştirilmiş güçlendirme sınıfına girmektedir. Böylece olası bir şiddetli depremde kapsamlı güçlendirme yöntemlerine göre daha düşük bedellerle ve daha çabuk bir şekilde güçlendirme yapılarak toptan veya kısmi göçmenin önlenmesi amaçlanmaktadır.

Çizelge 5.1'e göre 1 ila 3 katlı betonarme veya yığma olan konut yapılarının tümü ile 4 ila 7 katlı betonarme veya yığma binaların bir kısmı basitleştirilmiş şekilde güçlendirilebilecektir. Bu sınır yapıların yüksekliğinin oturma alanına oranı ile de ilgilidir. Bu yöntemde ana fikir taşıyıcı duvarların ve/veya bölme duvarlarının iyileştirilerek yük taşıma kapasiteleri, süneklik ve dayanımlarının artırılmasıdır. Basitleştirilmiş güçlendirmede mevcut bölme duvarlarının yanında kalitesi iyileştirilen, süneklik ve dayanımı artırılan bölme duvarlarının yatay yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi önemli bir yer tutmaktadır.

5.1. Güçlendirmede Göz Önüne Alınacak Sınır Durumlar

Güçlendirmede göz önüne alınacak sınır durumlar, karşılanması beklenen deprem etkisi seviyesi ve binanın bu deprem etkisinde göstermesi beklenen performans seviyesi ile ilgilidir. Deprem etkisi, deprem yönetmeliğinde verilen kuvvet değerinin uygun bir azaltma katsayısı (örneğin %75) ile küçültülmesi ile kabul edilebilir. Bunun yanında daha gerçekçi deprem etkisi veren çalışmaların değerleri de kabul edilebilir. Ancak, burada önemli olan güçlendirme işleminde göz önüne alınacak deprem etkisinin, güvenlik seviyesinde göz önüne alınanın aynı olmaması ve arada belirgin bir farklılığın bulunmasıdır. Bu suretle minimum olarak güçlendirilmiş binanın yatay yük taşıma kapasitesi ile alt sınırdaki güçlendirmeye ihtiyaç duyulmayan binanın yatay yük taşıma kapasitesi arasında belirgin bir aralık bulunacaktır. Aşağıdaki bölümlerde bölme duvarlarının taşıma kapasitesinde göz önüne alınan sınır gerilmelerinin tespiti, binadan beklenen performans seviyesi ile doğrudan ilgilidir.

5.2. Bölme Duvarlarının Yatay Yük Taşıma Kapasitesi

Yığma binalarda bölme duvarları taşıyıcı sistemin bir parçası olarak ortaya çıkar ve düşey ve yatay yüklerin taşınmasında etkili olurlar. Ancak, bu katkı belirli ölçüde betonarme binalarda da söz konusudur. Bölme duvarları malzemesine, kalınlığına, harç malzemesine ve işçiliğine bağlı olarak özellikle yatay yüklerin karşılanmasında etkili olur. Yeni yapıların projelendirilmesini esas alan yönetmeliklerde genellikle bu ek kapasite göz önüne alınmaz. Ancak, mevcut yapıların genellikle yetersiz olmaları, sayılarının çok olması ve kapasitenin belirlenmesinde her türlü imkanın zorlanması durumunda bunların da göz önüne alınması kaçınılmazdır. Bu konuda önemli olan husus bölme duvarlarının kapasiteye etkisinin belirlenmesidir. Bu konuda İTÜ ve ODTÜ'nün ilgili laboratuvarlarında yapılan deneyler böyle bir kapasitenin varlığını açık biçimde göstermiştir.

Bölme duvarlarının güçlendirme elemanları olarak kullanılması özellikle az katlı betonarme binalarda önerilir. İşlemin dar kapsamlı olması ve deprem etkilerinin duvarlar yoluyla daha geniş bir alana yayılı olarak temele iletilmesi sebebiyle, çoğunlukla temel güçlendirmesine ihtiyaç göstermemesi bakımından tercih edilebilir. Bilindiği gibi klasik güçlendirme uygulamasında temellerin güçlendirmesi önemli bir problem teşkil eder.

Kolon ve kirişler arasında bulunan duvarlar düşey normal gerilmeler yanında kayma gerilmelerine de maruzdurlar. Karşılayabilecekleri kayma gerilmeleri düşey normal basınçla artabilir. Ancak, betonarme binalarda bulunan bölme duvarları çerçeveye sonradan eklendiği için düşey normal gerilmeleri sınırlı değerdedir. Bu sebepten taşınabilecek kayma gerilmesinin sınır değerinin yaklaşık olarak normal gerilmeden bağımsız olduğu kabul edilebilir. Ancak, burada kapasiteye etkili olarak bölme duvarı malzemesi, kalınlığı, harç malzemesi ve işçiliğinin katkılarının sayısal olarak göz önüne alınması önemlidir. Ayrıca, bu parametrelerin binalarda çok çeşitli uygulamalarının olması, yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu zorluk, bu parametreler için bir değer Çizelgesunun hazırlanması ile belirli ölçüde yenilebilir.

Yatay yükleri taşımada tuğla duvar, briket duvar ve beton duvarlar birlikte çalışacaklardır. Bilindiği üzere bu malzemelerin elastiklik modülleri farklıdır. Elastiklik modüllerinin oranı için daha doğru değerler bulunmaz ise yaklaşık olarak aşağıdaki değerler alınabilir:

$$E_{\text{beton duvar}} / E_{\text{briket}} = 15, E_{\text{beton duvar}} / E_{\text{tuğla duvar}} = E_{\text{beton duvar}} / E_{\text{taş duvar}} = 5 \quad (5.1)$$

Ancak işçilik ve malzeme kalitelerinin de bir şekilde hesaba katılması uygun olacaktır. Burada önemli olan çeşitli kalitede ve harç düzenine sahip duvarın birbirleri ile kıyaslanabilecek eşdeğer kayma alanlarının bulunmasıdır. Eşdeğer kayma alanlarını bulmak için 20 cm kalınlıklı düşey ve yatay harçlı dolu tuğla duvar esas kabul edilmiş ve diğer duvar türlerinin alanlarının bu eşdeğer alana dönüştürülmesi sırasında kullanılacak düzeltme katsayıları öngörülmüştür. Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4'de dolu duvar malzemesi türü, harç malzemesi ve işçiliğin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayıları bulunmaktadır. Örneğin, yatay delikli boşluklu tuğlanın 10cm kalınlıkla orta harç malzemesi ve orta işçilikle inşa edilmesi durumunda Çizelgedeki düzeltme katsayıları kullanılarak, toplam kayma alanı düzeltme katsayısı $0.4 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.8 = 0.20$ olarak ortaya çıkar. Yani, böyle bir

duvar alanı 0.20 katsayısı ile çarpılarak 20cm kalınlığında yatay ve düşey harçlı dolu tuğla duvar alanına dönüştürülecektir. Bu katsayılar şimdiye kadar yapılan incelemelere dayalı olarak düzenlenmiş olup, laboratuvar deney sonuçları ve teorik çalışmalarla daha gerçekçi değerler belirlenebilir.

Çizelge 5.2. Mevcut Bölme Duvarları Alanının Türüne Bağlı Olarak 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]

Duvar malzemesi			
Dolu tuğla	Düşey delikli boşluklu tuğla	Yatay delikli boşluklu tuğla	Briket
1.0	0.6	0.4	0.3

Çizelge 5.3. Mevcut Bölme Duvarları Alanının Kalınlığına, Harç Ve İşçilik Kalitesine Bağlı Olarak 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]

Kalınlık		Harç malzemesi			İşçilik		
10cm	20cm	Zayıf	Orta	İyi	Zayıf	Orta	İyi
0.8	1.0	0.5	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0

Çizelge 5.4. Mevcut Bölme Duvarları Alanının Harç Durumuna Bağlı Olarak 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]

Kireç harçlı		Çimento harçlı	
Yatay harçlı	Yatay ve düşey harçlı	Yatay harçlı	Yatay ve düşey harçlı
0.7	1.0	1.5	2.0

Çizelge 5.5. Taşıyıcı Sistemde Bulunan Betonarme Kolon Ve Perde Kesit Alanlarının 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]

Betonarme kolon			Betonarme perde		
Beton kalitesi			Beton kalitesi		
Düşük	Orta	İyi	Düşük	Orta	İyi
3.0	5.0	6.0	3.0	5.0	6.0

Çizelge 5.6. Özellikleri İyileştirilmiş Bölme Duvarları Alanının 20cm Kalınlığında Yatay Ve Düşey Harçlı Dolu Tuğla Duvar Alanına Çevirme Katsayıları [19]

Çelik hasır ve beton harç uygulaması		Uygulamanın kolonlara bağlantısı			Uygulamanın kirişlere bağlantısı		
Duvarın bir yüzüne	Duvarın iki yüzüne	Yok	Orta	İyi	Yok	Orta	İyi
4.0	5.0	0.5	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0

Bölme duvarlarının malzeme, harç ve işçilik kalitesi artırılarak yatay yük taşıma kapasitesi büyütülebilir. Bu işlem bölme duvarının yıkılıp yeniden yapılması şeklinde ortaya çıkar. Bu durumda yeni duvarın özellikleri dikkate alınarak yukarıdaki Çizelgelerde verilen düzeltme katsayıları kullanılabilir. Bunun yanında bölme duvarının bir veya iki yüzüne çelik hasır (örneğin Q106 veya daha yukarısı) ilavesi ve 5cm lik beton harç uygulaması ile duvarın yatay yük taşıma kapasitesi ve sünekliği önemli ölçüde arttırılabilir. Beton kalitesi için bir alt sınır (örneğin BS20) kabul edilecektir. Ortaya çıkan duvarın yatay yükler altındaki davranışı artık alışlagelen bölme duvarı gibi olmayacaktır. Ancak, bu davranış yine uygun basitleştirilmiş kabullerle duvar davranışına benzetilebilir. Böyle bir duvarın taşıdığı kesme kuvveti hesap edilebilir. Bölme ve yığma duvarların yatay kuvvet kapasitelerinin bulunmasında tekrar vurgulanması gereken husus bunların kat adetleri düşük olan binalarda kullanılmasının uygun olduğudur. Deprem kuvvetlerinin en az %25'inin hasır donatılı beton kesit ile karşılanması tavsiye edilmektedir. Güçlendirmenin duvarın iki tarafında yapılması tercih edilmelidir. Ancak üst katlarda kat kesme kuvveti azaldığı için, ilave edilecek perde boyları azaltılabilir veya duvarların tek tarafına perde ilavesi düşünülebilir. Bununla beraber planda duvar köşelerinin daha çok zorlandığı göz önünde bulundurularak bu kısımdaki ilavelerin bina

yüksekliğince en az 1 m uzunluk boyunca devamı tavsiye edilir. Güçlendirme duvarlarının kenetlenme donatıları ile bulunduğu kattaki kolonlar, üstte kirişle ve altta döşeme veya temelle bütünleşmesi çok önemlidir.

Yaklaşık ve hızlı değerlendirme için kullanılacak bu kabullerin, eğilme etkilerin etkili olacağı yüksek binalarda kabul edilebilecek bir yaklaşıklıktan öte sonuçlar vereceği unutulmamalıdır. Çizelge 5.5'de kolon ve perde alanlarının eşdeğer duvar alanına dönüştürme katsayıları verilmiştir. Çizelge 5.6'da ise özellikleri iyileştirilmiş bölme duvarında beton alanın dolu tuğla duvara dönüşüm katsayıları bulunmaktadır.

Bölme ve yığma duvarlarının yatay yük taşıma kapasitesine etkili olan ve G+Q+E yüklemesinde kullanılacak eşdeğer alana dönüştürme katsayıları yukarıdaki çizelgelerde verilmiştir. Bu hesap yönteminde yaklaşıklık oluşturulan ve tartışma konusu olabilecek hususlar aşağıdaki gibi verilebilir:

- Sistem yatay yük kapasitesinin kuvvet ve gerilmeye bağlı olarak hesaplanması ve yer değiştirmelerin göz önüne alınmaması: Güçlendirilmiş taşıyıcı sistem rijit olacağı için, taşıyıcı sistem kapasitesinde gerilmelerin daha etkili olduğu kabul edilebilir. Bölme duvarlarının iyileştirilmesi ile ortaya çıkan sistemlerde yer değiştirmenin, kapasiteyi kontrol eden bir parametre olması beklenmemektedir.
- Taşıyıcı sistemin davranışında kayma gerilmesinin esas alınması, eğilme etkilerinin ve düşey normal gerilmelerin etkisinin göz önüne alınmaması: Binaların çok katlı olmaması, duvarların her katta birbiri üzerine gelecek şekilde bulunması ve yeterli sayıda olması, kayma gerilmesinin etkili olması savının güçlendirmektedir.
- Düşey kesitte ve planda çok çeşitli düzende bulunan duvarların bu özelliklerinin hesaba yansımaması: Taşıyıcı olarak kabul edilecek duvarlar, temelden başlayarak devam edenler olup, bunların boşluksuz olan, alttan ve üstten betonarme plağa birleşen kısımlarının hesaba katılması öngörülmüştür.

Bulunan kayma gerilmeleri duvar malzemesi ile harcın incelenmesi sonucu bulunan ve belirli bir güvenlik katsayısı ile azaltılmış güç tükenmesine karşı gelen kayma gerilmeleri ile karşılaştırılmalıdır. Bunlar için daha güvenilir değerler bulunmadıkça aşağıdaki değerler alınabilir:

Brikt blok duvarlar	$\tau_u = 0.05 \text{ MPa}$	
Tuğla veya taş duvarlar	$\tau_u = 0.15 \text{ MPa}$	(5.2)
Beton bodrum duvarları	$\tau_u = 0.75 \text{ MPa}$	

Referans değeri olarak 20cm kalınlığında yatay ve dūşey kireç harçlı dolu tuğla duvarının G+Q+E yüklemesi altında kabul edilebilecek kayma gerilmesi uygun deneyler sonucu tespit edilmelidir. Bu değer daha doğru değerler bulunmadıkça, üstte verildiği üzere, 0.15 Mpa alınabilir, üst sınır olarak da 0.40 Mpa değeri verilebilir.

5.3. Basitleştirilmiş Güçlendirme Önlem Ve Yöntemleri

Basitleştirilmiş güçlendirme önlem ve yöntemlerinden tek başına veya beraberce yaygın olarak kullanılması muhtemel olanlar aşağıda ele alınmıştır:

5.3.1. Taşıyıcı Duvarların Arttırılması

Yığma binalarda duvar sayı ve alanı arttırılarak deprem güvenliği sağlanabilir. Bu işlem az katlı betonarme binalarda da uygulanabilir. İşlemin dar kapsamlı olması ve deprem etkilerinin geniş bir alana yayılı olarak temele iletilmesi sebebiyle çoğunlukla temel güçlendirmesine ihtiyaç göstermemesi bakımından tercih edilebilir. Bölme duvarlarının yatay yük kapasitesi için önceki bölümlerde verilen ilkeler kullanılarak taşıyıcı duvarların yeterli olup olmadığı kontrol edilebilir.

