<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

BETONARME ÇERÇEVELERİN BAZI SEÇENEKLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ İnş. Müh. Ezgi KORKMAZ 501021173

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005 Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005

- Tez Danışmanı : Prof.Dr. H. Faruk KARADOĞAN
- Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Sumru PALA (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği Programında gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında betonarme çerçeveler bazı seçeneklerle güçlendirilmiş ve yapılan deneysel çalışma sonuçları ile kuramsal çalışma sonuçları arasındaki yakınlıklar incelenmiştir.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatını bana veren, sabır ve hoşgörü gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN başta olmak üzere, özellikle geliştirdiği bilgisayar programını kullanmama izin veren Yard. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL, yardımlarını esirgemeyen Araş.Gör. Pınar TEYMÜR ve üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar her zaman benim yanımda olan ve maddi, manevi her türlü desteği veren anneme, babama ve ablama ve beni her zaman destekleyen arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2005

Ezgi KORKMAZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	Vİ
ŞEKİL LİSTESİ	Vİİ
SEMBOL LISTESI	Xİİ
ÖZET	XİV
SUMMARY	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sınır Durumlar	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
2. BETONARME KESİTLERİN LİNEER OLMAYAN DAVRA	ANIŞLARININ
INCELENMESI	5
2.1 Düzlem Çubuklarda İç Kuvvet - Şekildeğiştirme İlişkisi	5
2.2 Betonarme Kesitlerde Akma Koşulları	8
2.3 Betonarme Kesitlerde Moment – Eğrilik Bağıntısı	10
2.4 Kuramsal Moment- Eğrilik Bağıntısı 2.5 Deterrement Veritlerile Meneret Eğrilik İlişkirinin Elde I	11 גיים ביין לייי היים
2.5 Betonarme Kestuerde Moment- Egriik Ilişkisinin Elde I Bilgisavar Programi	13
2.5.1 Beton modeli	14
2.5.2 Çelik modeli	21
3. DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ	22
3.1 Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkisi	22
3.2 Dolgu Duvarlarda Oluşan Hasar Şekilleri	22
3.3 Dolgu Duvar Modelleri	24
3.3.1 Eşdeğer sanal çubuk modeli	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
4.1 Numunelerin Tanıtılması	31
4.2 Deney Düzeneği	39
4.2.1 Yükleme sistemi	41
4.2.2 Veri toplama sistemi	41
4.3 Malzeme Deneyleri Sonuçları	43
4.3.1 Beton deneyleri	43
4.3.2 Donatı deneyleri	45
4.3.3 Dolgu duvarı deneyleri	47
4.3.3.1 Kayma deneyleri	47

4.3.3 Harç dayanımları	66
4.3.4 Deneysel sonuçlar	66
4.3.4.1 Numune 1	66
4.3.4.2 Numune 2	71
4.3.4.3 Numune 3	77
4.3.4.4 Numune 4	84
4.3.4.5 Numune 5	89
5. BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK	
ÇÖZÜMLEMESİ	98
5.1 Doğrusal Olmayan Statik Çözümleme (SAP2000)	98
5.2 Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Hesabının Yapılması	101
5.2.1 Numune 1 (çıplak çerçeve)	101
5.2.2 Numune2 (dolgu duvarlı)	105
5.2.2 Numune 4 (dolgu duvarlı)	108
5.2.2 Numune 5 (dolgu duvarlı)	111
6. SONUÇLAR	114
6.1. Basit Kayma Deneyleri	115
6.2 Çerçeve Deneyleri	115
6.2.1 1. Grup çerçeve deneyleri	115
6.2.2 2. Grup çerçeve deneyleri	
6.3 Kuramsal Çalışma ile Deneysel Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılma	sı116
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ	120

KISALTMALAR

ACI	:American Concrete Institute
ATC	:Applied Technology Council
FEMA	:Federal Emergency Management Agency
TS500	: Türk Standardı 500
SAP2000	: Structural Analysis Program

TABLO LÍSTESÍ

<u>Sayfa No</u>

Tablo 4.1.	Silindir deney sonuçları
Tablo 4.2.	Numune İsimleri ve Adedi
Tablo 4.3.	Numune Kalınlıkları
Tablo 4.4.	Yerdeğiştirme Ölçer Tipi ve Kullanım Yerleri 50
Tablo 4.5.	Kayma Modülü Değerleri 57
Tablo 4.6.	Deney Sonuçlarından Elde Edilen Bazı Maksimum Değerler57
Tablo 4.7.	İlk Çatlak Oluşum Yük Seviyeleri
Tablo 4.8.	Duvar Harcı Dayanımları
Tablo 4.9.	Numune1 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler
Tablo 4.10.	Numune1 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri
Tablo 4.11.	Numune 2 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler72
Tablo 4.12.	Numune 2 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri
Tablo 4.13.	Numune 3 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler
Tablo 4.14.	Numune 3 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri
Tablo 4.15.	Numune 4 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler
Tablo 4.16.	Numune 4 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri
Tablo 4.17.	Numune 5 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler
Tablo 4.18.	Numune 5 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sayfa No</u>

Şekil 1.1	: Plastik Mafsal Kuvvet - Şekildeğiştirme İlişkisi
Şekil 2.1	: Kesit Tesirleri ve Şekildeğiştirmeler
Şekil 2.2	: Beton İçin Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntısı7
Şekil 2.3	: Donatı Çeliği İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi
Şekil 2.4	: Akma Eğrisinin (M, N) Koordinatları Üzerinde Gösterimi9
Şekil 2.5	: ds Uzunluğundaki Sonlu Parçada Eğrilik Hesabı 10
Şekil 2.6	: Tek Yönlü Yükler Etkisindeki Betonarme Kesitte Moment- Eğrilik İlişkisi
Şekil 2.7	: Betonarme Kesitte Moment- Eğrilik İlişkisinin Oluşturulması 12
Şekil 2.8	: Sargı Donatısı Pasif Basıncının Değişimi 16
Şekil 2.9	: Sargılı ve Sargısız Betonda Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi20
Şekil 2.10	: Sargısız Beton Malzeme Modeli 20
Şekil 2.11	: Programda Kullanılan Çelik Malzeme Modeli
Şekil 3.1	: Betonarme Çerçevede Bölme Duvarı Hasarı
Şekil 3.2	: Dolgu Duvarı Hasar Seviyeleri
Şekil 3.3	: Eşdeğer Sanal Çubuk Modeli
Şekil 3.4	: Eşdeğer Sanal Basınç Çubuğunun Modele Yansıtılması
Şekil 3.5	: Eşdeğer Sanal Çubuk Parametreleri
Şekil 3.6	: Dolgu Duvar Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi
Şekil 4.1	: Deneysel çalışmada kullanılan numuneler
Şekil 4.2	: Tek katlı numune geometrisi
Şekil 4.3	: İki katlı numune geometrisi

Şekil 4.4	: Çıplak çerçevenin hazırlanması	. 34
Şekil 4.5	: Püskürtme Panelli Numune	. 35
Şekil 4.6	: Kayma kamalı numune	. 36
Şekil 4.7	: Kayma kamasız numune	. 37
Şekil 4.8	: İki katlı numune	. 38
Şekil 4.9	: Tek Katlı Numune Deney düzeneği	. 39
Şekil 4.10	: İki Katlı Numune Deney düzeneği	. 40
Şekil 4.11	: Yatay yük yerdeğiştirme çevrimleri	. 43
Şekil 4.12	:Numune 2' ye ait 15*30 cm püskürtme beton silindir deney sonuçlar	144
Şekil 4.13	: Donatı gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri	. 45
Şekil 4.13	: Donatı gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri (Devamı)	. 46
Şekil 4.13	: Donatı gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri (Devamı)	. 47
Şekil 4.14	: Kalınlıkları Ölçülen Kesitler	. 48
Şekil 4.15	: Deney Düzeneği	. 49
Şekil 4.16	: Dökme ve Püskürtme Beton Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri	. 51
Şekil 4.17	: Pres Tuğla Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri	. 52
Şekil 4.17	: Pres Tuğla Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri (Devamı)	. 53
Şekil 4.18	: Boşluklu Tuğla Yük-yerdeğiştirme İlişkileri	. 53
Şekil 4.19	: Dökme ve Püskürtme Beton Numunesi τ – γ İlişkileri	. 54
Şekil 4.20	: Pres Tuğla Numunesi τ – γ İlişkileri	. 55
Şekil 4.20	: Pres Tuğla Numunesi τ-γ İlişkileri (Devamı)	. 56
Şekil 4.21	: Boşluklu Tuğla Numunesi τ–γ İlişkileri	. 56
Şekil 4.22	: Dökme Numunesi Göçme Şekli	. 59
Şekil 4.23	: Püskürtme Numunesi Göçme Şekli	. 60
Şekil 4.24	: Pres Tuğla 1 Çatlak Oluşum Yerleri	. 61
Şekil 4.25	: Pres Tuğla 2 Çatlak Oluşum Yerleri	. 62
Şekil 4.26	: Pres Tuğla 2 Göçme Şekli	. 63

Şekil 4.27	: Pres Tuğla 3 İlk Çatlak Oluşum Yerleri	63
Şekil 4.28	: Pres Tuğla 3 Göçme Şekli	64
Şekil 4.29	: Pres Tuğla 4 İlk Çatlak Oluşum Yerleri	64
Şekil 4.30	: Pres Tuğla 4 Göçme Şekli	65
Şekil 4.31	: Boşluklu Tuğla Çatlak Oluşum Yerleri	65
Şekil 4.32	: Boşluklu Tuğla Göçme Şekli	66
Şekil 4.33	: Numune1 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi	67
Şekil 4.34	: Numune 1 Yatay Yük–Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi	69
Şekil 4.35	: Numune 1 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi	69
Şekil 4.36	: Numune 1 Hasar Durumu	70
Şekil 4.37	: Numune 1 Sol Kolon Üstü İç Kısım Hasar Durumu	71
Şekil 4.38	: Numune2 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi	72
Şekil 4.39	: Numune 2 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi	74
Şekil 4.40	: Numune 2 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi	74
Şekil 4.41	: Duvar Ön ve Arka Çapraz Yük-Uzama-Kısalma İlişkileri	75
Şekil 4.42	: Numune 2 Panel Hasar Durumu	76
Şekil 4.43	: Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Hasar Durumu	76
Şekil 4.44	: Panel –Kolon Birleşim Bölgesinde Oluşan Hasar Durumu	77
Şekil 4.45	: Numune 3 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi	78
Şekil 4.46	: Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi	80
Şekil 4.47	: Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi	80
Şekil 4.48	: Duvar Ön ve Arka Çapraz Yük-Uzama-Kısalma İlişkileri	81
Şekil 4.49	: Dolgu Duvar Hasar Durumu	82
Şekil 4.50	: Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi Hasar Durumu	83
Şekil 4.51	: Temel – Kolon Birleşim Bölgesi Hasar Durumu	83
Şekil 4.52	: Numune 4 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi	85
Şekil 4.53	: Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi	86