5.3.2. Bölme Duvarların Klasik Yöntemlerle Taşıyıcı Hale Dönüştürülmesi

Binada yeterli miktarda dolgu duvarı varsa, bu duvarların sıvası sökülüp bir veya iki yüzüne hasır donatı yerleştirilerek harçla tekrar sıvanabilir veya püskürtme betonla kaplanabilir. Bu durumda temel güçlendirmesine gerek olmayacak ve yapılacak işlem kapsamlı bir siva ölçüsünde kalacaktır. Bu tür güçlendirme çok katlı olmayan yığma binalar için uygundur. Ancak, az katlı betonarme olan binalar için de başarı ile uygulanabilir.

5.3.3. Öndöküm Betonarme Panellerle Taşıyıcı Sistem Oluşturulması

Bu kapsamda dolgu duvarlara bitişik (veya yapışık) önüretimli betonarme paneller kullanılarak, mevcut çerçeve sistemi ile bütünleştirilmiş yeni bir yanal yük taşıyıcı sistemi oluşturulur.

5.3.4. Bodrumda Çevre Perdeleri Yapılması

Binada bodrum betonarme çevre perdesi oluşturulması ile ek bir kapasite sağlanabilir. Bu işlem yığma taşıyıcı duvarlar kullanarak da yapılabilir. Bu suretle bir anlamda binanın depremdeki davranışına etkili olan kat adedi azaltılmış olmaktadır. Bu işlemin en kolay yapılabilen ve etkili bir güçlendirme müdahalesi olduğu unutulmamalıdır.

5.3.4. Kat Azaltılması

Yasal olanaklar elverdiği ölçüde uygulanması tercih edilmelidir. Bu durumun mal sahibi bakımından kabul edilmesi zor bir önlem olduğu unutulmamalıdır.

5.3.5. Ağır Balkonların ve Parapetlerin Kaldırılması

Ağır betonarme balkonlar kaldırılabilir ve parapetler hafif olanlarla değiştirilebilir.

5.3.6. Binadaki Düzensizliklerin Kaldırılması

Yeni bölme duvarlarının oluşturulması veya yerlerinin değiştirilmesi ile binada bölme duvarlarının düşey kesitte sürekliliğinin sağlanması önemlidir. Özellikle zemin katı ticari amaçla kullanılan binalarda bu kattaki bölme duvarı oranı diğer katlara göre düşüktür. Ayrıca, bu katta kat yüksekliği daha büyük olabilir. Bu düzensizliğin kaldırılması amacıyla zemin katta bazı bodrum kat duvar veya çevre perdelerinin devamı veya bazı kolonların mantolanarak güçlendirilmesi yeterli olabilir. Perdelerin zemin katta bırakılması yanında, kolon mantolanmasının sistemle bütünleşme bakımından bir kat devam ettirilmesi gereklidir.

5.3.7. Bölme Duvarlarının Karbon/Cam Lif Uygulaması ile Taşıyıcı Hale Dönüştürülmesi

Bu yöntem dolgu duvarlarının adı geçen malzemeler kullanılarak bina kullanımını aksatmadan, hızlı ve ekonomik bir şekilde güçlendirilmesi ve mevcut sistemin davranışına yardımcı olabilecek şekilde devreye sokulmasını hedeflemektedir. Karbon veya cam lifler çapraz şekilde duvara yapıştırılıp uçlarından tespit edilerek her iki deprem doğrultusunda çekme gerilmelerinin alınmasını sağlayacak

bir düzen oluşturulabilir. Keza duvar sünekliklerini artırmak amacıyla duvar bir veya iki yüzüne polimer esaslı tüller bir veya iki kat yapıştırılarak duvar güçlendirilebilir.

5.4. Uygulama

Örnek olmak üzere 1995 yılında Dinar depreminde hasar görmüş olan 3 katlı bir bina için püskürtme beton kullanılmak suretiyle yapılan basitleştirilmiş güçlendirme işlemi açıklanacaktır. Seçilen bina ayırık nizamda inşa edilmiş zemin kat+2 normal kattan ibaret toplam 3 katlı betonarme karkas bir yapıdır. Binada kat planları aynı olup tipik kat mimari ve kalıp planları aşağıda verilmiştir. Bir kat alanı 119.1 m² olup kat yükseklikleri zemin katta 3.00 m , diğer katlarda 2.85 m dir. Çatı katı teras olup çepeçevre 80 cm yüksekliğinde 1 tuğla kalınlıklı parapet duvar mevcuttur. Bina 1.derece deprem bölgesinde ve Z4 sınıfı zemine oturmaktadır. Mevcut beton kalitesi BS10 civarındadır. Donatı sınıfı BÇI dir. Kolon boyutları 20cm/30cm, kiriş boyutları 20cm/40cm dir. Döşeme betonu kalınlığı 14cm dir. Duvar yatay ve düşey kireç harçlı briket duvar olup duvar harç malzemesi ve işçilik orta düzeydedir.

Üç katlı betonarme bir binaya ait mimari plan Şekil 5.1'de, kat kalıp planı Şekil 5.2'de verilmiştir. Hesapta izlenen yol ve tahkikler aşağıda ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Yükler:

$$\text{Döşeme zati ağırlığı} \dots 0.14 \cdot 25.0 \text{ kN/m}^3 \dots = 3.50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sıva+kaplama ağırlığı} \dots = 1.60 \text{ kN/m}^2$$

$$g = 5.10 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} \dots q = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

Duvar yükleri: 1 tuğla 4.2 kN/m², ½ tuğla 2.5 kN/m² alındı.

Deprem Hesabına Esas Olan Yükler:

$$\text{Kat alanı} = 8.7 \cdot 12.4 + 3.4 \cdot 3.3 = 119.1 \text{ m}^2$$

$$\text{Kolon en kesit alanları toplamı} = 14 \cdot 0.2 \cdot 0.3 = 0.84 \text{ m}^2$$

Duvar alanları (pencere boşlukları ve kolon genişlikleri düşülmeden hesaplanmıştır):

1 tuğla duvar toplam uzunluğu $\cong 8.7*3+3.1*2+3.3+4.10+3.0+12.4*3-1.3=78.6$ m

½ tuğla duvar toplam uzunluğu $\cong 3.10+3.0+2.45*2+1.3 = 12.3$ m

1m yükseklik için duvar ağırlığı = $78.6*4.2+12.3*2.5 = 360.9$ kN/m

Kat ağırlıkları

3.kat

$$G_3 = 119.1*5.1 + (2.85/2-0.40)*360.9 + (8.7*2+12.4*2+3.3*2)*0.80*4.20(\text{parapet ağ.}) + \\ 0.84*(2.85/2-0.40)*25.(\text{kolon zati ağ.}) + (8.7*3+3.3*3+12.4*3+3.4)*0.20*(0.4-0.14)*25 \\ (\text{kiriş fazlası ağ.}) = 1270.0 \text{ kN}$$

$$Q_3 = 119.1*2.0 = 238.2 \text{ kN}$$

$$W_3 = 1270.0 + 0.30 * 238.2 = 1341.5 \text{ kN}$$

2.kat

$$G_3 = 119.1*5.1 + (2.85-0.40)*360.9 + 0.84*(2.85-0.40)*25.(\text{kolon zati ağ.}) + \\ (8.7*3+3.3*3+12.4*3+3.4)*0.20*(0.4-0.14)*25(\text{kiriş fazlası ağ.}) = 1650.3 \text{ kN}$$

$$Q_2 = 238.2 \text{ kN}$$

$$W_2 = 1650.3 + 0.30 * 238.2 = 1721.8 \text{ kN}$$

1.kat

$$G_3 = 119.1*5.1 + [(3.0+2.85)/2-0.40]*360.9 + 0.84*(2.525)*25.(\text{kolon zati ağ.}) + \\ (8.7*3+3.3*3+12.4*3+3.4)*0.20*(0.4-0.14)*25(\text{kiriş fazlası ağ.}) = 1678.9 \text{ kN}$$

$$Q_2 = 238.2 \text{ kN}$$

$$W_2 = 1678.9 + 0.30 * 238.2 = 1750.4 \text{ kN}$$

$$W = \sum_{i=1}^3 W_i = 1341.5 + 1721.8 + 1750.4 = 4813.7 \text{ kN}$$

$$\text{Deprem Kuvveti} : V_t = A_0 I S / R . W = 0.40*1*2.5/2.5 * 4813.7 = 1925.5 \text{ kN}$$

Kayma Gerilmesi Tahkiki

Tahkik zemin katta yapılacak, her bir doğrultudaki duvar boyları kapı ve pencere boşlukları ile kolon genişlikleri düşülerek hesaplanacaktır.

Yatay ve düşey kireç harçlı bir tuğla kalınlıklı briket duvarı 20cm kalınlığında yatay ve düşey harçlı dolu tuğla duvar alanına çevirme katsayısı ($= \varphi$) :

$$\varphi = 0.3(\text{briket tuğla}) * 0.8(\text{orta kalitede harç}) * 0.8(\text{orta kalitede işçilik}) * 1.0(\text{yatay ve düşey kireç harçlı duvar}) * 1.0(20\text{cm kalınlık})$$

$$\varphi = 0.192$$

olarak bulunur. Keza mevcut betonarme kolonları 20cm kalınlıklı tuğla duvar alanına çevirme katsayısı beton kalitesinin düşük olduğu varsayımı ile 3.0 alınmıştır.

X doğrultusunda tahkik:

$$1 \text{ tuğla kalınlıklı duvar uzunluğu} = (8.70 - 2 * 1.5 - 0.90 - 3 * 0.20) + (5.20 - 0.90) + (6.8 - 2 * 0.2 - 0.30) + (12.0 - 1.2 - 0.9 - 1.0 - 3 * 0.2 - 2 * 0.3) + (8.70 - 1.5 - 1.2 - 3 * 0.2) = 4.2 + 4.3 + 6.1 + 7.7 + 5.4 = 27.7\text{m}$$

$$\tau_x = 1925.5 / (0.192 * 27.7 + 3.0 * 0.84) = 1925.5 / 7.84 = 245.6 \text{ kN/m}^2 > 150. \text{ kN/m}^2$$

Y doğrultusunda tahkik:

$$1 \text{ tuğla kalınlıklı duvar uzunluğu} = (3.4 - 2 * 0.30) + (12.4 - 3 * 1.5 - 0.8) + (8.0 - 0.8 - 0.9 - 2 * 0.2 - 0.30) + (4.60 - 2 * 0.3) + (12.40 - 1.3 - 1.5 - 2 * 0.3 - 0.2) = 2.8 + 7.1 + 5.6 + 4.0 + 8.8 = 28.3\text{m}$$

$$\tau_y = 1925.5 / (0.192 * 28.3 + 3.0 * 0.84) = 1925.5 / 7.95 = 242.2 \text{ kN/m}^2 > 150. \text{ kN/m}^2$$

olarak elde edilir.

Basitleştirilmiş Güçlendirme İşlemine Ait Tahkik Hesabı

Her iki doğrultuda kayma gerilmesi sınırı aşıldığından bazı duvarlarda çelik hasır ilavesi ile püskürtme şeklinde beton harç uygulaması yapılacaktır. 20 cm kalınlıklı tuğla duvar alanına çevirme

katsayısı bu işlemin duvarın bir yüzüne uygulanması halinde 4.0, iki yüzüne birden uygulanması halinde 5.0 alınacaktır.

Beton püskürtme işlemi bina fonksiyonu bakımından uygun olan yerlerde yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla özellikle köşe bölgeler ve olduğunca bina dışı seçilmiştir. Püskürtme beton uygulaması yapılan duvarlar aynı mimari plan üzerine işlenerek Şekil 5.3'de verilmiştir. İlave beton ağırlıkları da hesapta dikkate alınmıştır.

Şekilde görülen ilave beton alanları toplamı 2.783 m^2 olup bu duvarlar dolayısıyla deprem hesabına esas olan ağırlık $(2.85*2+3.0/2)*25.0*2.783= 500.9 \text{ kN}$, dolayısıyla toplam ağırlık ve zemin kat kesme kuvveti

$$W' = 4813.7+500.9= 5314.6 \text{ kN} , \quad V_t' = 5314.6*0.40 = 2125.8 \text{ kN} \quad \text{olarak elde edilir.}$$

X doğrultusunda tahkik

$$\text{İki taraflı ilave yapılan duvar alanı} = (8.7*2-2*2*1.5+6.2*2-2*1.5)*5*0.05=20.8*0.25=5.2\text{m}^2$$

$$\text{Tek taraflı ilave yapılan duvar alanı} = (3.3+1.2+1.0)*4*0.05=5.5*0.20=1.10\text{m}^2$$

$$\text{Kapatılan duvar alanı} = 0.9*0.20=0.18 \text{ m}^2$$

$$\text{Nihai alan} = 7.84+5.2+1.1+0.18 = 14.32 \text{ m}^2$$

$$\text{Güçlendirilmiş durumda kayma gerilmesi: } \tau_x' = 2125.8 / 14.32 = 148.4 \text{ kN/m}^2 < 150 \text{ kN/m}^2$$

Y doğrultusunda tahkik

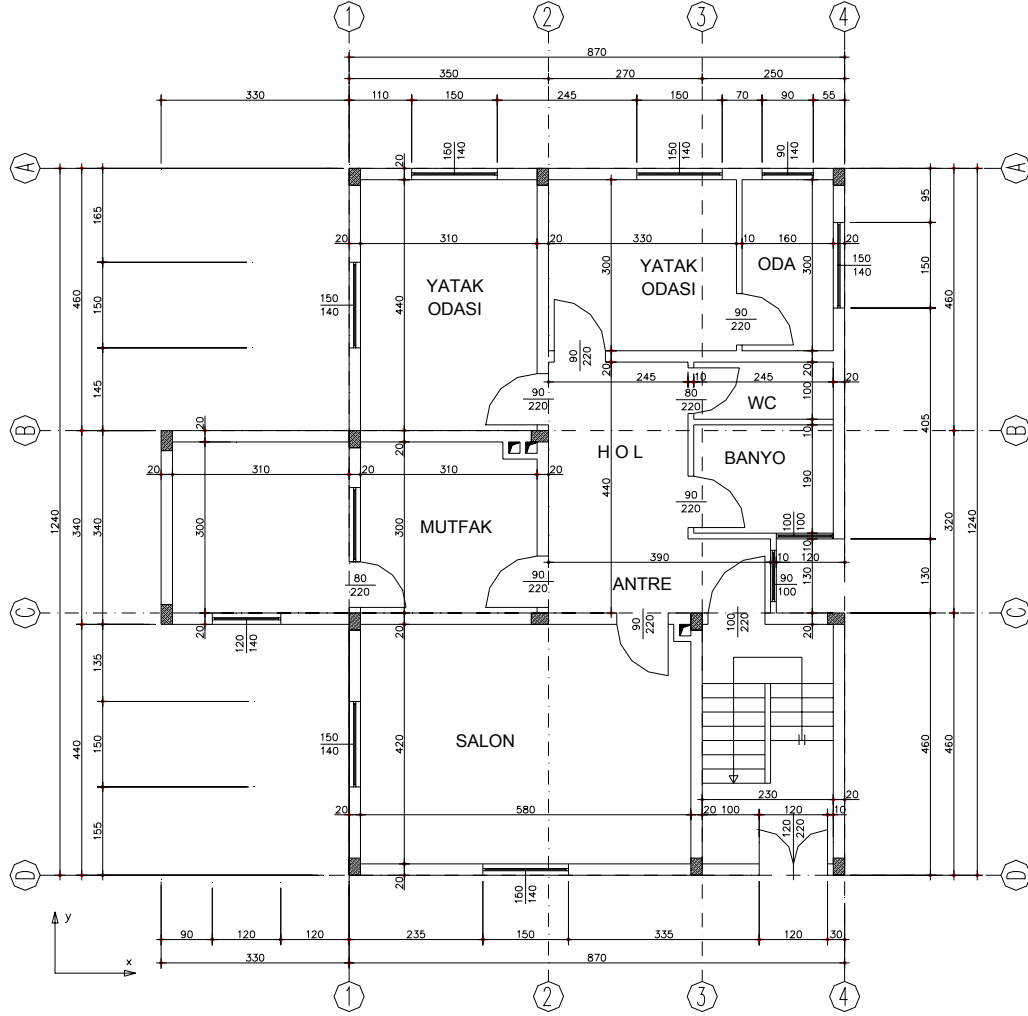
$$\text{İki taraflı ilave yapılan duvar alanı} = (4.6*2-2*1.5+3.4*2+0.95*2+4.4*2-2*1.5)*5*0.05$$

$$=20.7*0.25=5.175\text{m}^2$$

$$\text{Tek taraflı ilave yapılan duvar alanı} = (4.05+4.6)*4*0.05=8.65*0.20=1.73\text{m}^2$$