Şekil 4.54	: Numune 4 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi
Şekil 4.55	: Duvar Ön ve Arka Çapraz Yük-Uzama-Kısalma İlişkileri 87
Şekil 4.56	: Numune 4 Dolgu Duvar Hasar Durumu
Şekil 4.57	: Dolgu Duvarın Çerçeveden Ayrılması
Şekil 4.58	: Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi Hasar Durumu
Şekil 4.59	: Numune 5 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi90
Şekil 4.60	: Numune 5 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi
Şekil 4.61	: Numune 5 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi
Şekil 4.62	: Duvar 1. ve 2. Kat Çapraz Yük-Uzama-Kısalma İlişkileri
Şekil 4.63	: 1. Kat Duvarında Oluşan Hasar Durumu
Şekil 4.64	: 1. Kat Sol Kolon Üst Ucu Hasar Durumu
Şekil 4.65	: Normal Yüklü Numunelerin Yatay Yük–Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrileri
Şekil 4.66	: Normal yük sıfır olan numunelerin Yatay Yük–Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrileri
Şekil 5.1	: Plastik Mafsallarda Moment-Dönme Bağıntısı
Şekil 5.2	: Numune 1 Sargılı ve Sargısız Beton Modeli 102
Şekil 5.3	: Moment-Eğrilik Bağıntıları102
Şekil 5.3	: Moment-Eğrilik Bağıntıları (Devamı)103
Şekil 5.4	: Programa Girilen Bilgisayar Modeli104
Şekil 5.5	: Numune 1Yatay Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması 104
Şekil 5.6	: Numune 2 Sargılı ve Sargısız Beton Modeli 105
Şekil 5.7	: Moment-Eğrilik Bağıntıları105
Şekil 5.7	: Moment-Eğrilik Bağıntıları (Devamı)106
Şekil 5.8	: Programa Girilen Bilgisayar Modeli107
Şekil 5.9	: Numune 2 Yatay Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması . 107
Şekil 5.10	: Numune 4 Sargılı ve Sargısız Beton Modeli
Şekil 5.11	: Moment-Eğrilik Bağıntıları108

Şekil 5.11	: Moment-Eğrilik Bağıntıları (Devamı)	109
Şekil 5.12	: Programa Girilen Bilgisayar Modeli	110
Şekil 5.13	: Numune 4 Yatay Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması .	110
Şekil 5.14	: Numune 5 Sargılı ve Sargısız Beton Modeli	111
Şekil 5.15	: Moment-Eğrilik Bağıntıları	111
Şekil 5.16	: Programa Girilen Bilgisayar Modeli	112
Şekil 5.17	: Numune 5 Yatay Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması.	113

SEMBOL LİSTESİ

- *a* : Eşdeğer sanal çubuk genişliği
- **A**_s : Enine donati enkesit alani
- **b**_c : En dış enine donatı merkezleri arasındaki mesafe
- **b**_{cx}, **b**_{cy} : Beton çekirdek boyutları
- C_s : Tarafsız eksen yeri
- **D** : Eşdeğer sanal çubuk uzunluğu
- **E**_c : Betonun elastisite modülü
- **E**_m : Eşdeğer sanal çubuk elastisite modülü
- **E**_s : Beton çeliğinin elastisite modülü
- **E**_x : Dolgu duvarın yataydaki elastisite modülü
- **E**_v : Dolgu duvarın düşeydeki elastisite modülü
- **f'**_{cc} : Sarılmış betona ait basınç dayanımı
- **f'**_{c0} : Sarılmamış betona ait basınç dayanımı
- \mathbf{f}_l : Yanal sargı basıncı
- **f**_{*le*} : Ortalama üniform sargı basıncı
- $\mathbf{f}_{lex}, \mathbf{f}_{ley}$: b_{cx} ve b_{cy} beton çekirdek boyutlarına dik doğrultulardaki eşdeğer sarma gerilmeleri
- **f'**_m :Dolgu duvara ait en büyük gerime değeri
- \mathbf{f}_{yt} : Enine donatı akma gerilmesi
- **F** : Eşdeğer sanal çubuk alanı
- **h** :Dolgu duvar yüksekliği
- **H** :Dolgu duvarın içinde bulunduğu çerçeve yüksekliği
- I_c :Kolon atalet momenti
- **k**₁ : Poisson oranının fonksiyonu olan bir çarpan
- **k**₂ : Eşdeğer üniform sarma basıncına geçiş katsayısı
- \mathbf{K}_{sargi} : ε_{01} den ε_1 e geçişte kullanılan katsayı (sarılma indeksi)
- l :Dolgu duvar genişliği
- L :Dolgu duvarın içinde bulunduğu çerçeve genişliği
- *l*_p : Plastik mafsal uzunluğu
- **P** :Yük parametresi
- **R** : Eşdeğer sanal çubuk taşıma kapasitesi
- R_{cd} :Dolgu duvarın basınç kırılması göçme durumu için eşdeğer sanal çubuk basınç yükü taşıma kapasitesi
- Rs :Dolgu duvarın kayma kırılması durumu için eşdeğer sanal çubuk basınç yükü taşıma kapasitesi
- $\mathbf{R}_{\mathbf{\theta}}$: Kesit dönme sünekliği oranı
- s :Enine donatılar arasındaki mesafe
- s_l :Tutulu düşey donatılar arasındaki mesafe
- t :Eşdeğer sanal çubuk kalınlığı
- z :Dolgu duvarın yatayda çerçeveye temas ettiği mesafe
- ε :Birim boy değişimi
- ϵ_c : En büyük beton basınç şekildeğiştirmesi

- ϵ_{cm} : En dış beton basınç lifindeki şekildeğiştirme değeri
- ϵ_{01} : Sargısız betonda en büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğiştirme
- $\epsilon_{0.33}$: $\sigma_{0.33}$ gerilmesine karşı gelen şekildeğiştirme
- $\epsilon_{0.05}$: $\sigma_{0.05}$ gerilmesine karşı gelen şekildeğiştirme
- ε₀₈₅ : Sargısız betonda en büyük dayanımın %85 ine karşı gelen şekildeğiştirme
- ε₁ : Sarılmış betonda en büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğiştirme
- ε₈₅ : Sarılmış betonda en büyük dayanımın %85 ine karşı gelen şekildeğiştirme
- $\epsilon_{c1}, \epsilon_{c2}$: Donatı malzeme modelini tanımlaya şekildeğiştirme ordinatları
- ϵ_{c3} Donatı malzeme modelini tanımlaya şekildeğiştirme ordinatları
- **φ** :Kesit dönmesi
- γ :Birim kayma açısı
- **χ** :Eğrilik
- χ_u :Göçmeye karşı gelen eğrilik
- χ_y :Akmaya karşı gelen eğrilik
- **ρ** :Beton çekirdek bölgesinde enine donatı oranı
- σ_{b1}, σ_{b2} : Sarılmış beton modelini tanımlayan gerilme ordinatları
- σ_{c1}, σ_{c2} : Donati malzeme modelini tanımlayan gerilme ordinatları
- σ_{c3} : Donatı malzeme modelini tanımlayan gerilme ordinatları
- $\sigma_{0.33}$: Dolgu duvar prizma basınç dayanımının %33 üne karşı gelen gerilme
- $\sigma_{0.05}$: Dolgu duvar prizma basınç dayanımının %5 ine karşı gelen gerilme
- θ :Eşdeğer sanal çubuğun yatayla yaptığı açı
- **τ** :Kayma gerilmesi
- τ₀ :Kayma sürtünme gerilmesi

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, dolgu duvarlarının betonarme çerçeve davranışına etkilerinin bulunması ve betonarme çerçeve sistemlerin malzeme bakımından doğrusal olmayan çözümlemesinin bir bilgisayar programı yardımıyla yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışma, bu amaçla yapılan deneylerin de dahil olduğu bölüm ile birlikte altı ana bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, betonarme çubukların doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Betonarme çubukların iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları hakkında bilgi verilmiş ve kuramsal çalışmada kullanmak amacı ile bu bağıntıların bulunmasını sağlayan bir bilgisayar programı hakkında bilgi verilmiştir. Sarılmış betona ait gerilmeşekildeğiştirme ilişkisinin bulunması için çeşitli araştırmacılar tarafından bulunmuş bağıntılara yer verilmiş ve kuramsal çalışmada kullanılmak üzere bu bağıntılardan bir tanesi önerilmiştir. Ayrıca kuramsal çalışmada, sargılı ve sargısız beton modelleri arasındaki farkın görülmesi amacıyla sargısız beton modeli de kullanılmıştır.

Üçüncü bölümde, dolgu duvarlarının yapı davranışına etkileri anlatılmıştır. Dolgu duvarlarını kuramsal modelde temsil eden *eşdeğer sanal çubuk modeli* anlatılmış ve eşdeğer sanal çubuğa ait bazı büyüklüklerin bulunması için çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılar kullanılmıştır.

Dördüncü bölümde, dolgu duvarlarının yapı davranışına etkilerinin anlaşılması amacıyla yapılan bir grup deney anlatılmıştır. Öncelikle dolgu duvarlarının çerçeve sistem içerisinde nasıl davranacağının bulunması ve yük taşıma kapasitelerinin önceden anlasılabilmesi için her çerçeve içindeki dolgu duvarı temsil eden dolgu duvarlar oluşturulmuş ve bunlarla basit kayma deneyleri yapılmıştır. Bu basit kayma deneylerinden elde edilen sonuçlar kuramsal çalışmada dolgu duvarı karakteristikleri olarak kullanılmıştır. Çerçeve deneyleri olarak ise, içlerine farklı malzemelerden oluşturulmuş dolgu duvarlar yerleştirilen tek açıklıklı, tek katlı üç adet betonarme cerceve ile tek açıklıklı, iki katlı bir adet betonarme cerceve, tekrarlı yatay yükler altında, yerdeğiştirme kontrollü olarak denenmiştir. Bunlara ek olarak bir adet çıplak çerçeve denemiş ve bu sayede dolgu duvarlarının çerçeve davranışına katkısı ortaya konulmustur. Tek katlı numunelerden bir tanesinin icine püskürtme betondan oluşturulan panel, diğer ikisinin içine ise basınca karşı dayanıklı tuğlalardan yapılmış dolgu duvar yerleştirilmiştir. İki katlı numunenin içerisine boşluklu tuğladan oluşturulmuş dolgu duvarı yerleştirilmiştir. Püskürtme beton ile oluşturulmuş panel ve pres tuğlalardan yapılmış dolgu duvarlardan bir tanesi içinde bulundukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanmıştır. Böylece farklı dolgu duvar malzemelerinin ve bağlantı şekillerinin çerçeve davranışına olan katkısı ortava koyulmuştur.

Beşinci bölümde, deneyleri yapılmış olan betonarme çerçevelerin matematik modelleri, ikinci ve üçüncü bölümde anlatılan malzeme ve dolgu duvarı modelleri kullanılarak oluşturulmuş ve bir bilgisayar programı yardımıyla çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan statik çözümlemeleri yapılmıştır. Elde edilen kuramsal sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak aralarındaki uyum gösterilmiştir.