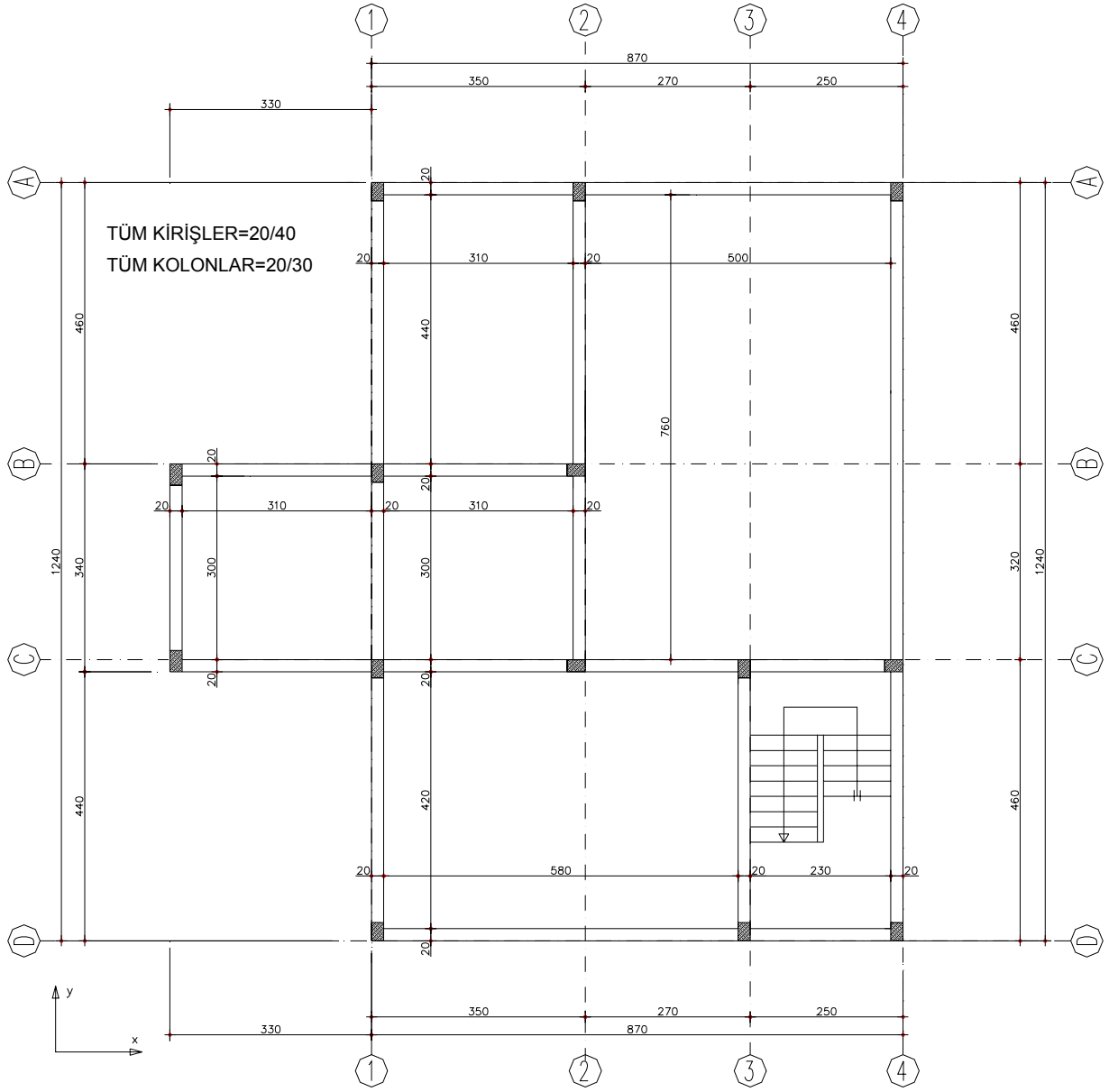
$$\text{Nihai alan} = 7.95+5.175+1.73 = 14.855 \text{ m}^2$$

$$\text{Güçlendirilmiş durumda kayma gerilmesi: } \tau_y' = 2125.8 / 14.32 = 143.1 \text{ kN/m}^2 < 150 \text{ kN/m}^2$$

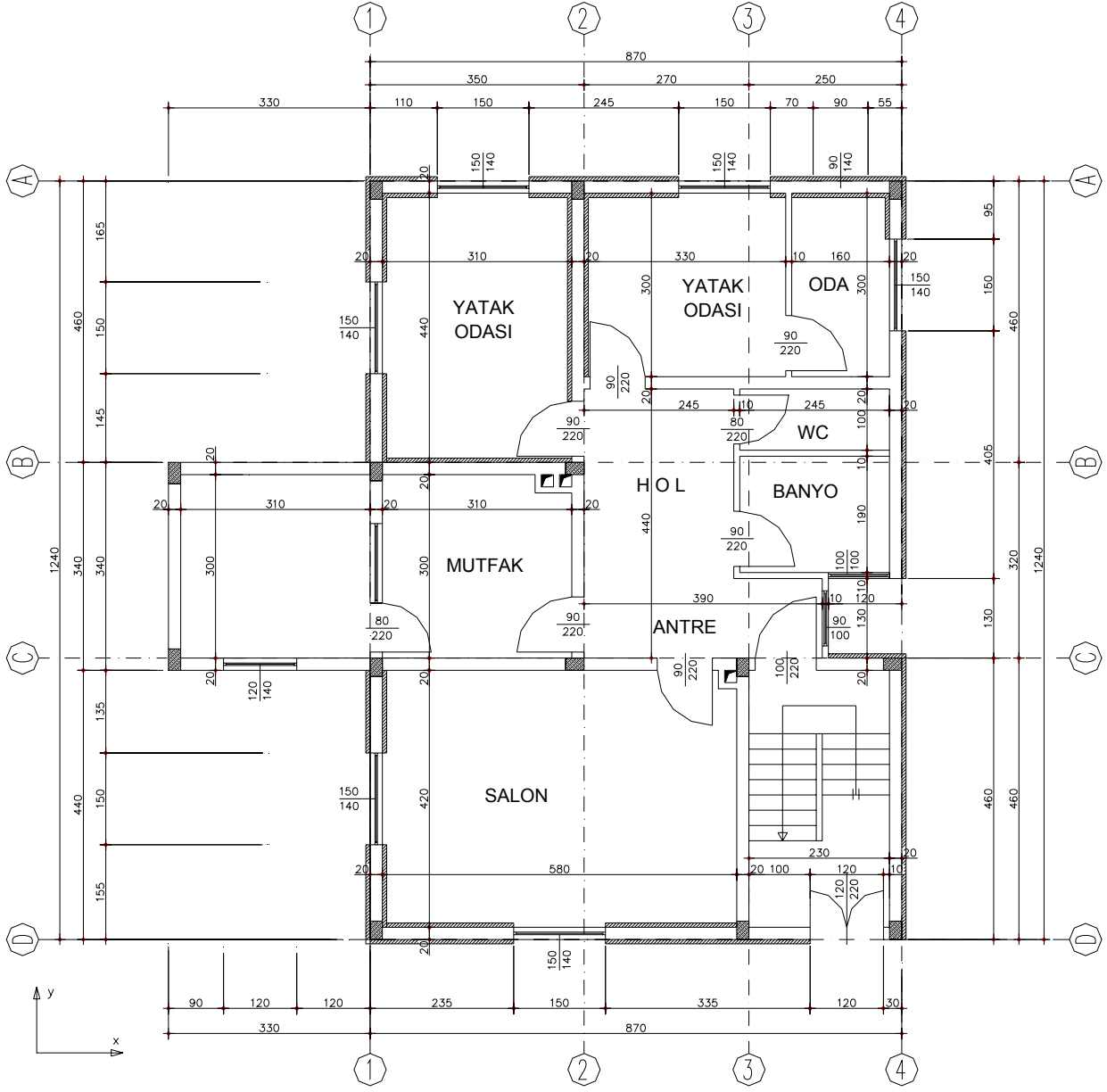


Şekil 1=KAT PLANI Ö=1/100

Şekil 5.1. Kat Planı



Şekil 5.2. Kat Planı



Şekil 3=GÜÇLENDİRİLMİŞ KAT PLANI Ö=1/100

Şekil 5.3. Kat Planı

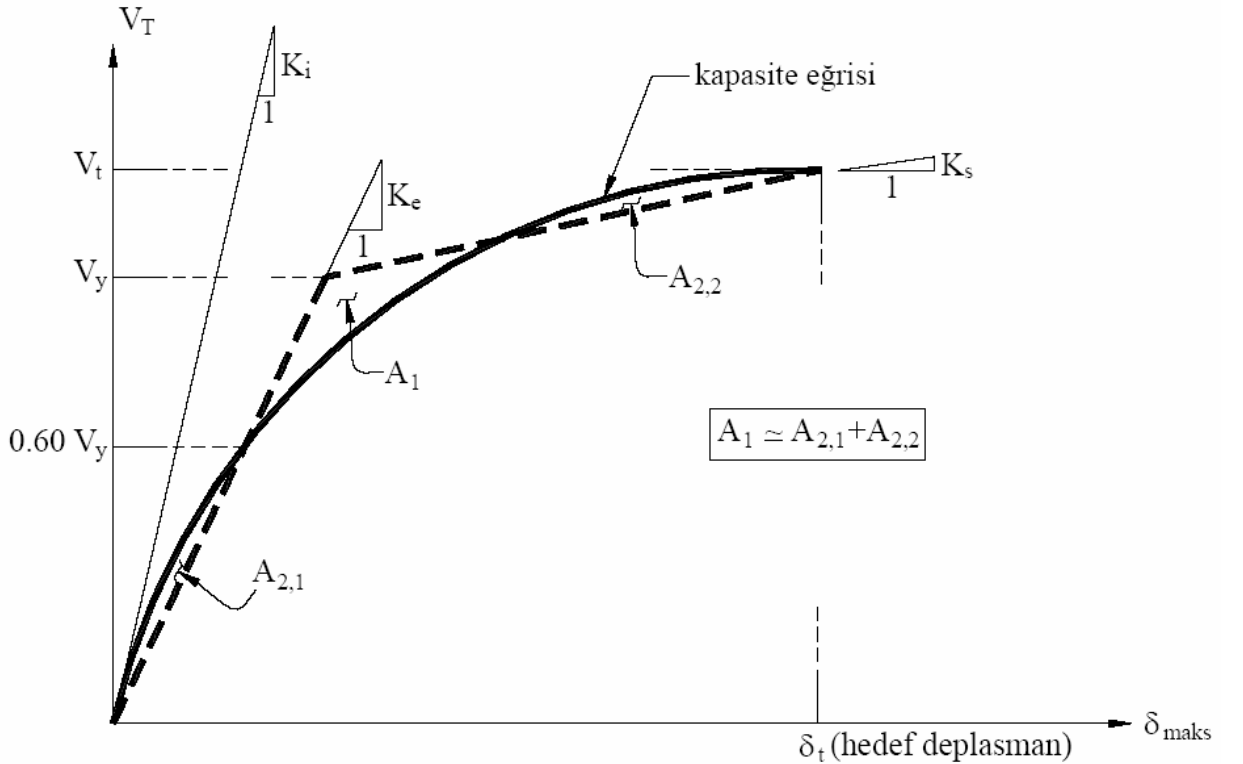
6. YAPI PERFORMASININ BELİRLENMESİ

Mevcut bir yapının seçilen bir depreme göre performansı en doğru olarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözümlerle belirlenebilir. Ancak bu yöntem oldukça karışık ve zor bir yöntemdir. Bu sebeple, mevcut yapıların performansının belirlenmesi için FEMA 356 basitleştirilmiş değişik yöntemler önermiştir. Bu yöntemlerden en etkili ve en çok tercih edileni “Doğrusal Olmayan Statik Analiz” ya da bilinen adıyla “Statik İtme Analizi” dir [20].

Statik İtme Analizinin amacı; seçilen tasarım depremine göre, yapının dayanım ve deformasyon taleplerinin belirlenerek yapı performansının bulunması ve bu taleplerin seçilen performans seviyesi kriterlerini sağlayıp sağlamadığının belirlenmesidir. FEMA 356, yapıya etkiyen yatay yüklerin, yapı için hedeflenen deplasmana kadar adım adım arttırılmasını öngörmektedir. Hedef deplasman, yapının seçilen depreme göre yapabileceği en büyük deplasmandır. Yapı deplasmanının kontrol edileceği nokta olarak, en üst katın ağırlık merkezi noktasının kullanılması önerilmektedir. Statik İtme Analizine başlamadan önce yapıya ilk olarak düşey yükler yüklenmeli, yatay yükler daha sonra pozitif ve negatif yönler için ayrı ayrı etkitilmelidir. Elastik olmayan davranışını tanımlamak için seçilen kesitlerin moment-eğrilik gibi özellikleri analizden önce tanımlanmalıdır.

6.1. Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi (Fema 356)

Deplasman katsayısı yönteminde önce V_T taban kesme kuvveti ile δ_{maks} tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyotuna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, doğrusal olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği (K_s) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve K_e eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0.60 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekir (Şekil 6.1) [21, 22].



Şekil 6.1. İki Doğru Parçası İle İdealleştirilen Kapasite Eğrisi

Bu şekilde idealleştirilen kapasite eğrisi için, sistemin T_e etkin doğal periyodu, T_i hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyodu göstermek üzere

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (6.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Yapı sisteminin T_e etkin doğal periyodu bulunduğundan sonra, hedef yerdeğiştirme

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (6.2)$$

formülü ile elde edilir. Bu formüldeki katsayı ve büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır.

C_0 : Çok serbestlik dereceli yapı sisteminin tepe noktasının yer değiştirmesini, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteminin spektral yer değiştirmesinden elde etmek için düzeltme faktörü olup;

- Kontrol düğüm noktası seviyesinde birinci mod katılım faktörü
- Hedef yer değiştirmedeki binanın sapsiz şekline bağlı şekil vektörünü kullanarak hesaplanan kontrol düğüm seviyesindeki model katılım faktörü (değişken yük dağılımı için) yöntemlerinden birisi ile belirlenir.