A COMPARATIVE STUDY FOR SEVERAL RETROFITTING TECHNIQUES FOR RC BUILDINGS

SUMMARY

In the first chapters of the presented work, the theoretical background of the computer program, **M-KAPA** (Yüksel, 1998), which is used for finding out the moment-curvature relationship of sections subjected to simple bending is stated. Saatcioglu-Razvi confined concrete constitutional model has been used in this program.

Four kinds of retrofitting techniques have been employed to strengthen the three one-story, one-bay, $\frac{1}{2}$ scale rc frames and a two-story, one-bay rc frame. The results of these strengthened frames are compared with the results of bare frames.

In the first specimen, shot-creted infill wall which is connected to the peripheral rc elements is used. In the second specimen, high-strength brick wall has been placed which is also connected to the surrounding reinforced concrete elements. The third specimen has the same infill wall material as the former one, but not connected to the surrounding reinforced concrete elements. In the last specimen, ordinary bricks, which are generally used for partitioning, has been used as an infill wall without any connections to the surrounding reinforced concrete elements, but plastered.

All kinds of material tests have been carried out in the laboratory in addition to the pure shear simplified tests performed for shot-crete wall, for high strength brick wall and for ordinary brick wall. The material characteristics obtained from the elementary tests have been used later in the theoretical model of the combined system of frame and infill wall.

It has been concluded that the results of experimental work which is essentially based on the same displacement reversals are close enough to the theoretical analysis which is based on monotonic load increment. In another words the equivalent beam model to represent the contribution of the infill wall to the overall behavior of the combined system is good enough to be used for practical purposes.

1. GİRİŞ

Yapının boyutlandırılmasında göz önünde bulundurulması zorunlu dış etkenlerden biri de deprem etkileridir. Depremin şiddetinin yapılara etkisi yapı sistemlerinin öncelikle dinamik özelliklerine bağlı bulunmaktadır. Bu nedenle yapı sistemlerinin deprem etkisi altındaki davranışlarının bilinmesi ve yapı tasarımının buna göre yapılması gerekir. Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli iki adımından biri yapının yatay yük taşıyıcı düşey elemanlar açısından iyi düzenlenmesi ve yeterli kalitede inşa edilmiş olması, diğeri ise, bu yapıda depremin oluşturması beklenen kesit zorlarının yeterli yaklaşıklıkla belirlenerek kesit hesaplarındaki önlemlerle karşılanmasıdır. Bu amaçla depreme dayanıklı yapı tasarımında sınır durumların belirlenmesi ve yapının bu ölçütlere uygun olarak boyutlandırılmış olması gerekir.

1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sınır Durumlar

Yapıların tasarımı ve boyutlandırılması sırasında deprem yükü altındaki davranışlarının belirlenmesi gerekir.Yapının, rijitlik kaybı durumunda yeterli güvenliğin sağlanması, hasarın sınırlandırılması ve kullanma durumunda kararlılık, çatlama ve yerdeğiştirme gibi öngörülen koşulları yerine getirmesi gerekmektedir.Bu nedenle yapı sistemlerinin aşağıda belirtilen sınır durumları karşılaması gerekmektedir.

a) Kullanılabilirlik Sınır Durumu

Yapı sisteminin sıkça meydana gelen küçük şiddetli depremlerden olumsuz yönde etkilenmemesi istenir. Taşıyıcı olamayan elemanlarda çatlaklar oluşsa bile taşıyıcı sistemde hasar oluşmaması ve onarıma gerek kalmaması istenir. Bu ise, depremde meydana gelecek şekil ve yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması ve depremde oluşacak etkilerin eleman kesitlerinde meydana getireceği gerilmelerin elastik bölgede kalması şeklinde sağlanır.

b) Sınırlı Hasar Durumu

Yapı sisteminin ömrü boyunca daha az sıklıkta meydana gelen orta şiddetli depremlerde onarılıp güçlendirilebileceği derecede hasar görmesi istenir. Taşıyıcı sistemde donatı akma durumuna gelirken, onarımı gerekli olan geniş çatlaklar oluşabilir. Ancak bu hasar durumlarının ekonomik bir biçimde onarılması ve yapının kullanımına devam edilebilmesi istenir.

c) Göçme Kontrollü Sınır Durumu

Meydana gelme olasılığı çok düşük olan şiddetli depremlerde yapılarda onarılması güç hasarlar meydana gelir. Ancak hasar durumu hangi boyutta olursa olsun böyle bir durumda yapının kısmen veya tamamen göçmesi önlenerek olası bir can kaybının meydana gelmemesi istenir. Bu durumun meydana gelmemesi için elemanların sünek davranış gösterecek şekilde ve kısmi veya tamamen göçme meydana gelmeden plastik şekil ve yerdeğiştirmeler meydana gelebilecek şekilde boyutlandırmasının yapılması gerekir.

Bu sınır durumları lineer olmayan analiz için ATC40 [1] ve FEMA273 [2] tarafından önerilen plastik mafsal kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisindeki, Şekil 1.1, IO, LS, CP durumlarına denk gelmektedir.



Şekil 1.1 Plastik Mafsal Kuvvet - Şekildeğiştirme İlişkisi

IO (Immediate Occupancy) : Yapı sistemi taşıyıcı elemanlarında hasar oluşmaması beklenir. Hemen kullanılabilirlik sınır durumudur.

LS (Life Safety) : Yapı sistemi taşıyıcı elemanlarında göçme oluşmayacak ve güçlendirme yapılabilecek şekilde hasar oluşması beklenir. Can güvenliği sınır durumudur.

CP (Collapse Prevention) : Yapı sistemi taşıyıcı elemanlarında büyük hasarlar oluşması beklenir ancak bu durumda taşıyıcı sistemin göçmemesi ve can kaybının meydana gelmemesi gerekmektedir. Böyle bir durumda yapının güçlendirmesi ekonomik olmaz. Göçme sınır durumudur.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapı sistemlerinin deprem yükü altındaki davranış şekillerinin bilinmesi güvenli tarafta kalarak hesap yapmayı mümkün kılmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında sınır durumların sağlanabilmesi için, yapıda yatay rijitlik, dayanım ve sünekliğin yeterli seviyede olması ve yapının genel davranışının bilinmesi gerekir. Bu nedenle yapı malzemelerinin lineer elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini gözönüne almak ve artan dış yükler altında yapı sisteminin davranışını incelemek daha gerçekçi tasarım yapmayı uygun kılmaktadır.

Bu çalışmada İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında farklı güçlendirme seçenekleri ile üretilmiş olan betonarme çerçeveler ele alınarak incelenmiş ve sonuçları yorumlanmıştır. Bu amaçla üretilen numuneler laboratuarda bulunan deney düzenekleri yardımıyla artan yatay yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde denenerek, bu numunelerin davranışları arasındaki farklar ortaya konulmuştur.

Numuneler çıplak çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveler olarak üretilerek dolgu duvarın yapı sistemi üzerindeki etkilerinin de daha iyi anlaşılmasına olanak sağlanmıştır.

Bunlara ek olarak, deney numuneleri plastik mafsal hipotezine dayanan lineer olmayan statik analiz yöntemi ile çözümlenip, numunelerin matematik modelleri oluşturulmuştur. Ve bu matematik modeller ile deney sonuçları arasındaki yakınlık incelenmiştir.

2. BETONARME KESİTLERİN LİNEER OLMAYAN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

2.1 Düzlem Çubuklarda İç Kuvvet - Şekildeğiştirme İlişkisi

Bir düzlem çubuk elemanda kendi düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisinden dolayı, M eğilme momenti, N normal kuvvet, T kesme kuvveti kesit tesirleri oluşmaktadır. ds boyundaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre bağıl yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri çubuk elemanın şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanmaktadır. Bu şekildeğiştirmeler; d ϕ kesitin dönmesi, du kesitin çubuk ekseni doğrultusundaki, dv kesitin çubuk eksenine dik doğrultudaki yerdeğiştirmesidir, Şekil 2.1.

 $\chi = d\phi/ds$ birim dönme (eğrilik), $\varepsilon = du/ds$ birim boy değişmesi, $\gamma = dv/ds$ birim kayma olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.1 Kesit Tesirleri ve Şekildeğiştirmeler

Düzlem çubuklarda kesit tesirleri ile şekildeğiştirmeler arasındaki ilişkiler (2.1) bağıntısıyla (bünye denklemleri) verilmiştir. Bu bağıntılardaki F1, F2, F3 malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı olarak belirlenen lineer olmayan fonksiyonları, t ve Δt kesite etkiyen üniform ve farklı sıcaklık değişmelerini, αt sıcaklık genleşme katsayısını ve d kesit yüksekliğini göstermektedir.

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N, T) + \frac{\alpha t \Delta t}{d}$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N, T) + \Delta t t$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M, N, T)$$
(2.1)

Uygulamada, kayma şekildeğiştirmeleri eğilme ve uzama şekildeğiştirmeleri yanında ihmal edilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değişmesine etkisi terk edilirse, kesite sıcaklık değişmesi etkimezse, kesit tesiri-şekildeğiştirme bağıntıları (2.2)'deki gibi olur.

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N)$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N)$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = 0$$
(2.2)

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin incelenmesinde ve moment-eğrilik ilişkisinin oluşturulmasında aşağıdaki varsayımlar yapılmaktadır.

 Şekildeğiştirme öncesinde düzlem olan kesit, şekildeğiştirdikten sonrada düzlem kalmaktadır.

- Donatı çeliğinin birim boy değişimi, onu saran betonun birim boy değişimine eşittir. Yani beton ve donatı arasında tam aderans bulunmaktadır.
- 3) Çatlamış betonun çekme dayanımı terk edilmektedir.
- Betonun gerilme-şekildeğiştirme diyagramı için parabol + dikdörtgen modeli esas alınmaktadır, Şekil 2.2.

Şekil 2.2'de fck betonun karakteristik basınç dayanımını, Ec ise beton elastisite modülünü göstermektedir. Ec'nin değeri TS500'de [3] belirtilen;

 $Ec=14000+3250\sqrt{fck}$ (N/mm²)

formülü ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2.2 Beton İçin Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntısı

 $\varepsilon co=0.002$ birim kısalma değerine ulaştığında betonda plastik şekildeğiştirmeler meydana geldiği, $\varepsilon cu=0.0035$ birim kısalma değerine ulaştığında ise kısa süreli yükler altında betonun ezilerek kırıldığı (taşıma gücünü kaybettiği) varsayılmaktadır. $\varepsilon_{cu}=0.0035$ sargı donatısız beton için alınan değer olup, bu değer sargı donatılı betonda daha yüksek değerler alabilmektedir. Beton çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı için ideal elastoplastik malzeme varsayımı yapılmaktadır, Şekil 2.3.

Buna göre;

 $0 \leq \epsilon \leq \epsilon_e$ için $\sigma = E\epsilon_e$

 $\varepsilon_e < \varepsilon < \infty$ için $\sigma = \sigma_e$

olmaktadır.



Şekil 2.3 Donatı Çeliği İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

Burada E donatı çeliğinin elastisite modülünü, σ_e (fyk) donatı çeliğinin akma gerilmesini ve ε_e ise akma durumuna karşılık gelen birim uzamayı ifade etmektedir.