C_1 : En büyük elastik olmayan yer değiştirmeleri, doğrusal elastik analizle bulunan yer değiştirmelerden elde etmek için kullanılan düzeltme sayısı olup

$$C_1 = 1.0 \quad (T_e \geq T_s) \quad (6.3)$$

$$C_1 = \frac{1}{R} \left[1.0 + (R-1) \frac{T_s}{T_e} \right] \quad (T_e < T_s) \quad (6.4)$$

şeklinde hesaplanır. Fakat C_1 , 1.0 den küçük olamaz.

T_e : İncelenen doğrultuda binanın etkili doğal periyodu

T_s : Tasarım spektrumunun üst kısmındaki sabit bölümünün bitimine karşı gelen periyot

R : Yapının elastik dayanım talebinin, yapı akma dayanımına oranı olup

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (6.5)$$

denklemleri ile hesaplanır.

S_a : Etkili periyoda karşı gelen spektral ivme

V_y : Statik itme analizi ile elde edilen yapı akma dayanımı

W : Yapı ağırlığı

C_m : m.modun etkili kütle oranı

C_2 : En büyük yer değiştirme tepkisindeki mukavemet bozulması, rijitlik azalması ve sıkışmış histeretik şekli etkisini temsil eden değiştirme katsayısıdır. Hesaplarda 1.0 alınabilir.

C_3 : İkinci merteye etkilerini dikkate almak için düzeltme katsayısı olup dayanım eğrisinin akmadan sonraki kısmının eğimi pozitif ise 1.0 olarak alınır.

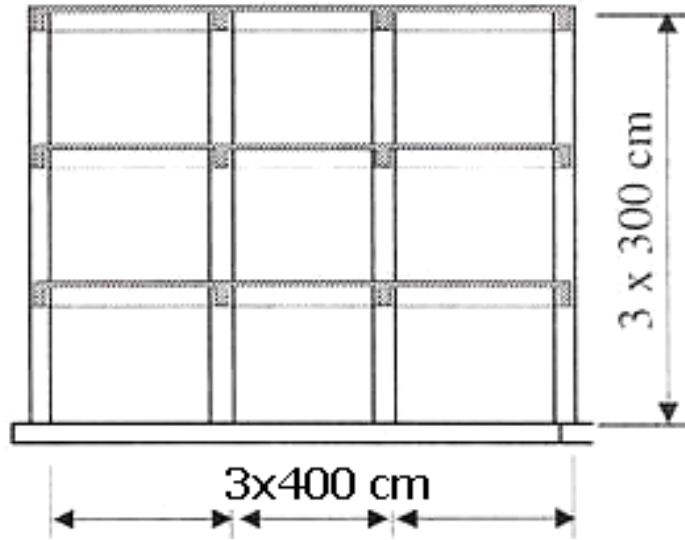
7. SAYISAL UYGULAMALAR

7.1. Idarc Programı İle Betonarme Çerçevesinin Modellenmesi

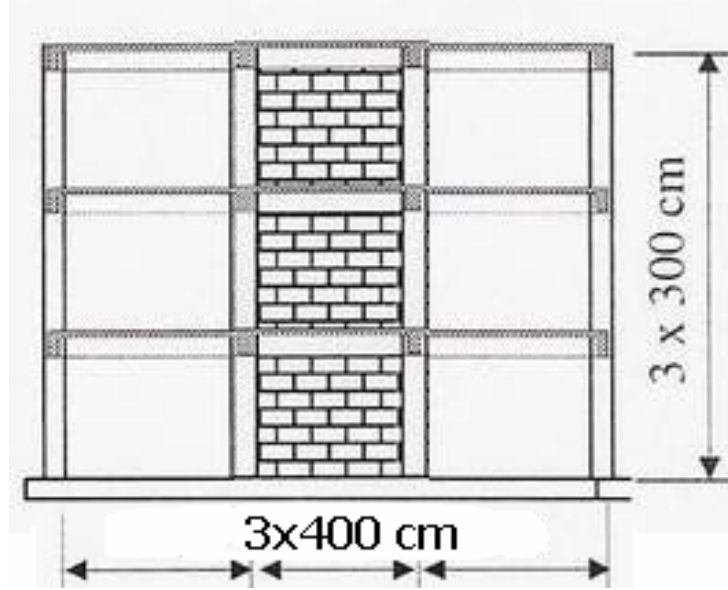
Performans değerlendirmesi yapmak üzere üç katlı üç açıklıklı betonarme çerçeve sistemi seçilmiştir. IDARC programı kullanılarak pushover (statik itme) analizi yapılmıştır. Dolgusuz, dolgulu ve güçlendirilmiş dolgulu betonarme çerçeve sistemlerin analizleri yapılarak düzlemsel betonarme çerçevelerin çizilen kapasite eğrileriyle dayanımı araştırılmıştır.

Çerçeve, kiriş, kolon ve duvar elemanları kullanılarak iki boyutlu olarak modellenmiştir. Kolonların ve kirişlerin kesitleri 20*25 cm ve 20*32,5 cm dir. Çerçevelerin boyutları aşağıda görülmektedir. Betonarme elemanlar için ortalama beton mukavemeti 16 Mpa dır. Donatıların akma mukavemetleri ortalama 300 Mpa dır

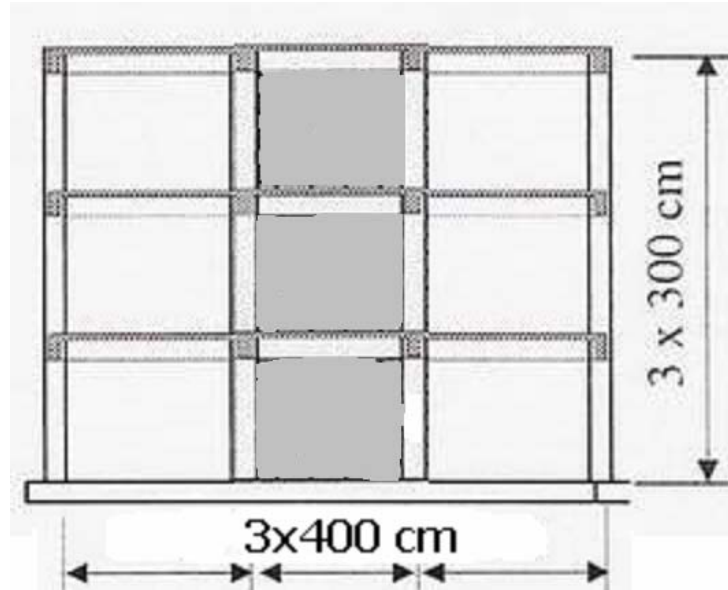
IDARC programında dolgu paneller perde duvar gibi donatılı olarak modellenmektedir. Bu nedenle basitleştirilmiş güçlendirme yöntemine bağlı olarak 20 cm kalınlığındaki tuğla duvarın eşdeğer perde duvar kalınlığı bulunmuş ve donatısız olarak modellenmiştir. Dolgu duvar her iki yüzüne donatı ağı eklenerek 4 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş dolgu duvar için her iki yüzdeki 4 cm kalınlığındaki püskürtme beton 20 cm kalınlığındaki eşdeğer tuğla duvar kalınlığına eklenerek donatılı olarak modellenmiştir. Güçlendirilmiş dolgu duvardaki yatay ve düşey donatı miktarı %0.5 dir.



Şekil 7.1.1. Dolgusuz Betonarme Çerçeve (3KÇ)



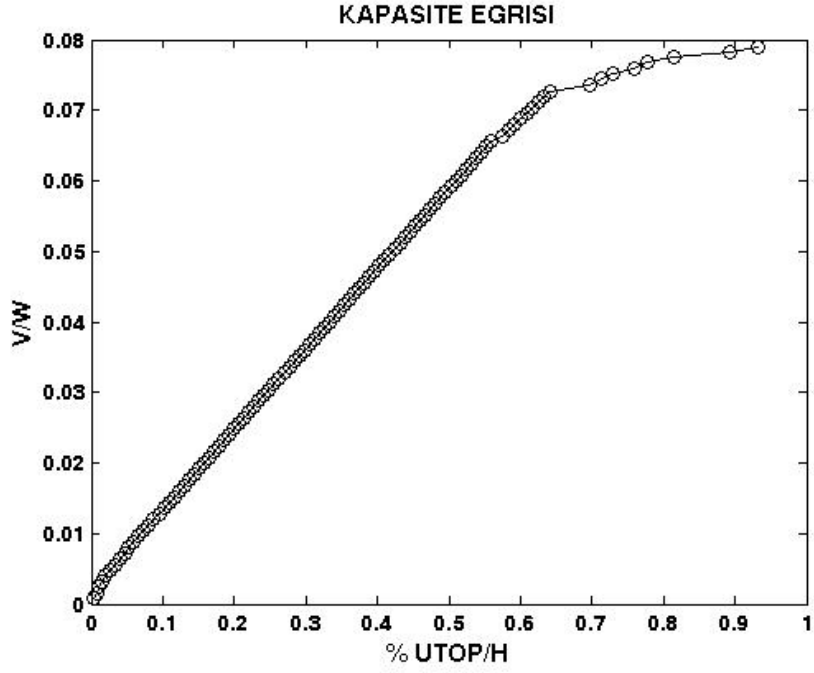
Şekil 7.1.2. Dolgulu Betonarme Çerçeve (3KTDC)



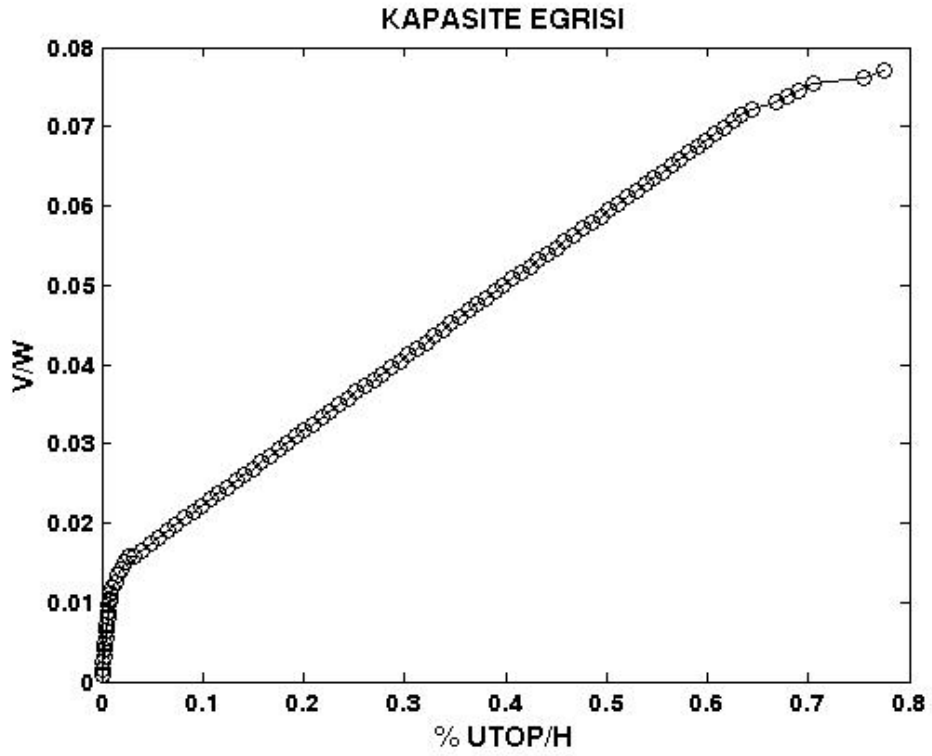
Şekil 7.1.3. Güçlendirilmiş Dolgulu Betonarme Çerçeve (3KGDÇ)

Dolgulu ve dolgusuz çerçevelerin kuvvet kontrollü pushover analizi yapılarak, istenen kuvvet değeri karşısında yapının her katının yaptığı deplasman bulunmuş ve bu deplasman değerleri karşılaştırılarak dolgulu, dolgusuz yapının performansı değerlendirilmiştir. Kuvvet kontrollü için,

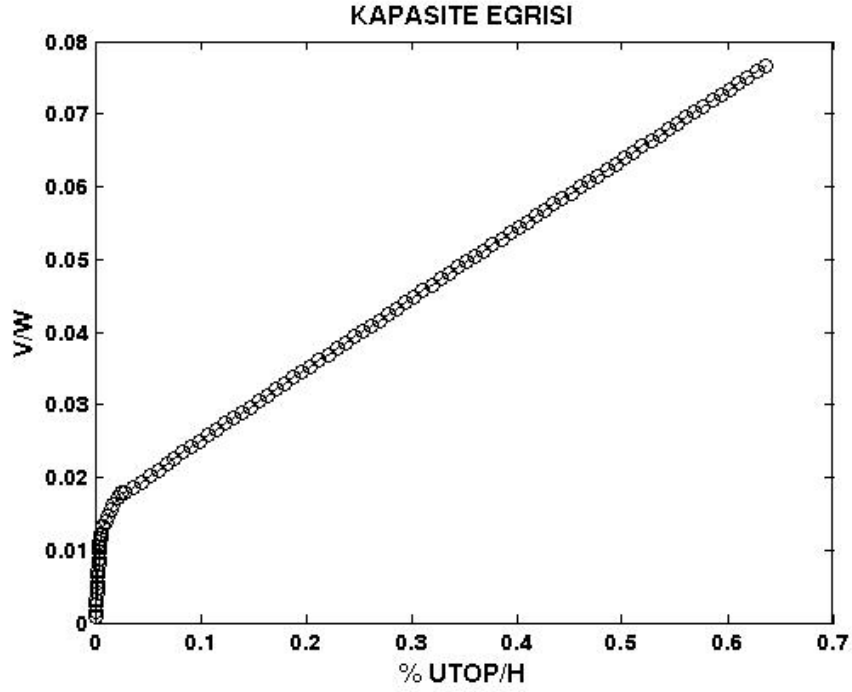
hedef taban kesme kuvveti katsayısı (V/W) 0.08 alınmıştır. Dolgulu ve dolgusuz çerçevenin bu kuvvet karşısında yaptığı deplasmanlar Çizelge 7.1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1.4. Dolgusuz Betonarme Çerçeve Kapasite Eğrisi