2.2 Betonarme Kesitlerde Akma Koşulları

Betonarme kesitlerde iç kuvvet durumunun artarak belirli bir sınıra erişmesi durumunda akma, kırılma veya büyük şekildeğiştirmeler nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer.Böyle bir durumda kesit daha büyük kesit zorlarını taşıyamayacaktır, bu duruma akma veya kırılma adı verilir. Buna karşılık gelen iç kuvvet durumuna da kesitin taşıma gücü adı verilir. Akma durumunu kesit zorlarına veya şekildeğiştirmelere bağlı olarak gösteren bağıntılar akma koşullarıdır, (2.3).

$$K_1(M, N, T) = 0$$

$$K_2(\chi, \varepsilon, \gamma) = 0 \tag{2.3}$$

Kayma şekildeğiştirmeleri eğilme ve uzama şekildeğiştirmeleri yanında ihmal edilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değişmesine etkisi terk edilirse akma koşulu (2.4) durumuna gelir.

$$K1 (M, N) = 0$$

$$K2(\chi, \varepsilon) = 0 \tag{2.4}$$

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklarda, iç kuvvet ve şekildeğiştirme durumları M, N dik koordinat sistemi kullanılarak gösterilmektedir. Bu koordinat sisteminde, herhangi bir iç kuvvet durumunu temsil eden bir nokta K1 (M, N) = 0 akma koşulunun belirlediği akma eğrisinin üzerinde bulunuyorsa bu, kesitin taşıma kapasitesinin sona erdiğini ve iç kuvvetler doğrultusunda sonsuz plastik şekildeğiştirmeler meydana gelebileceğini göstermektedir. Ancak bu nokta akma koşulundan dolayı akma eğrisinin dışına çıkamamaktadır, Şekil 2.4.



Şekil 2.4 Akma Eğrisinin (M, N) Koordinatları Üzerinde Gösterimi

2.3 Betonarme Kesitlerde Moment – Eğrilik Bağıntısı

Yapı elemanlarında oluşan deformasyonlar genellikle, eğilme etkisi sonucunda oluşan şekildeğiştirmelerden meydana gelmektedir. Bu nedenle eğilme etkisindeki yapı elemanlarının dış yük- şekildeğiştirme özellikleri çoğunlukla kesitlerin momenteğrilik ilişkisine bağlı olmaktadır.

Bölüm 2.1 de (2.2) bağıntısında verilen F1 fonksiyonuna çubuk enkesit bünye bağıntısı adı verilmektedir. (2.2) bağıntısındaki eğriliğin (χ) tanımı ve hesabı Şekil 2.5'de verilmiştir, [4].



Şekil 2.5 ds Uzunluğundaki Sonlu Parçada Eğrilik Hesabı

Sabit normal kuvvet (N=N0) altında veya N=0 iken, artan eğilme momenti ile zorlanan betonarme bir kesitte M eğilme momenti ile χ eğriliği (birim dönme) arasındaki bağıntı üç bölgeden oluşmaktadır, Şekil 2.6, [5].

Burada L0, beton kesitin dış çekme lifinde çatlakların başladığı durumdur. Eğilmedeki betonun çekme dayanımı, kesitin dış çekme lifindeki normal gerilmeye eşit olunca betonda çatlaklar oluştuğu kabul edilmektedir. ML0 ise kesitte çekme bölgesinde çatlakların oluşmasına neden olan momenttir.



Şekil 2.6 Tek Yönlü Yükler Etkisindeki Betonarme Kesitte Moment- Eğrilik İlişkisi

L1, kesitte plastik şekildeğiştirmelerin başladığı noktadır. Betonun dış basınç lifinde veya çekme donatısında plastik şekildeğiştirmeler oluşmaya başlamaktadır. ML1 kesit akma momenti olarak kabul edilmektedir ve ML1 eğilme momentinin hesabında betonun çekme dayanımı göz önüne alınmamaktadır.

L2, basınç bölgesindeki betonun ezilerek kırılmasına veya çekme donatısının kopmasına denk gelen noktadır. Burada kesitin taşıma gücüne ulaştığı kabul edilmektedir. ML2= MU momenti kesitin taşıma gücünü göstermektedir.

Şekil 2.6'da ki moment- eğrilik ilişkisi kullanılarak, rijitlik, yutulan enerji miktarı, dayanım, kesit dönme sünekliği ve rijitlik kaybı gibi büyüklüklere ulaşılabilmektedir.

2.4 Kuramsal Moment- Eğrilik Bağıntısı

Betonarme bir kesitte, kesit yüksekliği boyunca şekildeğiştirme dağılımı biliniyorsa, o kesite ait beton ve çelik malzeme modelleri kullanılarak kesit boyunca oluşan gerilmelere ve denge denklemleri yardımıyla iç kuvvetlere geçilebilir, Şekil 2.7, [4].



Şekil 2.7 Betonarme Kesitte Moment- Eğrilik İlişkisinin Oluşturulması

Betonarme kesite ait denge denklemleri (2.5) bağıntısında verilmiştir.

$$\int \sigma \text{ beton } dA \text{ beton } + \int \sigma \text{ celik } dA \text{ celik } = N$$

$$Abeton \qquad \qquad Acelik$$

$$\int \sigma \text{ beton } ydA \text{ beton } + \int \sigma \text{ celik } ydA \text{ celik } = M$$

$$Abeton \qquad \qquad Acelik$$

$$(2.5)$$

(2.5) bağıntısında, basınç gerilmeleri pozitif, çekme gerilmeleri negatif olarak alınmaktadır. Bu nedenle normal kuvvetin basınç ve momentin alt liflerde çekme etkisi oluşturması hali pozitif olarak alınmaktadır.

Hesap adımları şu şekilde ilerlemektedir:

1. Betonarme kesit belirlenen miktarda ince dilimlere ayrılır.

 Betonarme kesitte denge denklemlerini sağlayacak tarafsız eksen pozisyonunu bulmak için, en uç basınç lifinde bir şekildeğiştirme değeri seçilir. Bu sayede seçilen şekildeğiştirme değeri için tarafsız eksen pozisyonu bulunur.

3. Seçilen bir tarafsız eksen yeri için, tüm beton dilimleri ve donatı merkezleri hizasındaki şekildeğiştirme değerleri hesaplanır.

4. Betonarme kesite ait malzeme modelleri belirlenerek bu şekildeğiştirmeler karşı gelen gerilmeler bulunur. Gerilme değerleri ile ilgili elemanların alanları çarpılarak kuvvetler bulunur.

5. Kesitte oluşan basınç ve çekme kuvvetlerinin farkı alınarak, dış normal kuvvetin dengesi aranır.

$$\Sigma Basinc-\Sigma Cekme=N$$
 (2.6)

(2.6) bağıntısı için öngörülen doğruluk elde edilene kadar <u>3-5 arası</u> adımlar tekrarlanır.

6. Dış normal kuvvet dengesi öngörülen doğrulukta sağlandıktan sonra çekme ve basınç kuvvetlerinin betonarme kesitin ağırlık merkezine göre momentleri alınarak, verilmiş normal kuvvet ve şekildeğiştirme etkisinde kesitte oluşan moment belirlenir. Eğrilik hesaplanır, (2.7).

$$\chi = \frac{\varepsilon_{cm}}{C_s} \tag{2.7}$$

 ϵ_{cm} : En dış beton basınç lifindeki şekildeğiştirme değeri

Cs: Bulunan tarafsız eksen yeri

7. Madde 2'ye gidilerek başka bir şekildeğiştirme durumu için hesap tekrarlanır.

Bu adımlar uygulanarak, sabit bir N eksenel kuvveti için moment- eğrilik ilişkisini oluşturan noktalar belirlenmiş olur.

2.5 Betonarme Kesitlerde Moment- Eğrilik İlişkisinin Elde Edilmesi İçin Bir Bilgisayar Programı

Bu bölümde Yüksel [4] tarafından geliştirilmiş olan **M-KAPA** isimli program kısaca anlatılacaktır. Bu program ile tek eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki

betonarme kesitlerin moment- eğrilik ilişkileri elde edilebilmektedir.Programın geliştirilmesinde Bölüm 2.1 de anlatılan varsayımlar ve Bölüm 2.4 de anlatılan hesap düzeni kullanılmıştır. Programın kullanımı için, kesitin moment düzlemi içinde bir simetri ekseni bulundurması gerekmektedir.

M- KAPA programında kullanılan beton ve çelik malzeme modelleri Bölüm 2.5.1 ve Bölüm 2.5.2 de kısaca anlatılmıştır. Bu malzeme modelleri programa giriş bilgisi olarak girilmektedir.

Beton elastisite modülü, çelik elastisite modülü ve beton çekme dayanımı için deneysel veri olmaması durumunda TS 500 [3] de önerilen değerler kullanılabilmektedir.

Geometrisi tanımlanan kesit program tarafından sonlu sayıda dilime bölünmektedir. Bu dikdörtgen kesitlerde 100 veya daha üzeri miktarlarda olmaktadır. Dilim sayısı arttıkça doğruluk da artmaktadır. Seçilen bir şekildeğiştirme durumu için, beton dilimler il donatıların merkezindeki şekildeğiştirmeler hesaplanıp, ilgili malzeme modeli ile gerilmeye geçilir.

2.5.1 Beton Modeli

M-KAPA programıyla elde edilen moment-eğrilik bağıntısının akmadan sonraki bölgesinin gerçek davranışa daha yakın olması için betonda sarılma etkisi göz önüne alınmıştır. Sarılma etkisinin kuramsal çözümlemede, beton gerilme ve şekildeğiştirme özelliklerini daha gerçekçi ifade etmesinden dolayı programda sarılmış beton modeli kullanılmaktadır. Sarılmış beton modelinin elde edilmesi için birçok çalışma yapılmıştır.

Mander ve diğerleri [6], sargı donatısının, beton ezilme şekildeğiştirmesi ve basınç dayanımına olan katkısını incelemişlerdir. Bu modelin diğerlerinden farkı, dikdörtgen veya dairesel sargı durumlarının her ikisi için de kullanılabilir olmasıdır. Yaptıkları kuramsal çözümlemelerde kabuk ve çekirdek betonu için iki ayrı davranış modeli kullanmışlardır. Bu model gerek tek yönlü, gerek iki yönlü artan yüklemelerde de iyi sonuç vermektedir.

Taylor ve diğerleri [7], diğer modellerden farklı olarak, perde tipi kesitler için de uygulanabilecek bir model geliştirmişlerdir. Perde tipi kesitlere kullanılan çirozların sargı etkisini yansıtmak için, eş sargılı kesit olarak adlandırılan bir yaklaşım önerilmiştir. Bunun yanı sıra düşük sargı oranı olan kesitlerde doğru sonuçlar verecek bir model olmadığını düşünerek modeli buna göre geliştirmişlerdir.

Bu modeller geliştirilirken, sargı donatısı miktarı, sargı donatısı çapı ve aralığı, donatı dayanımı, beton dayanımı ve boyuna donatı yerleşim durumları göz önüne alınmıştır.