Şekil 7.1.5. Dolgulu Betonarme Çerçeve Kapasite Eğrisi

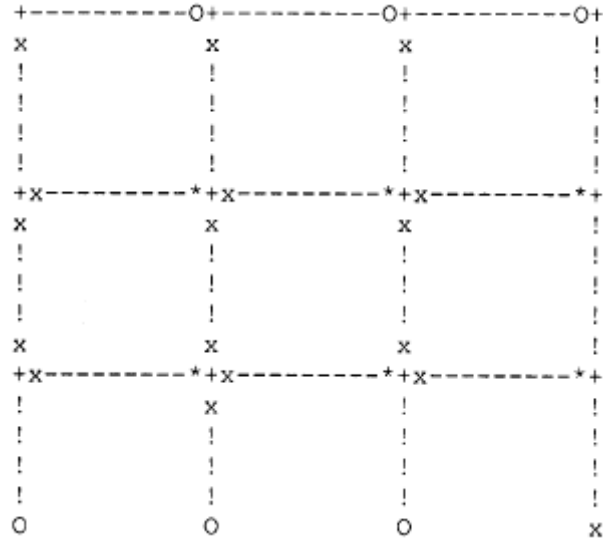


Şekil 7.1.6. Dolgulu Betonarme Çerçeve Kapasite Eğrisi

Çizelge 7.1.1. Analiz Sonuçları

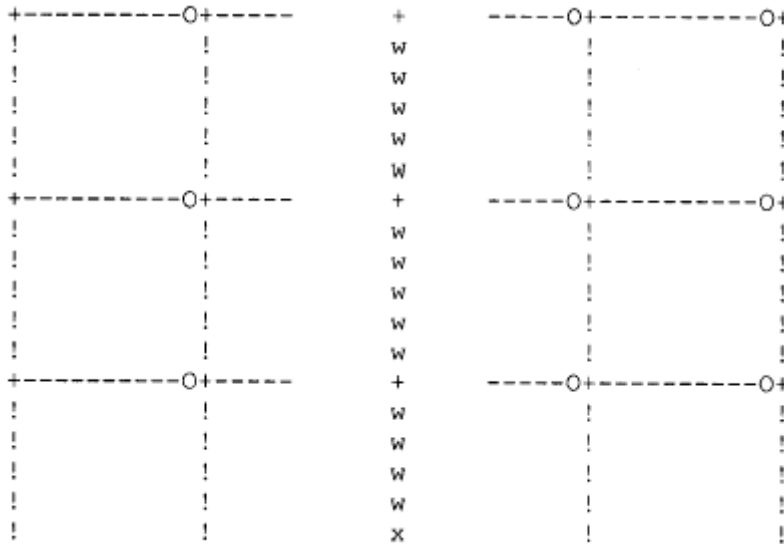
Çerçeveler	V/W	3.Kat Deplasmanı	2.Kat Deplasmanı	1.Kat Deplasmanı
3KÇ	0.0799	83.9547 mm	61.2555 mm	24.7037 mm
3KTDÇ	0.0770	69.8262 mm	43.9425 mm	17.9903 mm
3KGDÇ	0.0766	57.2950 mm	36.1243 mm	14.9430 mm

IDARC programı sayesinde analiz sonunda çerçeve elemanları üzerinde oluşan göçme ve plastik mafsallaşma durumlarını çerçeve modeli üzerinde görebiliriz. 3KÇ, 3KTDÇ ve 3KGDÇ için göçme durumları aşağıda gösterilmiştir.



- = Kiriş
- ! = Kolon
- x = Beton için çatlaklar
- O = Plastik mafsal
- * = Yerel göçme
- w = Perde duvar

Şekil 7.1.7. 3KÇ için Göçme Durumları



- = Kiriş
- ! = Kolon
- x = Beton için çatlaklar
- O = Plastik mafsal
- * = Yerel göçme
- w = Perde duvar

Şekil 7.1.8. 3KDÇ için Göçme Durumları

[Kaynak 3] de anlatılan İTU Yapı ve Deprem Laboratuvarında yapılan deneysel çalışma için kullanılan güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş çerçeve modeli Idarc programı ile modellenmiştir. Performans değerlendirmesi için deplasman kontrollü pushover analizi yapılmıştır. Güçlendirilmiş tuğla duvarın eşdeğer perde duvar kalınlığı bulunmuş ve programlarda ona göre çözüm yapılmıştır. 10 cm kalınlığında tuğla duvar 4 cm kalınlığında perde duvara eşdeğer olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar deneysel çalışma neticeleri ile karşılaştırılmıştır. Boş, güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş çerçeve pushover analiz sonuçları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 7.1.2. Numunelerin Analiz Sonuçları

		Boş Çerçeve(S1T1)	Dolgu Duvarlı Çerçeve(S2T1)	Güçlendirilmiş Çerçeve(S2T2)
Deneysel	Kuvvet	79.00 KN	250.00 KN	248 KN
	Deplasman	23 mm	3 mm	1.80 mm
Idarc	Kuvvet	75.78 KN	216.59	236.21
	Deplasman	23 mm	3.0 mm	1.80 mm

IDARC programının pushover analizi kullanılarak elde edilen deplasman değerlerinden görülebileceği gibi dolgu duvar etkisi hesaba katılmadan önceki deplasman değeri sonuçlarıyla hesaba katıldığı durum arasında büyük bir fark olduğu görülmektedir. Bu yaklaşımla, dolgu duvarların rijitlik ve mukavemet katkısını ihmal eden hesap metotları ile yapılacak yapı hesaplarının güvenilirliğinin, en azından tartışmalı olduğu söylenebilir.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan gevrek ve taşıyıcı olmayan bölme duvarların her iki yüzeylerine çelik hasır ve püskürtme beton uygulayarak taşıyıcı hale getirilmesi, göçme biçiminin kontrolü ve bu yolla sistemin depreme karşı güçlendirilmesi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, dolgu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan çelik hasır ve püskürtme betonun sistem davranışına katkısı olduğu analiz sonuçlarından anlaşılmıştır.

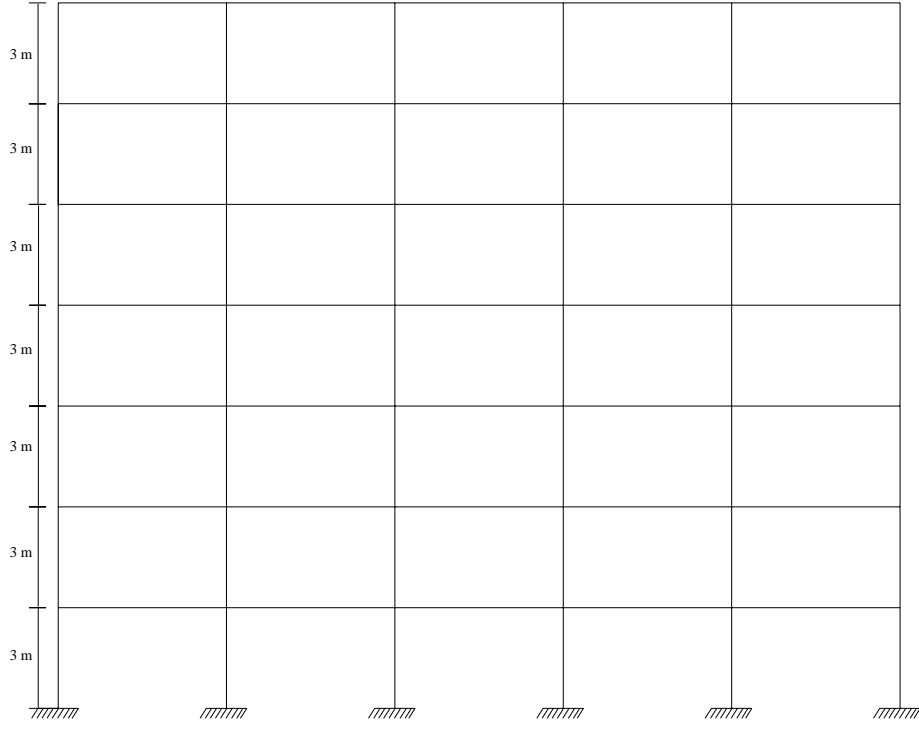
Dolgu duvarlar çoğunlukla ince cidarlı delikli gevrek tuğla ile örülmektedir. Bu tuğlaların basınç dayanımları düşüktür ve tuğlaların delikleri yatay olacak şekilde örülen bölme duvarların çerçeve ile bağlantısına özen gösterilmemektedir. Önceki çalışmalarda elde edilen deney verilerinin ve kuramsal çalışmaların, ülkemizde kullanılan yapı elemanlarına uygun olarak yeniden denenmesi ve kuramsal olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

7.2. Sap2000 Programı İle Betonarme Çerçevelerin Performansının Değerlendirilmesi

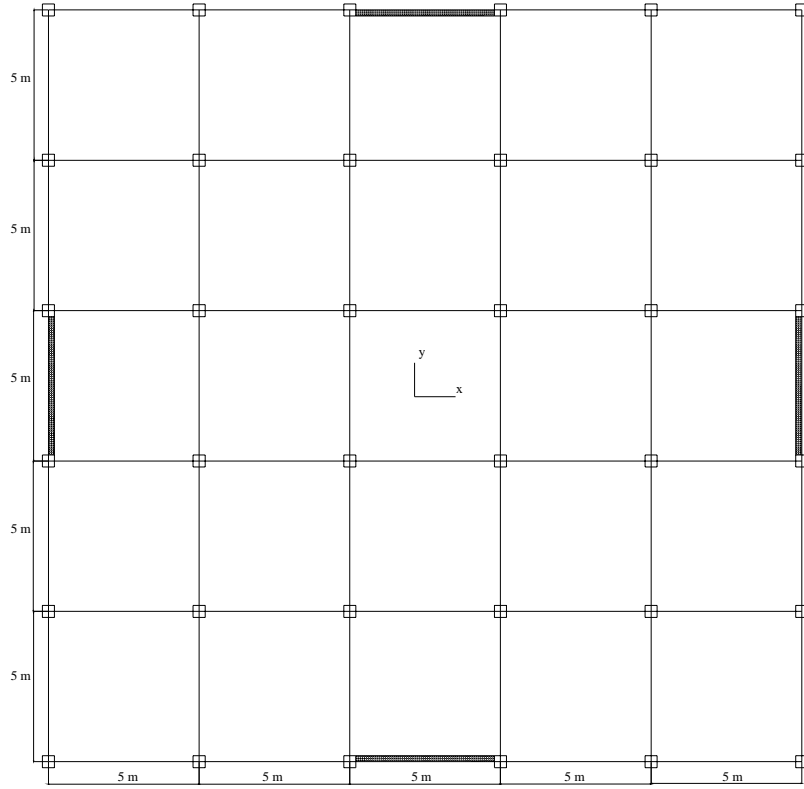
Performans değerlendirmelerini yapmak üzere, 7 katlı betonarme yapı sistemi seçilmiştir (Şekil 7.2.1 – 7.2.2). Yapısal düzensizliği bulunmayan bu yapı öncelikle TS-500 [TSE, 2000] ve ABYYHY-2006'a göre boyutlandırılmıştır. Tüm kolonlar 50x50 cm ve tüm kirişler 25x50 cm boyutlarındadır. Kolon ve kiriş boyutları her katta aynıdır. Kat yükseklikleri 3.0 m, kat alanı ise 625 m²'dir. Döşeme kalınlığı 14 cm dir. Beton sınıfı BS 20, çelik sınıfı ise S420 dir. Yapı boyutlandırılmasında 2006 Deprem Yönetmeliğine göre kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 7.2.1. 2006 Deprem Yönetmeliğine Parametreleri

Deprem bölgesi	1
Deprem bölge katsayısı	0.4
Deprem yapı önem katsayısı	1.0
Zemin periyodu	$T_a=0.15 - T_b=0.4$
Hareketli yük katılım katsayısı	0.3



Şekil 7.2.1. Bina Görünüşü



Şekil 7.2.2. Kat Planı

Betonarme yapıların performansını belirlemek için üç boyutlu bina analiz programı olan Sap2000 V10 programı kullanılmıştır. Betonarme yapılar için doğrusal olmayan statik itme analizi (pushover) yapılmıştır. Sap2000 V10 programı ile FEMA 356 da Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi ile yapı performansları belirlenmiştir. Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş duvarlar eşdeğer basınç çubuğu metoduna göre çapraz elemanlar olarak modellenmiştir. Şekil 7.2.2'de görüldüğü gibi dolgu duvarlar betonarme yapının dış çerçevelerinin orta açıklığına yerleştirilmiştir.

Seçilen binanın kolonları ve kirişleri Sap2000 V10 programında önceden tasarlanmış betonarme bina projesine uygun bir şekilde, 3 boyutlu olarak yerleştirilmiştir. Döşemeler, malzeme ve kesit özellikleri dikkate alınarak ilave edilmiştir.

Betonarme yapı üzerinde dolgu duvar, hasır donatılı beton tabakası ile güçlendirme ve diğer güçlendirme tekniklerinin etkilerini incelemek için Sap2000 V10 programı ile oluşturulan modeller aşağıda verilmiştir.

- 7KBY: 7 katlı dolgu duvarsız betonarme yapı
- 7KDBY: 7 katlı tuğla duvarlı betonarme yapı
- 7KDHYB: 7 katlı tuğla duvarları hasır donatılı beton tabakası ile takviye edilmiş betonarme yapı
- 7KDFBY: 7 katlı tuğla duvarları FRP ile güçlendirilmiş betonarme yapı
- 7KDÇBY: 7 katlı tuğla duvarları çelik şeritler ile güçlendirilmiş betonarme yapı
- 7KDPBY: 7 katlı perde duvarlı betonarme yapı

7.2.1. SAP 2000 İle Pushover Analiz (Elastik Ötesi Statik İtme Analizi) İçin Özet Açıklama

Son dönemde yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesi amacıyla lineer olmayan statik analiz yöntemlerinin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Lineer olmayan statik analiz yöntemleri (Kapasite Spektrum Yöntemi, Yerdeğiştirme Katsayısı Yöntemi vb.) ile yapıların performansa (deprem güvenliğine) dayalı tasarım ve değerlendirilmesi temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır.

Bu üç aşama sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- 1) Yapının yatay deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden ve kapasite eğrisi (Pushover Eğrisi) olarak isimlendirilen yatay kuvvet-deplasman ilişkisinin belirlenmesi.

- 2) Göz önüne alınan deprem tehlike seviyesi için yapının maksimum elastik olmayan deplasmanının (deplasman talebinin) belirlenmesi.
- 3) Belirlenen deplasman talebine ulaşmış yapının performans düzeyinin belirlenmesi.

Aşağıdaki bölümde, SAP2000 Yapı Analiz Programı ile bina türü betonarme yapıların Pushover Analizinde izlenecek yolun genel hatları özetlenmiştir [23].

- 1- Yapı ilgili yönetmeliklere göre boyutlandırılır.**
- 2- Pushover Analizi için yapının matematik modeli oluşturulur.**

Bunun için aşağıdaki adımlar izlenir:

2.1- Malzeme (beton ve beton çeliği) özellikleri ve eleman boyutları (veya rijitlikleri) tanımlanır.

Not : Elastik ötesi analiz yapılacağı için betonarme elemanların gerçek (çatlamış) rijitliklerinin ve gerçek malzeme özelliklerinin (yönetmeliklerde öngörülen katsayılara bölünmemiş) kullanılması gerekmektedir. Betonarme elemanların gerçek rijitlikleri iç kuvvet- deformasyon bağıntıları kullanılarak belirlenir ya da FEMA-356'de önerilen yaklaşık değerler kullanılabilir.

2.2- Plastik mafsal oluşması beklenen kiriş, kolon ve perde elemanların kritik kesitlerinde donatılar (kesitteki donatı miktarı ve yerleşim düzeni) tanımlanır. Bu işlem iç kuvvet-plastik deformasyon bağıntılarının program tarafından otomatik olarak hazırlanabilmesi için gerekmektedir. Eğer kritik kesitlerdeki iç-kuvvet plastik deformasyon bağıntıları kullanıcı tarafından tanımlanmak istenirse, bu durumda donatıların tanımlanması gerekmez ve 2.3 maddesine geçilir.