M-KAPA programında ise Saatcioğlu-Razvi [8], sarılmış beton modeli kullanılmıştır. Uygulanabildiği kesit geometrisi ve sargı donatısı tiplerinin genel oluşu, eksenel veya dış merkezsel yüklemeler için kullanılabilir olması, uygulamasının kolaylığı ve farklı deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmış olmasından dolayı bu modelin kullanımına karar verilmiştir.

Model, betonarme çubuklarda enine ve boyuna donatılarla oluşturulan donatı kafesinin sağladığı eşdeğer üniform sargı basıncının belirlenmesi esasına dayanmaktadır.Model değişik tipte ve düzenleme şekillerinde kullanılan donatılarla sağlanan sargı etkilerinin süperpozisyonunu da yapabilmektedir.

Betonun üç eksenli basınç altındaki dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı ve yanal sargı basıncının bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır, (2.8).

$$f'_{cc} = f'_{c0} + k_1 f_l$$
(2.8)

Burada;

f 'cc: sarılmış betona ait basınç dayanımı

f 'c0: sarılmamış betona ait basınç dayanımı

f_l: yanal sargı basıncı

k1: Poisson oranının fonksiyonu olan bir çarpanı göstermektedir.

 k_1 ile f_l arasındaki bağıntı (2.9)' da verilmiştir.

f $'_{c0}$ değerinin, sargılı beton numunesi ile aynı boyutlardaki ve özelliklerdeki bir numuneden elde edilmiş olması gerekmektedir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda, standart silindir basınç dayanımı sonuçlarının, 0.85- 1.00 aralığından seçilecek bir katsayıyla düzeltilmesiyle ulaşılacak değerin de kullanılabileceği belirtilmektedir.

Betonarme bir kesitte, betonun basınç doğrultusuna dik doğrultuda genişlemesine engel olan sargı donatısının, betonun şekildeğiştirmeye başlaması ile ortaya çıkan pasif basıncı mevcuttur. Sargı donatısının bu etkisi kare veya dikdörtgen enkesitli betonarme çubuklarda, etriyenin düşey donatılarla bağlandığı bölgelerde yüksek, bu bölgelerin arasında ise düşük olmaktadır. Sargı basıncı, bağlantı noktalarında enine donatı enkesit alanı ve çekme dayanımıyla, bağlantı noktaları arasındaki bölgelerde ise enine donatı eğilme rijitliği ve açıklığıyla ilgilidir. Donatı eğilme rijitliğinin küçük olması nedeniyle boyuna donatılardan uzaklaştıkça sargı etkisi küçülmektedir, Şekil 2.8.



Şekil 2.8 Sargı Donatısı Pasif Basıncının Değişimi

Yakın yerleştirilmiş ve boyuna donatıyı yanal yönde yeterli düzeyde mesnetleyebilen enine donatı durumunda, sargı basıncı dağılımı üniforma yakın olmaktadır. Enine donatıların akma gerilmesine kadar çalıştırılması durumunda, bu çubuklar üzerinde oluşacak en büyük sarma kuvveti $A_s f_{yt}$ olacaktır. A_s enine donatı enkesit alanının, f_{yt} ise donatı akma gerilmesini göstermektedir. Bu kuvvetlerin toplanarak ilgili beton alanına bölünmesiyle (2.10) bağıntısında verilen ortalama üniform sargı basıncına ulaşılmaktadır.

$$f_{l} = \frac{\sum A s f_{yl} \sin(\alpha)}{sbc}$$
(2.10)

Ortalama üniform sargı basıncının hesabında kullanılan alan, kesitte en dış enine donatı merkezleri arasındaki mesafenin, b_c , çubuk boyunca enine donatılar arasındaki mesafeyi gösteren s ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Eşdeğer üniform sargı basıncı, f_{le} , ortalama üniform sargı basıncının, k_2 katsayısıyla çarpılmasıyla elde edilmektedir, (2.11).

$$\mathbf{f}_{le} = \mathbf{k}_2 \mathbf{f}_l \tag{2.11}$$

 k_2 katsayısı, enine donatı aralığı, enkesitte tutulu düşey donatılar arasındaki mesafe ve ortalama yanal sargı basıncına bağlı olup bu katsayı, spiralli kolonlarda ve çok sık enine donatılı kare kolonlarda 1.0' e eşittir, (2.12).

$$k_{2} = 0.26 \sqrt{\left(\frac{b_{c}}{s}\right)\left(\frac{b_{c}}{s_{1}}\right)\left(\frac{1}{f^{1}}\right)} \le 1.0$$
(2.12)

Burada;

s_l: kesitte tutulu düşey donatılar arasındaki mesafeyi göstermektedir.

Kesitte iki doğrultuda farklı eşdeğer üniform sargı basınç değeri olması durumunda, bu basınç değerlerinin ağırlıklı ortalamalarının her iki doğrultu içinde kullanılabileceği belirtilmektedir, (2.13).

$$fle = \frac{flex bcx + fley bcy}{bcx + bcy}$$
(2.13)

Burada f_{lex} ve f_{ley} sırasıyla, b_{cx} ve b_{cy} beton çekirdek boyutlarına dik doğrultularda oluşan eşdeğer sargı basınçlarını göstermektedir.

Betonun eksenel basınç altındaki şekildeğiştirme yeteneği sarılma etkisiyle artmaktadır. Sargılı betonda; en büyük gerilmeye karşı gelen şekildeğiştirme miktarının sargısız betona göre daha büyük, gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin azalan kolundaki dayanım kaybının ise daha az olduğu bilinmektedir. En büyük gerilme düzeyindeki şekildeğiştirme, uygulanan sarılma yönteminin etkinliğiyle yakından ilgilidir ve (2.14) bağıntısı ile ifade edilmektedir.

$$\epsilon_1 = \epsilon_{01} (1 + 5K_{\text{sargl}}) \tag{2.14}$$

$$K_{\text{sarg 1}} = \frac{k_1 f_{le}}{f'_c 0}$$

 ϵ_1 , ϵ_{01} sırasıyla sarılmış ve sarılmamış betonda en büyük gerilme düzeyindeki şekildeğiştirmeleri göstermektedir. Sargısız betonla ilgili deneysel veri bulunmuyorsa, ϵ_{01} için 0.002 değeri kullanılabilmektedir.

En büyük gerilme düzeyine eriştikten sonra betonun şekildeğiştirme yeteneğini boyuna donatıların davranışı önemli ölçüde etkilemektedir. Beton pas paylarının dökülmesinin ardından boyuna donatıyı burkulmaya karşı yeterli düzeyde yerleştirilmiş enine donatılar koruyacaktır, (2.15).

$$\rho = \frac{\sum A_s}{s(bcx + bcy)}$$
(2.15)

Burada b_{cx} , b_{cy} sırasıyla enkesitte x ve y doğrultularındaki çekirdek beton boyutlarını ifade etmektedir.

Sarılmış betona ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin azalan kolu üzerinde, en büyük gerilmenin %85'i düzeyinde ulaşılan şekildeğiştirme miktarı (2.16) bağıntısında verilmiştir.

$$\epsilon_{85} = 260\rho\epsilon_1 + \epsilon_{085} \tag{2.16}$$

(2.16) bağıntısındaki ϵ_{085} , sargısız betonda pikten sonra en büyük dayanımın %85'ine karşı gelen şekildeğiştirme miktarı olup, deneysel veri bulunmuyorsa 0.0038 değeri kullanılabilmektedir.

(2.16) bağıntısının oluşturulması için yapılan deneysel çalışmalarda; (2.15) bağıntısıyla tanımlanan enine donatı oranı için en fazla %2'ye çıkıldığı, daha yüksek enine donatı oranları durumunda (2.16) bağıntısını kullanmanın doğru olmayacağı belirtilmiştir.

Sarılmış beton için oluşturulan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi üç ana parçadan meydana gelmektedir, Şekil 2.9. Artan bölüm bir parabol denklemiyle (2.17)'de verilmiştir.

$$f_{c} = f'_{cc} \left[2 \left(\frac{\varepsilon_{c}}{\varepsilon_{1}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_{c}}{\varepsilon_{1}} \right)^{2} \right]^{1/(1+2 \operatorname{Ksarg } 1)} \leq f'_{cc}$$
(2.17)

Gerilme-şekildeğiştirme diyagramının ikinci bölümü, en büyük gerilme f'_{cc} 'yi, %20 f'_{cc} 'ye bağlayan azalan koldur. Üçüncü bölüm ise %20'lik artık dayanımı içeren bölümdür.



Şekil 2.9 Sargılı ve Sargısız Betonda Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

Şekil 2.9'da verilen sargılı beton malzeme modeli programa giriş bilgisi olarak girilmektedir. Ancak sargılı ve sargısız beton modelleri arasındaki farkı görmek ve bunların geliştirilecek olan modellerde yaratacağı farkı incelemek için Şekil 2.10'da tanımlanan sargısız beton malzeme modeli de kullanılmaktadır.



Şekil 2.10 Sargısız Beton Malzeme Modeli
2.5.2 Çelik Modeli

Moment-eğrilik ilişkisinin akmadan sonraki bölgesinde gerçek davranışa daha fazla yaklaşmak için, çelik malzeme modelinde pekleşme bölgesi dikkate alınmaktadır, [9]. M-KAPA programında Şekil 2.11'de gösterilen çelik malzeme modeli kullanılmaktadır.



Şekil 2.11 Programda Kullanılan Çelik Malzeme Modeli

Kesit dönme sünekliğinin hesabının yapılabilmesi için **M-KAPA** programı, akmaya ilk ulaşan boyuna donatıyı tespit etmektedir. Program $\varepsilon = \varepsilon_y$ olduğu anda kesitteki eğriliği (χ_y) ve moment (M_y) değerini hesaplamaktadır. Burada ε_y donatıda akma şekildeğiştirmesini ifade etmektedir. Bu büyüklükler yardımıyla, kesit dönme sünekliği (2.8) bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$R \theta = \frac{\chi u}{\chi y}$$
(2.8)

3. DOLGU DUVARLARIN MODELLENMESİ

3.1 Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkisi

Dolgu duvarlar genellikle yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılmak yerine, iki mekanı birbirinden ayırmak, ısı ve ses yalıtımını sağlamak için ve mimari amaçlarlarla kullanılmaktadır. Bu nedenle yapı sistemlerinin modellenmesi ve analizi aşamasında, taşıyıcı özelliği olmadığı düşünülerek, sadece kütle olarak göz önüne alınan gevrek malzemeden yapılmış ikincil yapı elemanlarıdır. Ancak yapılan araştırmalar göstermiştir ki, dolgu duvarın içinde bulunduğu çerçeve sistemle bağlantısı iyi olduğu zaman, dolgu duvar deprem etkisindeki yapının yatay rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu etki ayrıca, dolgu duvarın içerdiği boşluklara, üstünde bulunan sıvaya ve kaplama malzemesi gibi bir çok değişkene bağlıdır.

Dolgu duvarlarının yapının yatay yükler altındaki davranışına etkilerini göz ardı etmemek gerekmektedir. Yatay yükler etkisindeki yapıda, dolgu duvarları harç derzlerinde oluşan sürtünme kuvvetleri yardımıyla yapının sönüm kapasitesini yükseltmektedir. Ayrıca yapının yatay rijitliğini arttırarak, yatay deplasmanları küçültmekte ve yapının doğal titreşim periyodunu azaltmaktadır.

3.2 Dolgu Duvarlarda Oluşan Hasar Şekilleri

Taşıyıcı sistemin deprem yükü altındaki yatay ötelenmesinden dolayı, duvarlar kesme kuvveti ile zorlanırlar. Duvar malzemesinin çekme gerilmelerine karşı zayıflığı, × şeklindeki çatlakların meydana gelmesine ve bazı duvarların dağılmasına sebep olmaktadır. Genel olarak gevrek malzemeden yapılan dolgu duvarları kendilerini çevreleyen betonarme çerçeveler kadar esnek olmadıklarından, çerçevenin hareketine uyum sağlayamazlar ve dolgu duvarda büyük çatlaklar ve hasarlar meydana gelerek duvarlar göçmektedir. Bazı durumlarda ise duvarın kiriş ve kolonla olan ara kesitinde yatay ve düşey ayrılma çatlakları görülebilmektedir, Şekil 3.1, [10].



Şekil 3.1 Betonarme Çerçevede Bölme Duvarı Hasarı

Dolgu duvarın yapı davranışına olan etkisi, yapı içindeki yerleşimine ve yatay yükün geldiği doğrultuya da bağlıdır. Dolgu duvarlarının plandaki ve boy kesitteki düzensiz dağılımından dolayı oluşan burulma etkileri ve yumuşak kat mekanizmaları, hasarın belirli bölümlerde toplanmasına neden olmaktadır.

Dolgu duvarlı çerçeveye yatay yük uygulanmaya başlandığı zaman, dolgu ve çerçeve elemanlarda üniform olmayan gerilme dağılımı meydana gelmeye başlıyor ve dolgu duvarda göçme meydana gelene kadar gerilme dağılımı deşiyor. Göçmenin oluşması için dolgu duvarın çekme veya basınç gerilmesine ulaşması gerekiyor. Bu seviyeye ulaşmadan duvar hasarının ne boyutta olduğunu anlamak için çatlak genişliklerini kontrol etmek gerekiyor. Buna bağlı olarak duvar hasar seviyesi hasarsız, orta derecede hasarlı ve çok hasarlı olmak üzere üç sınıfa ayrılıyor, Şekil 3.2. "Çok hasarlı" hasar seviyesi güvenlik kontrolü için kullanılabilmektedir, [11].



Hasarsız



Orta Derecede Hasarlı Çatlak Genişliği<3mm



Çatlak Genişliği≥3mm

Şekil 3.2 Dolgu Duvarı Hasar Seviyeleri

3.3 Dolgu Duvar Modelleri

Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük kapasitelerinin bulunması amacı ile bir çok araştırmacı tarafından farklı modeller ve çözüm yolları önerilmiştir. Genel olarak bu çözüm yolları ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi dolgu duvarın sonlu elemanlar kullanılarak mikro modellenmesi, ikincisi ise dolgu duvarın tek bir yapı elemanı olarak lineer olmayan statik analize yansıtıldığı makro modellemedir. Ancak mikro modellemenin uygulamasının çok zaman alması ve uygulamasının pratik olmaması nedeniyle bu çalışmada dolgu duvarın eşdeğer sanal çubuk olarak tanıtıldığı bir makro modelleme kullanılmıştır.

3.3.1 Eşdeğer Sanal Çubuk Modeli

Artan tek yönlü yatay yükler etkisindeki çerçeve ve dolgu duvar, bu yüklerin düşük değerleri altında birlikte hareket etmektedirler. Yatay yük seviyesi ile birlikte yatay deformasyonlar arttıkça, çerçevede eğilme, dolgu duvarda ise kayma meydana gelecektir. Böylece yükün uygulanmadığı köşegen doğrultusunda çerçeve ve dolgu duvar birleşimlerinde ayrılmalar meydana gelmeye başlayacaktır, yükün uygulandığı

köşegen doğrultusunda ise çerçeve ve dolgu duvar arasında tam temas sağlanacaktır. Bu davranışı dolgu duvarlı çerçeve analizinde basitleştirmek amacıyla eşdeğer basınç çubuğu tanımlanmaktadır, Şekil 3.3.



Şekil 3.3 Eşdeğer Sanal Çubuk Modeli

İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında denen numunelere artan tersinir yatay yükler uygulanmıştır ancak geliştirilecek olan modelde, uygulanacak olan yatay yükün tek yönlü olmasından dolayı çerçeve sistemlerin lineer olmayan çözümlemesinde dolgu duvarlar iki ucu mafsallı eşdeğer sanal basınç çubukları ile temsil edilmeye çalışılmıştır, Şekil 3.4.



Şekil 3.4 Eşdeğer Sanal Basınç Çubuğunun Modele Yansıtılması

Dolgu duvarı temsil edecek eşdeğer sanal çubuk özelliklerinin bulunması için, birçok araştırmacı tarafından değişik formüller önerilmiştir. Bu formüllerde dikkat edilen

ortak özellik bulunacak olan değerlerin dolgu duvar davranışını en iyi şekilde yansıtabiliyor olmasıdır, Şekil 3.5. Bunlar;

- a: Eşdeğer sanal çubuk genişliği
- t: Eşdeğer sanal çubuk kalınlığı
- D: Eşdeğer sanal çubuk uzunluğu
- E_m: Eşdeğer sanal çubuk elastisite modülü
- R: Eşdeğer sanal çubuk taşıma kapasitesi
- θ: Eşdeğer sanal çubuğun yatayla yaptığı açı



Şekil 3.5 Eşdeğer Sanal Çubuk Parametreleri

Eşdeğer sanal çubuğun genişliği "*a*", kalınlığı "t" ve E_m 'si temsil ettiği dolgu duvarın kalınlığıyla ve mekanik özellikleriyle aynı olacak şekilde çerçeve içine yerleştirilmektedir.

Eşdeğer sanal çubuğun uzunluğu (3.1) bağıntısı ile tanımlanmaktadır. Burada H dolgu duvarın içinde bulunduğu çerçevenin yüksekliğini, L dolgu duvarın içinde bulunduğu çerçevenin genişliğini ifade etmektedir.

$$D = \sqrt{H^2 + L^2} \tag{3.1}$$

Eşdeğer sanal çubuk alanı ise (3.2) bağıntısı ile ifade edilmektedir.

F=t.a (3.2) (3.2) bağıntısında bulunan, eşdeğer sanal çubuk genişliğini ifade eden *a* değeri için değişik araştırmacılar tarafından farklı bağıntılar önerilmiştir. Eşdeğer sanal çubuk genişliği dolgu duvar üzerinde yatay yükten dolayı oluşan basınç bölgesinin genişliğini ifade etmektedir.

Paulay ve Priestley [12], eşdeğer sanal çubuk genişliği için, eşdeğer sanal çubuk uzunluğunun %12.5 ve %25'i arasında çerçeve ve dolgu duvar özelliklerinden bağımsız sabit bir değer belirlemişlerdir, (3.3).

$$a=0.125D \sim 0.25D$$
 (3.3)

Mainstone [13], eşdeğer sanal çubuk genişliğini ' λ H' değerine bağlı olarak ifade etmiştir, (3.4). λ değeri ise (3.5) bağıntısında ifade edilmektedir.

$$a = 0.175 .(\lambda H)^{-0.4} .\sqrt{h^2 + l^2}$$
(3.4)

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{m.t.\sin 2\theta}}{4.E_{c.Ic.h}}}$$
(3.5)

Burada;

h: dolgu duvar yüksekliği

l: dolgu duvar genişliği

E_c: kolon elastisite modülü

Ic: kolon atalet momenti

olarak ifade edilmektedir. (3.4) ve (3.5) bağıntılarından da görüldüğü gibi eşdeğer sanal çubuk genişliği; kolon elastisite modülü, kolon atalet momenti, kolon

yüksekliği, dolgu duvar kalınlığı, yüksekliği ve genişliği, dolgu duvar elastisite modülü gibi bir çok değere bağlı olmaktadır.

Bu bağıntılarda verilen eşdeğer sanal çubuk genişliği kullanılarak lineer olmayan statik analizde limit yüke ulaşılmaktadır.

Eşdeğer sanal çubuk genişliğinin bulunması kadar dolgu duvarın çerçeve içindeki davranışını ve rijitliğini belirleyecek olan ve oluşturulacak olan model sonuçlarını önemli derecede etkileyecek bir diğer veride dolgu duvar elastisite modülüdür. Dolgu duvar elastisite modülünün belirlenmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunun için kuramsal yada deneysel çalışma sonuçlarından faydalanılabilmektedir.

Dolgu duvar homojen bir eleman olmadığı için tuğla basınç dayanımı, harç tabakası basınç dayanımı, sıva kalınlığı, harç tabakası kalınlığı elastisite modülünü etkileyecek ve değiştirecek etkenlerdendir. Bu nedenle dolu duvarın elastisite modülü yatayda ve düşeyde birbirinden farklı olmaktadır.

ACI530-95 [14] yönetmeliğine göre dolgu duvar prizma basınç testinden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme bağıntısının en büyük gerilme değerinin (f'_m), %5 ve % 33'lük değerine karşılık gelen iki nokta arasındaki doğrunun eğimi dolgu duvar elastisite değerini vermektedir, Şekil 3.6. Dolgu duvar elastisite modülü (3.6) bağıntısı ile hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.6 Dolgu Duvar Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

$$E_m = \frac{\sigma_{0.33} - \sigma_{0.05}}{\varepsilon_{0.33} - \varepsilon_{0.05}}$$
(3.6)

Burada; $\varepsilon_{0.33}$ duvar prizma basınç dayanımının %33'ü olan $\sigma_{0.33}$ gerilmesine karşı gelen şekildeğiştirme, $\varepsilon_{0.05}$ duvar basınç dayanımının %5'i olan $\sigma_{0.05}$ gerilmesine karşı gelen şekildeğiştirmedir.

ITÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuarında Yücesan [15] tarafından yapılan 3 sıralı ve 4 sıralı tuğla deneyleri de elastisite modüllerinin elde edilmesi için kullanılmıştır. Artan yük değerleri altında denen numunelerin önce yükyerdeğiştirme bağıntıları elde edilmiş oradan gerilme şekildeğiştirme ilişkisine geçilmiştir. Elastisite modülü, gerilme–şekildeğiştirme ilişkisinde en büyük gerilmenin " σ_{max} " %5 ve %35 ine karşılık gelen noktalar arasındaki doğrunun eğimi olarak kabul edilmiştir. Bulunan elastisite modülü numunenin düşey yöndeki elastisite modülü olup yatay yöndeki elastisite modülüne geçmek için (3.7) bağıntısı kullanılmaktadır, [16].

$$E_x = 0.63E_y$$
 (3.7)

Dolgu duvarı temsil eden eşdeğer sanal çubuk modelde iki ucu mafsallı olarak tanımlandığı için kolonlar ve çubuk arasında moment aktarımı olmamaktadır ve eşdeğer sanal çubuk sadece eksenel yük taşımaktadır. Bu nedenle eşdeğer sanal çubuk yük taşıma kapasitesi için çeşitli bağıntılar önerilmiştir.