2.3- Plastikleşmesi beklenen kiriş, kolon ve perde elemanların kritik kesitleri için iç kuvvet-deformasyon bağıntıları tanımlanır ve ilgili kesitlere atanır.

Bu aşamada iki seçenek mevcuttur.

Birincisinde; bu bağıntılar kullanıcı tarafından hesaplanarak programa girilir. İkincisinde; daha önceden 2.2 maddesine göre tanımlanmış olan kesit ve donatı özellikleri gözönünde bulundurularak ve FEMA-356'de önerilen bağıntılar kullanılarak program tarafından otomatik olarak belirlenir. SAP 2000 programında mevcut olan (Default) iç kuvvet-plastik deformasyon bağıntıları şunlardır:

Tek eksenli eğilme momentini içeren (M3) mafsalı (genellikle kirişlerde kullanılmaktadır), iki eksenli eğilme momenti ve eksenel kuvvetin etkileşimini içeren (PMM) mafsalı (genellikle kolon

ve perdelerde kullanılmaktadır), sadece kesme kuvvetini içeren (V) mafsalı (genellikle kolon ve perdelerde kullanılmaktadır) ve sadece eksenel kuvveti içeren (P) mafsalıdır.

3- Yükleme durumları (Load Cases) tanımlanır.

Yapılara etkiyen düşey yüklerin değerleri genellikle belirlidir ve çok değişiklik göstermez, ancak deprem yüklerini temsil eden yatay yükler ise depremin büyüklüğüne bağlı olarak daha fazla değişiklik göstermektedir. Bu nedenle Pushover Analizde, sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altındaki yapı davranışı izlenir. Yapıya etkiyen düşey yük olarak ilgili yönetmeliklerde depremlili durum için öngörülen yük kombinasyonlarındaki sabit ve hareketli yük değerleri kullanılabilir. Yatay deprem yükü olarak yönetmeliklerde öngörülen eşdeğer deprem yükleri (E) kullanılabilir. Örneğin sabit düşey yük grubu (G) ve hareketli düşey yük grubu (Q) ile Deprem kuvvetini temsil eden yatay yük grubu (E) olmak üzere üç farklı yükleme durumu (Load Cases) tanımlanır.

4- Analiz durumları (Analysis Cases) tanımlanır.

Pushover analizde, yapının sabit düşey yükler ve artan yatay deprem yükleri altındaki davranışını izlemek amaçlandığından, analiz düşey yükler ve yatay yükler için iki ayrı aşamada gerçekleştirilir. Her iki aşamada da geometrik non-lineeritenin gözönüne alınması için programda **P-Delta** seçeneği etkin duruma getirilmelidir.

İlgili yönetmelikte depremlili durumları içeren yük kombinasyonları gözönüne alınarak;

4.1- Birinci aşamada, sadece düşey yüklere ait analiz durumu tanımlanır (Örneğin 2006 Deprem Yönetmeliğine göre $1.0G+0.3Q \mp E$ kombinasyonu için $(1.0G+0.3Q)$ düşey yük analiz durumu tanımlanır).

4.2- İkinci aşamada, sadece yatay deprem yüklerini içeren analiz durumu tanımlanır. (Örneğin 2006 Deprem Yönetmeliğine göre $1.0G+0.3Q \mp E$ kombinasyonu için daha önce 3. adımda tanımlanan yatay yük grubu kullanılarak **E** yatay yük analiz durumu tanımlanır). Ancak bu analiz, 4.1'de tanımlanan düşey yük analizine ait sonuç gerilme ve rijitlik durumundan başlatılması gerekmektedir.

Bu analiz durumları, yapı sisteminin özelliğine bağlı olarak yük kontrollü veya deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilir. Eğer uygulanan yükler altında yapıda malzeme ve geometri non-

lineeritesi bakımından stabilite problemleri çıkması bekleniyorsa, analizin deplasman kontrollü yapılması uygun olur.

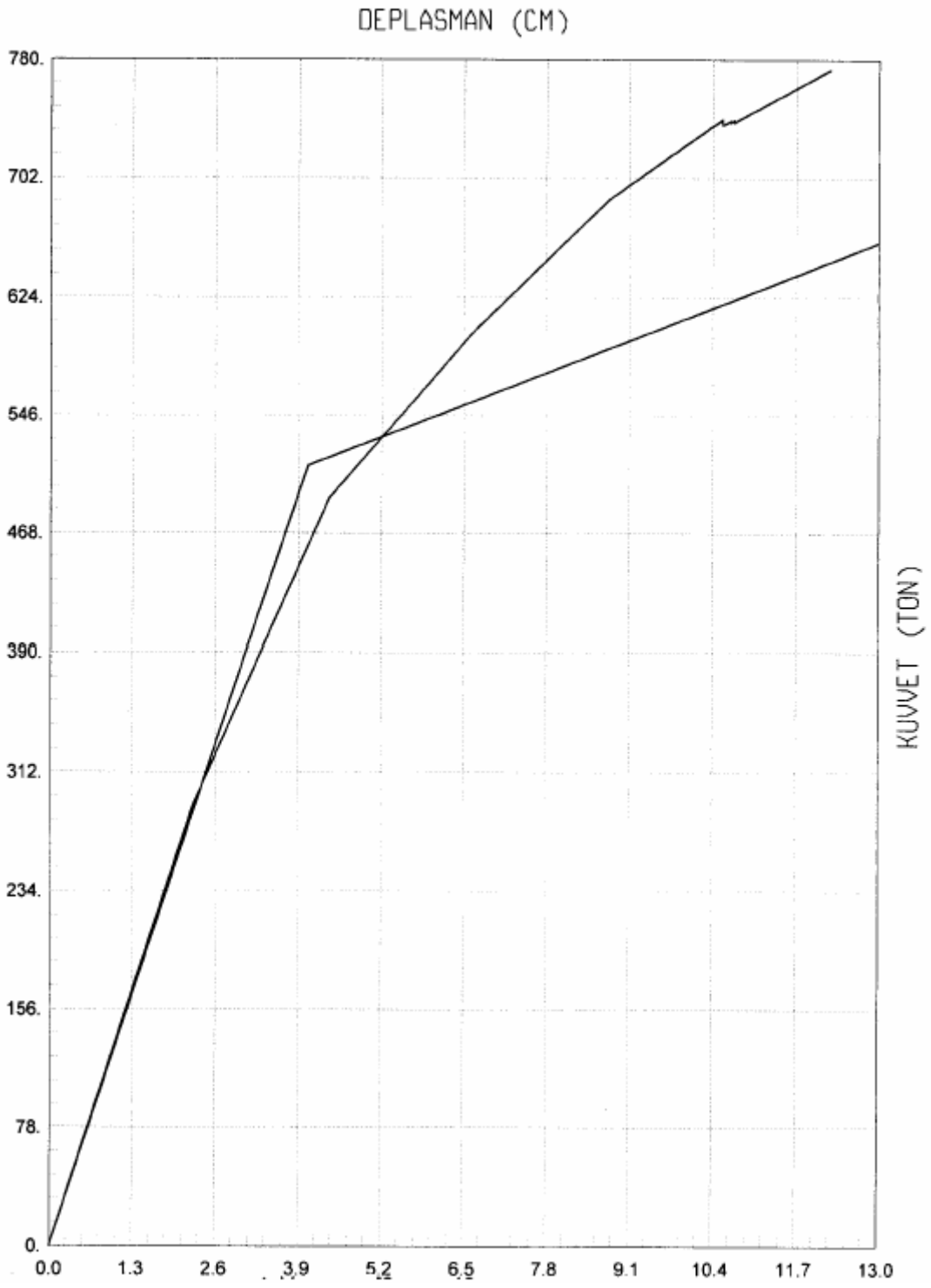
7.2.2. Oluşturulan Modeller ve Analiz Sonuçları

7.2.2.1. Dolgu Duvarsız Betonarme Yapı

İncelenen betonarme yapı dolgu duvarsız, malzeme özelliklerine bağlı olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmıştır. Yerdeğiştirme katsayıları metoduna göre hedef yerdeğiştirmesini bulmak için kullanılan katsayılar Çizelge 7.2.2.1'de verilmiştir. Analiz sonucunda dolgu duvarsız betonarme yapının kapasite eğrisi Şekil 7.2.3'de ki gibi elde edilmiştir ve yapının performans değeri bulunmuştur.

Çizelge 7.2.2.1. Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları

C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e	T_s	K_i (t/cm ²)	K_e (t/cm ²)	R	C_m
1	1	1	1	0.514	1.2452	1.2359	128.8	126.9	4.9015	1



Şekil 7.2.3. Dolgu Duvarsız Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KBY)

7.2.2.2. Dolgu Duvarlı Betonarme Yapı

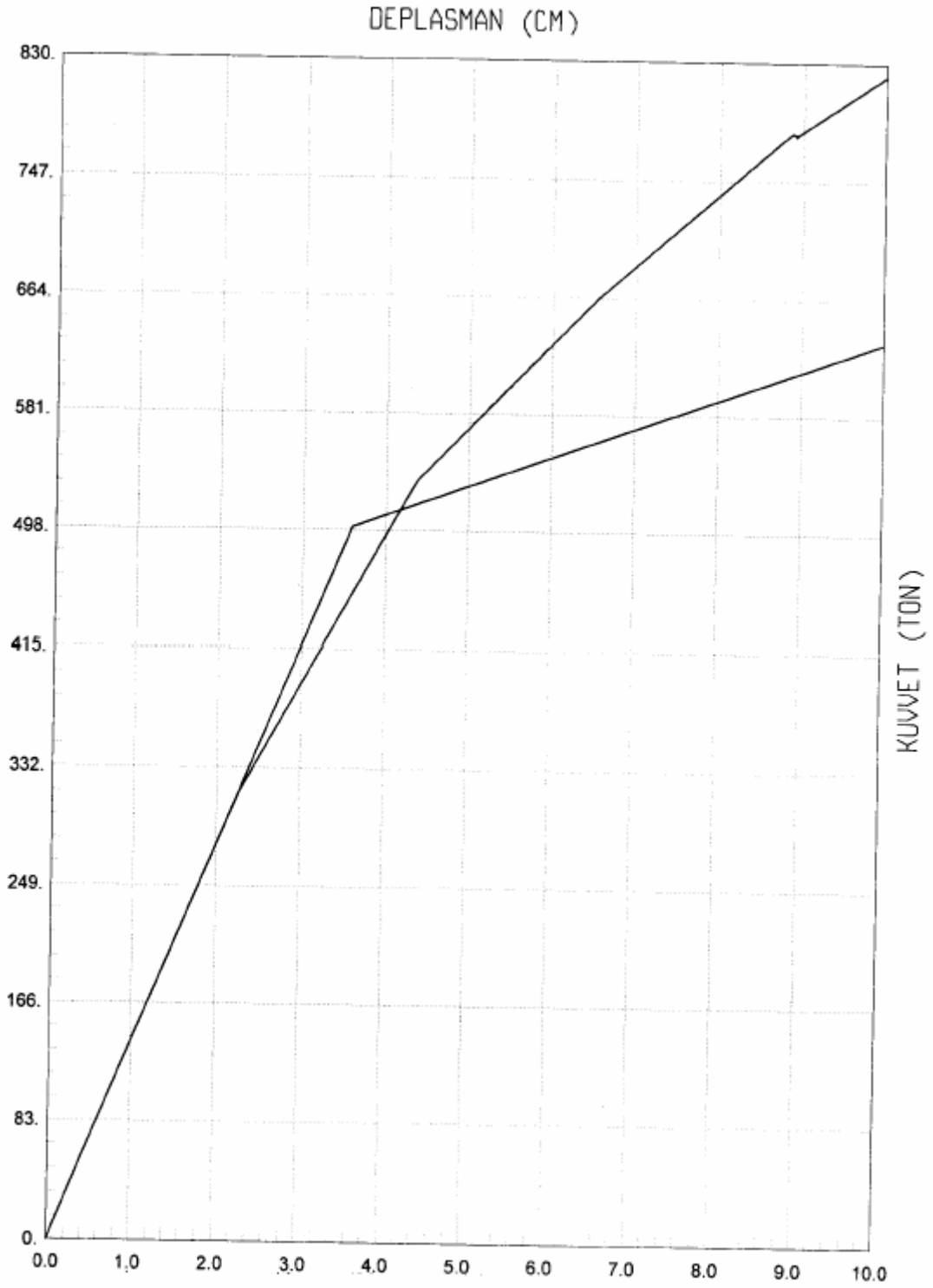
Betonarme yapı Şekil 7.2.2'de görüldüğü gibi yapının dış çerçevelerinin orta açıklıklarına tüm katlara dolgu duvar yerleştirilerek, malzeme özelliklerine bağlı olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmıştır. Dolgu duvarın malzeme özellikleri aşağıda verilmiştir. Dolgu duvarın kalınlığı 19 cm dir. Yerdeğiştirme katsayıları metoduna göre hedef yerdeğiştirmesini bulmak için kullanılan katsayılar Çizelge 7.2.2.2'de verilmiştir. Analiz sonucunda dolgu duvarlı betonarme yapının kapasite eğrisi Şekil 7.2.4'de ki gibi elde edilmiştir ve yapının performans değeri bulunmuştur.

Çizelge 7.2.2.2. Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları

C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e	T_s	K_i (t/cm ²)	K_e (t/cm ²)	R	C_m
1	1	1	1	0.5372	1.1913	1.1913	139.06	139.06	5.32	1

Çizelge 7.2.2.3. Dolgu Duvarın Elastisite Modülü ve Basınç Dayanımı

Dolgu Duvar Malzemesi	Elastisite Modülü (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)
Tuğla + Sıva	1393	1.86



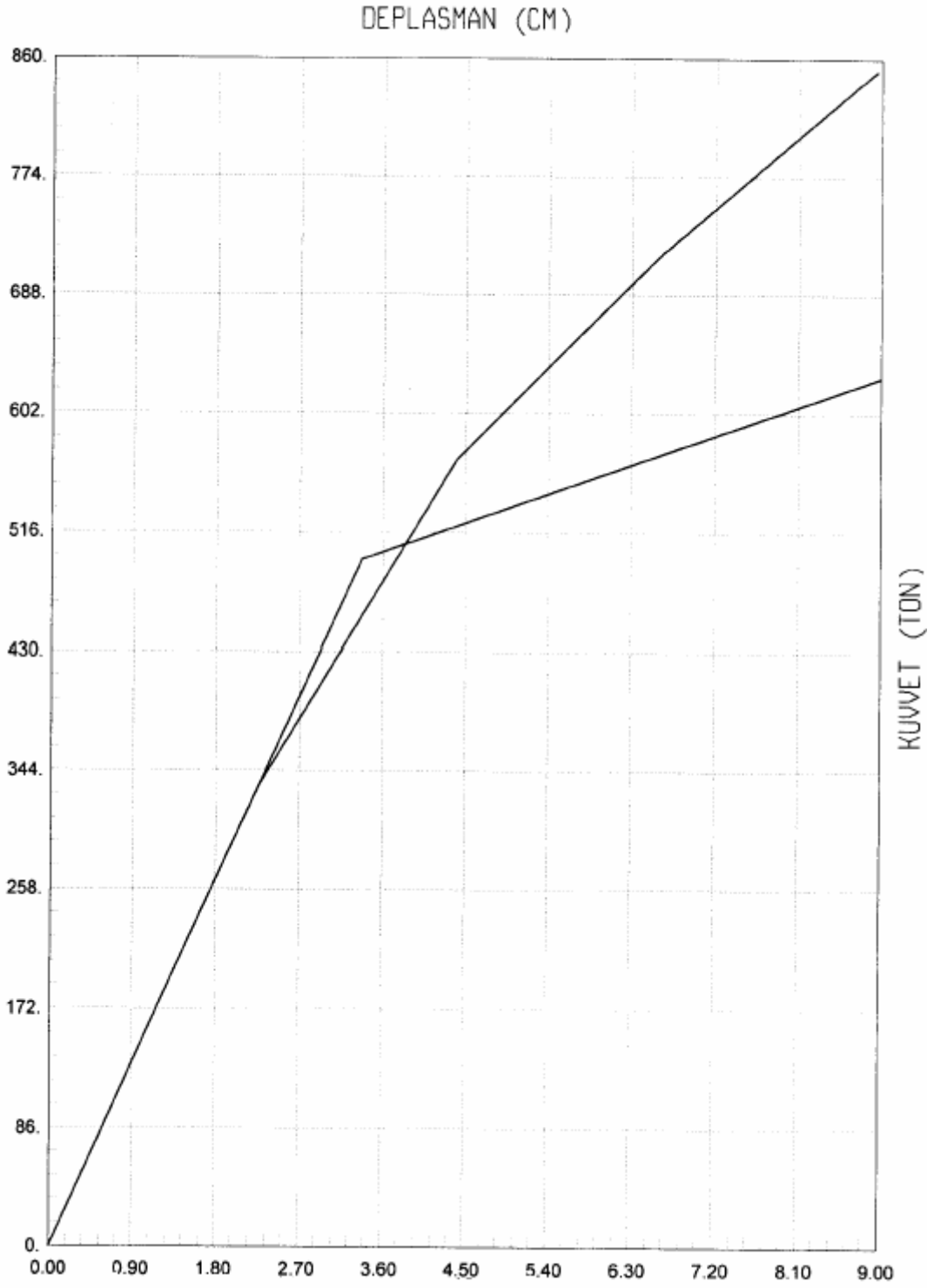
Şekil 7.2.4. Dolgu Duvarlı Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDBY)

7.2.2.3. Dolgu Duvarı Hasır Donatılı Beton Tabakası İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapı

Betonarme yapıda bulunan bütün dolgu duvarlar bir yüzüne uygulanan 4 cm kalınlıkta hasır çelik donatılı beton tabakası ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş dolgu duvarın elastisite modülü 2465 Mpa alınmıştır [11]. Güçlendirilmiş dolgu duvarda yatay donatı oranı (Q131/131) dir. Hasır donatının akma dayanımı $f_{yd} = 435$ Mpa dır. Güçlendirilmiş betonarme yapı malzeme özelliklerine bağlı olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmıştır. Yerdeğiştirme katsayıları metoduna göre hedef yerdeğiştirmesini bulmak için kullanılan katsayılar Çizelge 7.2.2.4'de verilmiştir. Analiz sonucunda hasır donatılı beton tabakası ile güçlendirilmiş betonarme yapının kapasite eğrisi Şekil 7.2.5'de ki gibi elde edilmiştir ve yapının performans değeri bulunmuştur.

Çizelge 7.2.2.4. Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları

C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e	T_s	K_i (t/cm ²)	K_e (t/cm ²)	R	C_m
1	1	1	1	0.5521	1.1592	1.1592	147.1652	147.1652	5.435	1



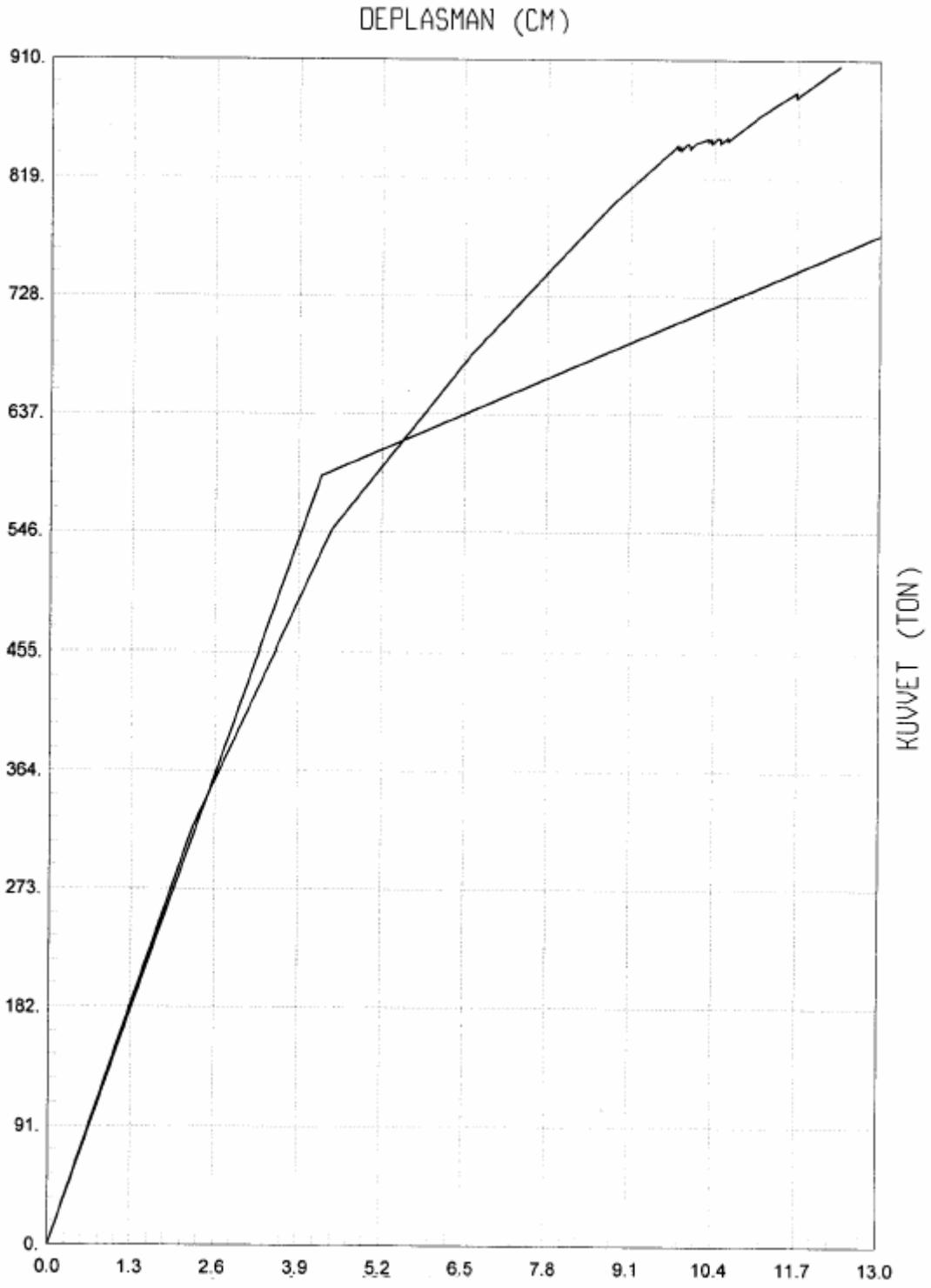
Şekil 7.2.5. Dolgu Duvarı Hasır Donatılı Beton Tabakası İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDHY)

7.2.2.4. Dolgu Duvarı FRP İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapı

Betonarme yapıda bulunan bütün dolgu duvarlar bir yüzünden FRP ile güçlendirilmiştir. FRP tek katlı çapraz şeritler halinde yerleştirilmiştir. Bu uygulama tekniğinin Al-C h a a r (1 9 9 8)' ın deneysel sonuçlarına bağlı olarak ξ_1 , FRP güçlendirme katsayıları elde edilmiştir. ξ_1 katsayıları eşdeğer basınç çubuğu metodunda FRP uygulama tekniklerine bağlı olarak eşdeğer basınç çubuğu genişliğini artırıcı katsayılardır. Dolgu duvarı FRP ile güçlendirilmiş betonarme yapının modellenmesinde Al-C h a a r (1 9 9 8)' ın deneysel sonuçlarına bağlı olarak elde edilen güçlendirme katsayısı kullanılmıştır. Güçlendirilmiş betonarme yapı malzeme özelliklerine bağlı olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmıştır. Yerdeğiştirme katsayıları metoduna göre hedef yerdeğiştirmesini bulmak için kullanılan katsayılar Çizelge 7.2.2.5'de verilmiştir. Analiz sonucunda FRP ile güçlendirilmiş betonarme yapının kapasite eğrisi Şekil 7.2.6'da ki gibi elde edilmiştir ve yapının performans değeri bulunmuştur.

Çizelge 7.2.2.5. Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları

C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e	T_s	K_i (t/cm ²)	K_e (t/cm ²)	R	C_m
1	1	1	1	0.5361	1.1939	1.1803	141.75	138.548	4.4691	1



Şekil 7.2.6. Dolgu Duvarı FRP İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDFBY)

7.2.2.5. Dolgu Duvarı Çelik Şeritler İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapı

Betonarme yapıda bulunan bütün dolgu duvarlar çelik şeritler yerleştirilerek güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş dolgu duvarın elastisite modülü iki katmanlı kompozit malzeme esasına dayanarak bulunmuştur [24, 25]. Güçlendirilmiş duvarın elastisite modülünü bulmak için kullanılan bağıntı aşağıda verilmiştir. Güçlendirme için 4 mm kalınlığında ve 20 cm genişliğinde çelik levha kullanılmıştır. Güçlendirilmiş betonarme yapı malzeme özelliklerine bağlı olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmıştır. Yerdeğiştirme katsayıları metoduna göre hedef yerdeğiştirmesini bulmak için kullanılan katsayılar Çizelge 7.2.2.6'da verilmiştir. Analiz sonucunda perdeler ile güçlendirilmiş betonarme yapının kapasite eğrisi Şekil 7.2.7'de ki gibi elde edilmiştir ve yapının performans değeri bulunmuştur.

$$E_k = E_f \cdot V_f + (1 - V_f) \cdot E_m \quad (7.1)$$

E_k = Güçlendirilmiş dolgu duvarın elastisite modülü

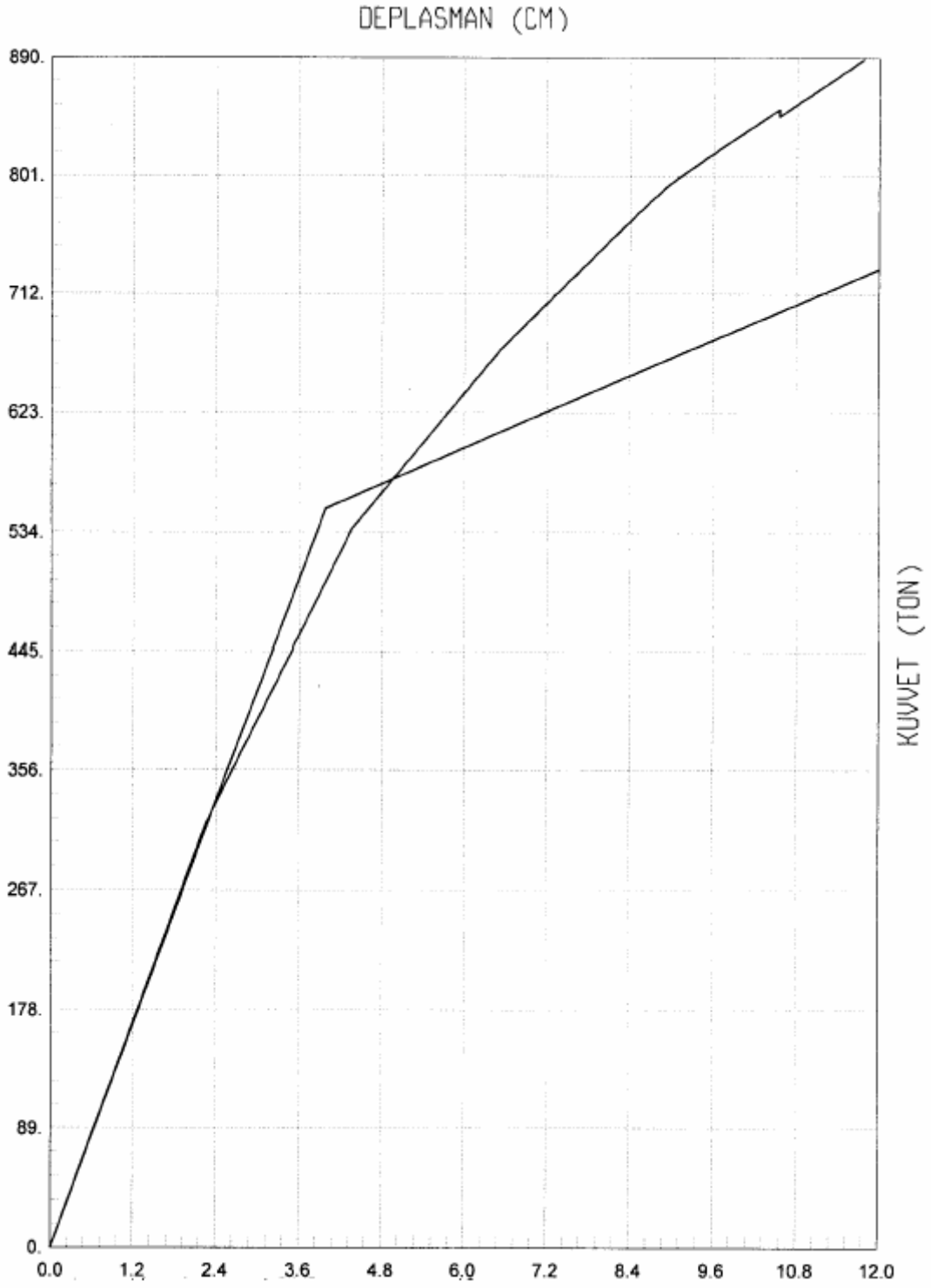
E_f = Çelik şeridin elastisite modülü

E_m = Dolgu duvarın elastisite modülü

V_f = Çelik şeridin hacimsel oranı

Çizelge 7.2.2.6. Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları

C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e	T_s	K_i (t/cm ²)	K_e (t/cm ²)	R	C_m
1	1	1	1	0.5364	1.1932	1.1867	140.1741	138.6549	4.7504	1