Bunlardan bir tanesi Paulay ve Priestley [12] in önerdiği, sanal çubuk basınç yükü taşıma kapasitesi (R) bağıntısıdır. Bu bağıntıyı dolgu duvarın göçme şekline göre ikiye ayırmışlardır.

Dolgu duvarın basınç kırılması göçme durumu için R_{cd}, (3.8) bağıntısıyla verilmiştir.

$$R_{cd} = \frac{2}{3} \cdot z \cdot f'_m \cdot \sec \theta \tag{3.8}$$

Burada "z" dolgu duvar ile çerçevenin yatayda temas ettiği mesafeyi göstermektedir ve (3.9) bağıntısı ile ifade edilmektedir.

$$z = \frac{\pi}{2} \cdot 4 \frac{4 \cdot E_c \cdot I_c \cdot h'}{E_m \cdot t \cdot \sin 2\theta}$$
(3.9)

Dolgu duvarın kayma kırılması göçme durumu için R_s , (3.10) bağıntısı ile ifade edilmektedir.

$$R_s = \frac{\tau_0}{1 - 0.3(h/l)} dt$$
(3.10)

Burada " τ_0 " dolgu duvarı kayma sürtünme gerilmesini ifade etmektedir ve (3.11) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$\tau_0 = 0.03 f'_m \tag{3.11}$$

Teorik olarak bu modeller kullanılabileceği gibi, eşdeğer sanal çubuğun davranışının daha gerçekçi ifade edilebilmesi için yük-yerdeğiştirme bağıntısı olarak, dolgu duvarı kayma deneylerinden elde edilen sonuçlar da kullanılabilmektedir. Bu amaçla Bölüm 4 de anlatılacak olan, modelde kullanılacak dolgu duvarları temsilen bir kısım dolgu duvarı kayma deneyleri yapılmıştır ve modelde kullanılmak için bu deney sonuçlarından yük-yerdeğiştirme bağıntıları elde edilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Numunelerin Tanıtılması

Çalışma kapsamında olmak üzere betonarme çerçeve boyutları aynı olmak suretiyle hazırlanmış ancak birbirinden farklı dolgu duvarları ile üretilmiş tek katlı dört adet numune ve iki katlı tek açıklıklı, çerçeve boyutları tek katlı numunelerden farklı dolgu duvarlı bir adet numune denenmiştir. Numuneler, uygulamada çok karşılaşılan tipik bir betonarme yapı, ¹/₂ ölçekle küçültülerek yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada; farklı güçlendirme metotları kullanılarak, aynı ölçekle üretilen numuneler arasındaki davranış farklılıkları incelenmek istenmiştir. Bu deneyleri tamamlaması açısından basit kayma ve malzeme deneyleri de gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışma için hazırlanan numuneler Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Numune 5

Şekil 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan numuneler

Bütün tek katlı numuneler 260*38*60 'lık temellere kolon alt uçlarından ankastre olarak mesnetlenmiştir ve bu temellerin de özel laboratuar döşemesine bağlantısı yapılmıştır. Temellerin laboratuar döşemesine bağlantısı, üzerinde yer alan 28 adet $\Phi50$ çapındaki deliklerden, 39 mm çapındaki özel ankraj bulonları geçirilerek sağlanmaktadır. Böylece deney sırasında numunelerin temelle birlikte ötelenmesi engellenmiş olmaktadır.



Şekil 4.2 Tek katlı numune geometrisi

İki katlı numune ise 280*40*60 'lık temele kolon alt ucundan ankastre olarak mesnetlenmiştir. Tek katlı numunelerden farklı olarak iki katlı numunenin temelinde laboratuar döşemesine bağlantısının yapılabilmesi için 30 adet Φ 50 çapında delik bulunmaktadır.

Tek katlı numuneler için; kolon boyutları 20*25 cm, kiriş boyutu 20*32.5 cm, döşeme kalınlığı 12 cm ve tabla genişliği de 82 cm' dir, Şekil 4.2, [17].

İki katlı numune için; kolon boyutları 16*24 cm, kiriş boyutları ise 24*24 cm' dir, Şekil 4.3, [18].





Kolon Kesiti

6 12 •	24
24	

Kiriş Kesiti

Şekil 4.3 İki katlı numune geometrisi

Betonarme çerçevede enine ve boyuna donatılar yumuşak çelikten oluşturulmuştur. Kolon boyuna donatıları bağlandıkları temelin alt yüzüne kadar devam etmektedir.

Her bir numunenin üretim detayı şöyledir;

Numune 1: Yüksel ve Saruhan [19] tarafından denen bu numune çıplak çerçeve olarak üretilmiş, çerçeve boyuna ve enine donatıları yumuşak çelikten oluşturulmuş ve kiriş boyuna donatılarından biri pilye olarak seçilerek köşe oluşturduktan sonra ankraj boyu kadar kolon içerisine uzatılmıştır. Çıplak çerçeve denenmesindeki amaç; hem sonradan yapılacak bölme duvarlı çerçevelerle arasındaki davranış farkının

bulunarak bölme duvarın sistem davranışına olan katkısını ortaya çıkarmak, hem de yapılacak olan kuramsal modele referans olarak kullanmaktır, Şekil 4.4.







Şekil 4.4 Çıplak çerçevenin hazırlanması

Numune 2: Numune 1' deki gibi hazırlanan bir çıplak çerçevenin içine (Φ 106/106) hasır donatı yerleştirilmiştir ve hasır donatı üzerine 5 cm kalınlığında panel

oluşturmak için ıslak karışımlı püskürtme beton uygulanmıştır. Hasır donatının kolonlara, kirişe ve temele bağlantısını sağlamak için çelik ankraj çubukları kullanılmıştır.

Ankraj elemanı olarak Φ 8 mm' lik nervürlü çelik çubuklar kullanılmış ve ankraj boyu olarak 150 mm alınmıştır. Bu ankraj çubukları, açılan deliklerin içine epoksi reçinesi yardımıyla sabitlenmiştir, Şekil 4.5.





Şekil 4.5 Püskürtme Panelli Numune

Numune 3: Çıplak çerçeve içine uygulanacak bölme duvarda, basınca karşı dirençli, 215*102*65 mm boyutlarında tuğlalar kullanılmıştır. Tuğlalar, delikleri düşeyde olacak şekilde, kolonlar ve kirişle olan temas yüzeyleri boyunca ardışık boş gözler bırakılarak örülmüştür. Kolon ve kirişteki betonlama işlemi sırasında bu gözlere de beton dolarak, kayma kamaları oluşmakta ve duvarın çerçeveye kenetlenmesi sağlanmaktadır, Şekil 4.6.

Ankraj elemanı olarak Φ 16 mm'lik çelik çubuklar kullanılmış ve ankraj boyu olarak 150 mm alınmıştır.







Şekil 4.6 Kayma kamalı numune

Numune 4: Numune 3' de kullanılan duvar malzemelerinin aynısı bu numunede de kullanılmıştır ancak burada kayma kamaları oluşturulmamış ve tuğlalar kolon ve kirişlere temas halinde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylece kayma kamalı ve kayma kamasız numuneler arasındaki davranış farkları da ortaya çıkmış olacaktır, Şekil 4.7.





Şekil 4.7 Kayma kamasız numune

Numune 5: İki katlı tek açıklıklı olarak üretilen bu çerçevenin içine 13.5*20*20 cm boyutlarındaki tuğlalar delikleri yatayda olacak şekilde bölme duvar oluşturmak için örülmüştür. Duvar kalınlığı sıva ile birlikte 16 cm'dir ve çerçeve de, bileşimi kumçimento-kireç-su olan ince bir sıvayla sıvanmıştır, Şekil 4.8.





Şekil 4.8 İki katlı numune

Tüm numuneler artan tersinir yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde denenmiştir.

4.2 Deney Düzeneği

Deneysel çalışma, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında gerçekleştirilmiştir. Tek katlı numunelerin deney düzeneği Şekil 4.9'da görülmektedir.





Şekil 4.9 Tek Katlı Numune Deney düzeneği

İki katlı numunenin deney düzeneği Şekil 4.10'da görülmektedir.





Şekil 4.10 İki Katlı Numune Deney düzeneği

4.2.1 Yükleme Sistemi

kontrollü hidrolik veren aracılığı ile numuneye Yatay yük, otomatik uygulanmaktadır.Hidrolik verenin fiziksel sınırları, yük için ±250 kN, yerdeğiştirme içinse ±30 cm'dir. Deney sırasında bu sınırlar arasında yük ve yerdeğiştirme miktarları kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Özel bir kontrol ünitesi ve bu ünitenin bağlı olduğu bilgisayar aracılığı ile otomatik yükleme ve veri toplama islemi yapılabilmektedir. Hidrolik veren için; yük modu ve iki ayrı yerdeğiştirme modu olmak üzere toplam üç bağımsız kontrol modu seçilebilmekte ve deney esnasında bu modlar arasındaki geçiş çok hızlı yapılabilmektedir. Bu modlar için veri, hidrolik veren üzerindeki yük hücresinden, iç yerdeğiştirme ölçerden ve bağımsız yerlere mesnetlenmiş olan dış yerdeğiştirme ölçerden gelmektedir. Yerdeğiştirme kontrollü deney sırasında dış yerdeğiştirme ölçer kullanılmış ve hedef deplasman seviyeleri kontrol edilmiştir. Hedef deplasman seviyeleri kontrolü, numunenin tepe deplasmanını ölçen dış yerdeğiştirme ölçerden gelen veriler sayesinde yapılmaktadır.

Hidrolik verenin kontrolü, önceden oluşturulan bir test programının ilgili programda icrasıyla veya deney sırasında kontrol imkanı kullanılarak yapılabilmektedir. Bu deneysel çalışmada, deney sırasında kontrol seçeneği kullanılmıştır. Kontrol kanallarından gelen veri, deney esnasında bilgisayar ekranından takip edilebilmektedir.

Normal yük ise el ile kontrol edilen hidrolik veren yardımıyla verilmiştir.

4.2.2 Veri Toplama Sistemi

Veri toplama sistemi; veri dönüştürücü, yönlendirme kutuları, GPIB kart ve kablosu, bilgisayar ve bir yazılımdan oluşmaktadır. Veri toplama sistemi numuneler üzerine yerleştirilen; şekildeğiştirme ölçer, yerdeğiştirme ölçer ve yük ölçer gibi ölçüm elemanlarının ürettiği analog bilgiyi fiziksel büyüklüğe çevirip, saklamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan tüm şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme ölçerler, kendi kablolarıyla numune yakınına yerleştirilmiş bulunan yönlendirme kutusuna bağlanmışlardır. Burada toplanan veri, özel bir kablo aracılığı ile kontrol odasında bulunan veri dönüştürücüye aktarılmaktadır. Veri dönüştürücü, GPIB kablo ve kartıyla bir bilgisayara bağlanmıştır. Bu bilgisayardaki bir yazılım aracılığı ile

toplanan veriler diske yazılmakta ve aynı anda bilgisayar ekranından izlenebilmektedir.

Aslında yükleme ve veri toplama sistemi birbirinden bağımsızdır ama yükleme sistemini kontrol eden ünitenin gönderdiği uyarı işareti ile aynı anda veri toplamaktadırlar.