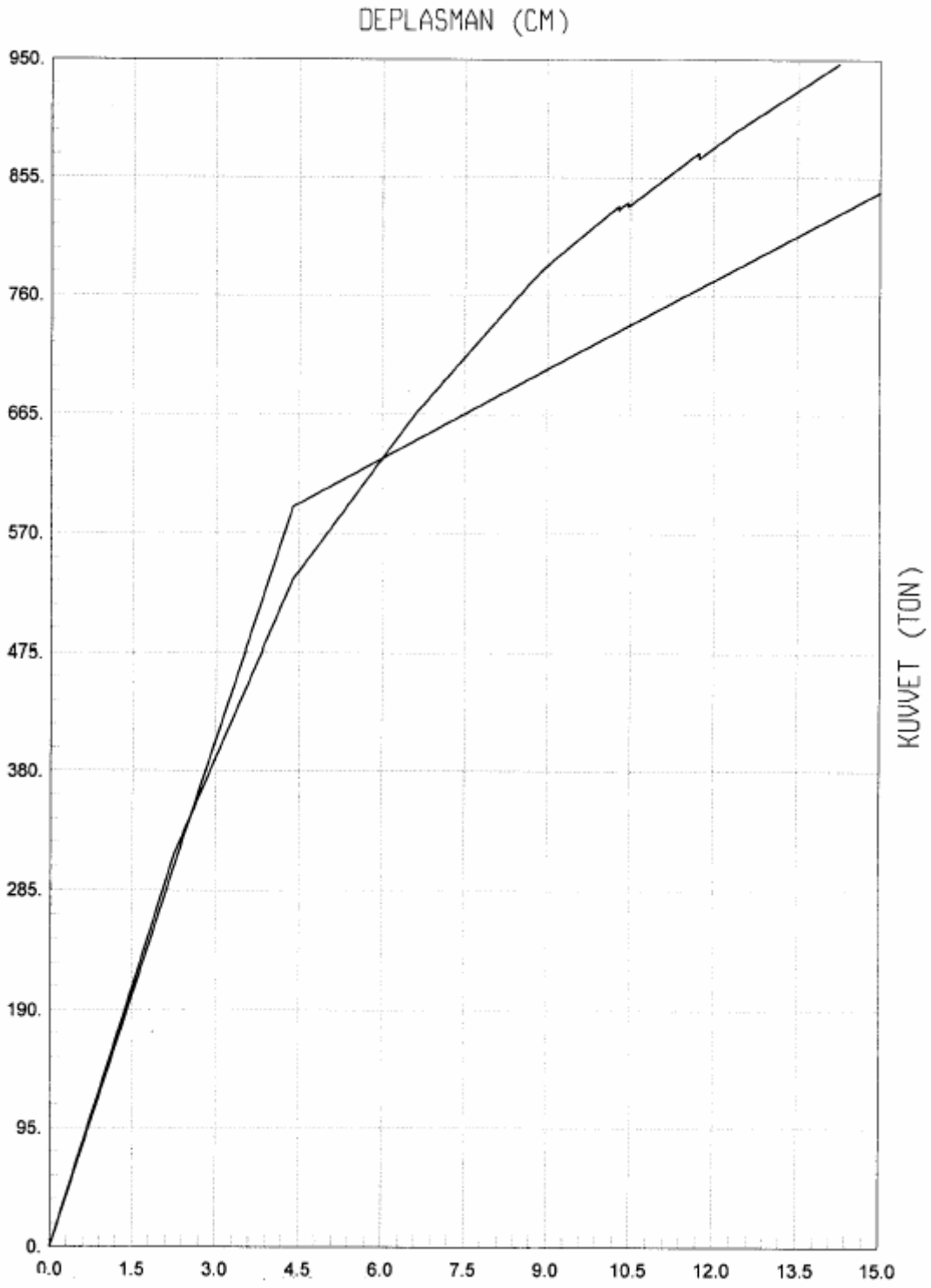
Şekil 7.2.7. Dolgu Duvarı Çelik Şeritler İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDÇBY)

7.2.2.6. Dolgu Duvarı Perdeler İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapı

Betonarme yapıda bulunan bütün dolgu duvarların yerine perde elemanlar yerleştirilerek güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş betonarme yapı malzeme özelliklerine bağlı olarak modellenmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmıştır. Yerdeğiştirme katsayıları metoduna göre hedef yerdeğiştirmesini bulmak için kullanılan katsayılar Çizelge 7.2.2.7'da verilmiştir. Analiz sonucunda perdeler ile güçlendirilmiş betonarme yapının kapasite eğrisi Şekil 7.2.8'de ki gibi elde edilmiştir ve yapının performans değeri bulunmuştur.

Çizelge 7.2.2.7. Hedef Yerdeğiştirme Katsayıları

C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e	T_s	K_i (t/cm ²)	K_e (t/cm ²)	R	C_m
1	1	1	1	0.5288	1.2102	1.1918	138.9244	134.7425	4.3731	1



Şekil 7.2.8. Perdeler İle Güçlendirilmiş Betonarme Yapının Kapasite Eğrisi (7KDPBY)

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemine göre dolgusuz, dolgulu ve dolgu duvarları güçlendirilmiş 7 katlı betonarme yapının performansını daha iyi değerlendirmek için aşağıdaki çizelge yardımcı olmaktadır.

Çizelge 8.1. Analiz Sonuçları

Model	Kuvvet (ton)	Deplasman (cm)
7KBY	773.401	19.914
7KDBY	820.593	19.057
7KDHBY	851.031	18.544
7KDFBY	905.629	19.101
7KDÇBY	888.719	19.084
7KDPBY	946.664	19.349

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, öncelikle dolgu duvarların yapı davranışı üzerindeki etkilerini dikkate alalım. Çizelge den görüldüğü gibi dolgu duvar etkisi hesaba katılmadan önceki kapasite kuvveti sonuçlarıyla hesaba katıldığı durum arasında bir artış olduğu görülmektedir. Bu yaklaşımla, dolgu duvarların rijitlik ve mukavemet katkısını ihmal eden hesap metotları ile yapılacak yapı hesapları güvenilir fakat daha ekonomik bir tasarım için tuğla duvarların katkısı dikkate alınmalıdır.

Dolgu duvarlar yapıda yer açmak için sürekli kaldırılmış, önemsiz görülmüştür. Mevzuat da buna izin vermiştir. Ancak çalışmalarımız dolgu duvarların adeta taşıyıcı sistemle bir bütün gibi hareket ettiği göstermiştir. Dolgu duvarların özellikle giriş katlarında önemi artmaktadır. Buradaki duvarları kırarak boş bırakmak veya cam ile kapatarak vitrin haline getirmek ülkemizde çok sık görülen yanlış uygulamalardır. Ancak duvarların düzgün teşkilinde yararı kadar yanlış teşkilinde de zararı vardır. Yarım bırakılan dolgu duvarlar, boydan boya geçen pencere boşlukları yapılarımızda ciddi hasarlara yol açmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerinin tasarımı için, ortaya güvenilir bir standart konuluncaya kadar, yapıların en azından bir kez duvarların katkıları ihmal edilerek, bir kez de dolgu duvarların katkıları gözetilerek hesaplanıp, her iki hesabın belirlediği en elverişsiz kesit tesirleri altında elemanların boyutlandırılması ve donatı seçimi yerinde bir yaklaşım olur. Dolgu duvarların etkileri, çalışmada anlatıldığı gibi, eşdeğer basınç diyagonalleri olarak yapı modeline konulmak suretiyle dikkate alınabilir. Diğer taraftan bu

tür bir çözüm gerçekleştirilse dahi, ülkemizde çok sık karşılaşılan, yapının mimarisini değiştirmek amacıyla, bilinçsizce, mevcut dolgu duvarların yıkılmasına ve mimari plandan farklı yerlere duvar örülmesine izin verilmemesi yerinde olur.

Elde edilen analiz sonuçlarına dayanarak dolgu duvarların güçlendirilmesi ile yapı performansının artırıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada dolgu duvarlar hasır çelik donatılı beton tabakası ile tek tarafından güçlendirilmiştir. Bu uygulama duvarın her iki yüzüne yapıldığı takdirde bina performansının daha çok arttırılacağı açıktır. Fakat özellikle binaların dış yüzeylerinde kiriş altlarında ve kolon kenarlarında boşluk olmadığı için 4 – 5 cm kalınlığında sıvanın uygulanması sorun olabilir. Bu güçlendirme dolgu duvarın tamamına uygulanmıştır. Bazen uygulanması mümkün olmamaktadır. O duvarda kapı ve pencere bulunuyorsa bu mümkün olmamaktadır.

FRP plakalarla, çelik şeritlerle ve perdelerle güçlendirme tekniklerinin bina performansı üzerinde hasır çelik donatılı beton tabakası ile güçlendirme tekniğine göre daha etkili olduğu analiz sonuçlarından görülmektedir.

FRP plaka güçlendirme tekniği malzemeler yurt dışından geldiği için pahalıdır. Çelik plakalarla güçlendirme de korozyon problemi vardır. Bu iki yöntem diğer tekniklere göre uygulaması daha kolaydır. Aynı zamanda uygulama sırasında binanın kullanımını etkilemez ve zaman alıcı değildir.

Binalarımızı depreme karşı güçlendirmede en iyi yöntem betonarme deprem perdelerinin yapıya eklenmesidir. Ancak bu uygulamada mutlaka takviyeden önce mevcut yapı askıya alınmalı ve takviyeden sonra yükün fazlasını güçlendirme perdelerinin taşıması sağlanmalıdır. Fakat bu yöntem de zaman alıcıdır ve kalıp çakılması gerektiği için uygulaması diğer yöntemlere göre daha zordur.

Yapıların statik hesapları ve proje çizimlerinin doğru olmasının yanında bu projelerin uygulamada da doğru şekilde oluşturulması yapıların güvenliği açısından çok önemlidir. Maalesef ülkemizde son dönem yapıların bir kısmını göz ardı edersek projesi ve uygulaması doğru prensipler üzerine yapılmış yapı sayısı yok denecek kadar azdır. Burada esas mesele doğru projenin üretilmesi kadar projeyi doğru okuyacak ve uygulayacak olan teknik elemanın, ustaların yetiştirilmesidir. Ustanın bilgiyi kendi ustasından aldığı düşünülürse, bu sorun ancak meslek içi kurslarla çözülebilir. Aksi takdirde yeni yapılacak olan binalar yıkılmış olan

eskilerinden çok farklı olmayacaktır. Tabi ki şimdiye kadar yanlış bilgilerle donatılmış olan mühendisler için de mesleki kurslar düşünülebilir.

KAYNAKLAR

1. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998. T.C Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı
2. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2006. T.C Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı
3. E., Yüksel; A., İlki; H.,F., Karadoğan, 1998, "Strengtning Of Reinforced Brittle Masonry", 11th European Conference On Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam
4. Long T. Phan, Geraldine S. Cheek, Diana R. Todd, July 1995, "Strengtning Methodology For Lightly Reinforced Concrete Frames: Recommended Design Guidelines For Strengtning With İnfill Walls" Building M-D Fire Research Laboratory National Institute Of Standards And Technology Gaithersburg, Md 20899
5. D. Penazzi, M.R. Valluzzi, A. Saisi, L. Binda, C. Modena, "Repair And Strengthening Of Historic Masonry Buildings In Seismic Areas", Dept. Of Struct. Engineering, Polytechnic Of Milan, Piazza L. Da Vinci 32, 20133 Milano, Italy
6. M. Elgawady, P. Lestuzzi, M. Badoux, July 4-7, 2004, "A Review Of Conventional Seismic Retrofitting Techniques For Urm", 13th International Brick And Block Masonry Conference Amsterdam
7. M., Tekin; R., Sezer; M., Yıldız, 1991-1992-1993, "Yığma Olarak Yapılmış Dört Katlı Dört Adet Kooperatif Binalarının Hasır Çelik Ve Püskürtme Betonla Güçlendirilmeleri", , Konya İnşaat Mühendisleri Odası Ve Konya Büyükşehir Belediyesi
8. N., Çamlıbel, 2000, "Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi", Birsen Yayınevi İstanbul, , ISBN: 975-511-242-1
9. F., Karadoğan; E., Yüksel, Eylül-Ekim 2001, "Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler Üzerinde Gerçekleştirilen Bazı Deneysel Çalışmalar", İmo İstanbul Bülten Sayı 56
10. M., Türk; U., Ersoy; G., Özcebe, 26-30 Mayıs 2003, "Betonarme Çerçevelerin Betonarme Dolgu Duvarlarla Depreme Karşı Onarımı Ve Güçlendirilmesi", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul
11. N., Aydınoğlu; E., Özer; H. Sucuoğlu, Ocak 2007, "Yeni Deprem Yönetmeliği ve Uygulamalı Çözümler", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No: 51
12. H., Kaplan, Y. S., Tama, U., Tarakcı, H. B., Özmen ve S., Yılmaz, 7-8 Aralık 2006, "Dolgu Duvar Takviyesi ile Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi: Denizli Eski SSK Hastanesi" Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu Pamukkale Denizli
13. Ö., Karslıoğlu, Eylül 2005, "Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

14. D., Güney, M., H., Boduroğlu, Haziran 2006, "Deprem Etkisi Altındaki Simetrik ve Asimetrik Yapıların, Lineer Olmayan Tepkilerine Dolgu Duvarın Katkısı", İTÜ Dergisi/d Mühendislik Cilt: 5, Sayı:3, Kısım:2, 165-174
15. A., W., Hendry, B., P., Sinha, S., R., Davies, 1997, "Design of Masonry Structures", E&FN Spon Pres, London Weinheim Newyork
16. A., Dukuze, 2000, "Behaviour of Reinforced Concrete Frames Infilled with Brick Masonry Panels", The University of New Brunswick
17. H., Tonyalı, Haziran 2006, "Betonarme Binalarda Duvar Etkisi ve Güçlendirilmesi" İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
18. Ghassan K. Al-Chaar ve Gregory E. Lamb, Aralık 2002, "Design of Fiber Reinforced Polymer Materials for Seismic Rehabilitation of Infilled Concrete Structures", US Army Corps of Engineering, Engineer Research and Development Center
19. M., Aydoğan, 2006, "Mevcut Betonarme Binaların Basitleştirilmiş Güçlendirilmesi", İmo İstanbul Kurs Notları
20. E., Özer, 2007, "Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi", http://www.ins.itu.edu.tr/eozer/index_tr6.htm
21. Z., Celep, N., Kumbasar, 2004, "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Beta Dağıtım, ISBN 975-95405-2-5
22. Ö., Bozdağ, A., Korkmaz, Şubat 2005, "Yapıların Deprem Altındaki Davranışlarının İncelenmesi", İmo İzmir Şubesi Bülteni Sayı: 121
23. http://www.Comp-Engineering.Com/Havuz/Sap2000_257.Html 2005 Balıkesir Unı-Sap2000 Pushover.Zip
24. D., Hull, "an Introduction to Composite Materials", Cambridge University Pres, Cambridge New York New Rochelle Melbourne Sydney
25. W., Y., Jung, A., J., Aref, 2005, "Analytical and Numerical Studies of Polymer Matrix Composite Sandwich Infill Panels", Composite Structures 68 (2005) 359-370
26. R. E. Valles, A. M. Reinhorn, S. K. Kunnath, C. Li, And A. Madan, 8 Ocak 1996, "Idarc 2d Version 4.0: A Program For The Inelastic Damage Analysis Of Buildings", Technical Report Nceer-96-0010, National Center For Earthquake Engineering Research State University Of New York At Buffalo
27. Nejat Bayülke, Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi 1990/1 Yayını
28. Ghassan Al-Chaar, Ocak 2002, "Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures", US Army Corps of Engineering, Engineer Research and Development Center
29. İbrahim Erçetin, 2004, "Düzensiz Betonarme Yapılarda Dolgu Etkisinin İncelenmesi", Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

30. E.İrtem, K.Türker, U.Hasgöl, Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 6-8 Ekim 2004, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
31. M., Tekin, E., Alsancak, M., Ay, 2007, "Betonarme Çerçeveselerde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi" C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, ISSN 1305 - 1385