Numunelerde kuvvet ve yerdeğiştirmelerin ölçülmesi;

Numuneye uygulanan yatay yükler hidrolik veren üzerindeki yük hücresi ile, hidrolik veren hizasındaki yatay yerdeğiştirme ise bağımsız bir yere bağlı olan ve hidrolik verenin kontrolü içinde kullanılan dış yerdeğiştirme ölçer ile saptanmaktadır. Bunlarla birlikte, numunelerin değişik kesitlerinde meydana gelen yerdeğiştirmeleri ölçmek için yeterli miktarda yerdeğiştirme ölçer ve uygulanan normal kuvveti takip etmek içinde yük ölçer kullanılmıştır. Ancak bütün numunelere normal kuvvet uygulanmamıştır.

Uygulanan yerdeğiştirme çevrimleri;

Bu deneysel çalışmada, tersinir yatay yükler etkisinde numune davranışlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deneylerde Numune1, 2 ve Numune 5' e normal kuvvet uygulanmıştır. Numune 3 ve Numune 4' e normal kuvvet uygulanmamıştır.

Yerdeğiştirme kontrollü olarak çalıştırılan hidrolik veren, hedeflenen yükleme eşiklerini yatay yönde numuneye tatbik etmiştir, Şekil 4.11. Tek katlı numuneler denenirken her yerdeğiştirme seviyesinde üç tekrar yapılmıştır, böylece olabilecek dayanım azalmalarının gözlenmesi hedeflenmiştir. İki katlı numunede ise her yerdeğiştirme seviyesi birer kere yapılmıştır.



Şekil 4.11 Yatay yük yerdeğiştirme çevrimleri

4.3 Malzeme Deneyleri Sonuçları

Malzeme deneylerinin bir kısmı olan beton deneyleri ve donatı deneyleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarında, dolgu duvarı kayma deneyleri ise İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında yapılmıştır.

4.3.1 Beton Deneyleri

Numunelerin oluşturulmasının değişik aşamalarında, kullanılan betonlardan Tablo 4.1'de belirtilen miktarlarda silindir numuneler alınmıştır. 15*30 cm boyutlarında olan silindir numunelere eksenel basınç deneyi uygulanmıştır, [17,19,20].

Tablo 4.1	Silindir	deney	sonuç	ları
-----------	----------	-------	-------	------

Numune İsmi	Sayı	Silindir Basınç Dayanımı [N/mm ²]	Alındığı Yer
Numune 1	3	16.27	Kolon-Kiriş Betonu
Numune 2	4	9.72	Kolon-Kiriş Betonu
Numune 3	3	16.99	Kolon-Kiriş Betonu
Numune 4	3	17.78	Kolon-Kiriş Betonu
Numune 5	4	18.47	Kolon-Kiriş Betonu

Numune 2' deki püskürtme beton için malzeme deneyi sonucunda ulaşılan gerilmeşekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.12'de verilmiştir.





Şekil 4.12 Numune 2' ye ait 15*30 cm püskürtme beton silindir deney sonuçları

Numune 2 içinde oluşturulan püskürtme beton panelin ortalama basınç dayanımı 25.58 Mpa olarak bulunmuştur.

4.3.2 Donatı Deneyleri

Farklı yerlerde kullanılan donatılardan alınan numunelerle çekme deneyleri yapılmıştır. Donatı gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 4.13'de verilmiştir.



Çelik1 (15.5 mm)





Şekil 4.13 Donatı gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri





Çelik4 (15.4 mm)



Çelik5 (5.9 mm)



Şekil 4.13 Donatı gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri (Devamı)





Şekil 4.13 Donatı gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri (Devamı)

Bu çekme deneyleri etriye ve boyuna donatılardan alınan örnekler üzerine yapılmıştır.

4.3.3 Dolgu Duvarı Deneyleri

Numune 2, 3, 4 ve numune 5 çerçevelerinde bulunan duvarların kayma dayanımlarının bulunması amacı ile basit kayma deneyleri yapılmıştır.

4.3.3.1 Kayma Deneyleri

Tablo 4.2'de gösterilen miktarda kayma deneyi yapılmıştır. Her numune içindeki dolgu duvarı temsil edecek şekilde 755*755 mm boyutlarında kayma deney numuneleri üretilmiştir. Numune 2 çerçevesi içindeki paneli temsil etmek ve kayma dayanımları arasındaki farkı bulmak için kayma numunelerinden biri püskürtme betonun yerinde dökülmesiyle, diğeri ise paneli oluşturan hasır çelik üzerine püskürtülmesiyle oluşturulmuştur. Püskürtme beton numunelerinin üretim aşamaları sırasında işçilikten kaynaklanan, üniform olmayan numune kalınlıkları elde edilmiştir. Şekil 4.14'de tanımlanan kesitlerde ölçülen numune kalınlıkları Tablo 4.3'de verilmektedir, [17].

Çerçeve Numunesi	Numune Adı	Numune Adedi
Numune 2		
	Dökme	1
	Püskürtme	1
Numune3 ve Numune 4		
	Pres Tuğla 1	1
	Pres Tuğla 2	1
	Pres Tuğla 3	1
	Pres Tuğla 4	1
Numune 5	Boşluklu Tuğla	1

Tablo 4.2 Numune İsimleri ve Adedi



Şekil 4.14 Kalınlıkları Ölçülen Kesitler

Tablo 4.3 Numune Kalınlıkları

Numune Adı	1	2	3	4
Dökme	56 mm	55 mm	50 mm	50 mm
Püskürtme	46 mm	54 mm	60 mm	76 mm

Numuneler yükleme düzeneğine yerleştirilirken; numune yüzeyinin, su düzeciyle bakıldığında dik olmasına ve alt ve üst yükleme pabuçlarını ortalayacak şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmiştir. Böylece numuneye yükü homojen olarak aktarabilmek mümkün olacaktır, Şekil 4.15, [15].



Şekil 4.15 Deney Düzeneği

Bütün kayma deneyi numunelerinde kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin tipi ve yerleri aynı olup Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

No	Yerdeğiştirme Ölçer Tipi	Kullanım Yeri
1	CDP 5	Ön Yüz Kısalma
2	CDP 5	Ön Yüz Uzama
3	CDP 5	Arka Yüz Kısalma
4	CDP 5	Arka Yüz Uzama
5	CDP 10	Üst Uç Düzlem Dışı Hareket
6	CDP 10	Alt Uç Düzlem Dışı Hareket

Tablo 4.4 Yerdeğiştirme Ölçer Tipi ve Kullanım Yerleri

Numunelere yükler 10 kN' luk adımlarla uygulanmaya başlanıp, elastik bölgeden çıkılırken yükleme adımları 5 kN' a düşürülmüştür ve her yükleme adımı 3' er kere tekrarlanmıştır. Numunenin ön ve arka yüzünde yer alan ve numunenin düşey yerdeğiştirmesini ölçen, T1 ve T3 yerdeğiştirme ölçerlerinden okunan değerler ile oluşturulan yük-yerdeğiştirme grafikleri, püskürtme ve dökme beton için Şekil 4.16'da verilmiştir.



Yerdeğiştirme [mm]

Şekil 4.16 Dökme ve Püskürtme Beton Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri

Şekil 4.17'de Yücesan [15] tarafından denen pres tuğlaya ait yük-yerdeğiştirme grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.17 Pres Tuğla Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri



Şekil 4.17 Pres Tuğla Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri (Devamı)

Şekil 4.18'de Erol [20] tarafından denen boşluklu tuğlaya ait yük-yerdeğiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 4.18 Boşluklu Tuğla Yük-yerdeğiştirme İlişkileri

Şekil 4.19'da püskürtme betonla üretilmiş duvarlara ait τ – γ ilişkileri verilmiştir.





Şekil 4.19 Dökme ve Püskürtme Beton Numunesi τ - γ İlişkileri

Şekil 4.20'de ise pres tuğla ile üretilmiş olan duvarlara ait $\tau - \gamma$ ilişkileri verilmiştir.









Şekil 4.20 Pres Tuğla Numunesi τ – γ İlişkileri





Şekil 4.20 Pres Tuğla Numunesi τ–γ İlişkileri (Devamı)





Şekil 4.21 Boşluklu Tuğla Numunesi τ-γ İlişkileri

Duvar numuneleri için kayma modülü değerleri, G, τ - γ eğrilerindeki τ_{max} değerinin % 5' i ile % 35' i arasındaki eğim olarak hesaplanmıştır. Tüm numuneler için kayma modülü değerleri Tablo 4.5'de verilmiştir.
Numune Adı	G [N/mm ²]
Dökme	5729.2
Püskürtme	3661.7
Pres Tuğla 1	1947.0
Pres Tuğla 2	1764.0
Pres Tuğla 3	1750.0
Pres Tuğla 4	1734.0
Boşluklu Tuğla	1181.6

Tablo 4.5 Kayma Modülü Değerleri

Bu deney numunelerinden elde edilen bazı sonuçlarda Tablo 4.6'da verilmiştir.

Numune Adı	P _{max} [kN]	δ _{max} [mm]	$\tau_{max} [N/mm^2]$	γ_{max}
Dökme	350	1.034	6.354	3.914*10 ⁻³
Püskürtme	200	1.500	3.141	6.823*10 ⁻³
Pres Tuğla 1	264	2.990	2.240	$1.130*10^{-2}$
Pres Tuğla 2	234	2.510	1.999	9.058*10 ⁻³
Pres Tuğla 3	161	3.414	1.380	9.659*10 ⁻³
Pres Tuğla 4	209	3.536	1.790	9.970*10 ⁻³
Boşluklu Tuğla	137	1.791	0.896	6.020*10 ⁻³

Tablo 4.6 Deney Sonuçlarından Elde Edilen Bazı Maksimum Değerler

Kayma numunelerinde deney esnasında oluşan ilk çatlaklar ve bu çatlakların oluştuğu yük seviyeleri Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7 İlk Çatlak Oluşum Yük Seviyeleri

	İlk Çatlağın
Numune Adı	Oluştuğu Yük
	Seviyesi [kN]
Dökme	235
Püskürtme	115
Pres Tuğla 1	160
Pres Tuğla 2	180
Pres Tuğla 3	140
Pres Tuğla 4	145
Boşluklu Tuğla	130

Bütün kayma numunelerinde ilk çatlak numunenin orta kısımlarında, yüklemenin yapıldığı köşegenler doğrultusunda meydana gelmiştir. Ve bu çatlaklar, sonraki adımlarda aynı doğrultuda ilerleyerek başlıklara kadar ulaşmıştır.

Artan yük adımlarında dökme numunesinde ilk çatlakla aynı doğrultuda, ilk çatlağın yalnızca bir tarafında çatlaklar oluşmuştur. Göçme aşamasında yükün uygulanmadığı köşelerden bir tanesi çatlak hizasında kopmuştur. Başlıkta ezilme olmamıştır. Numune yüzeyinde dökülmeler meydana gelmiştir. Numune 355 kN' un ilk adımına giderken 335 kN' da göçmüştür, Şekil 4.22.

Püskürtme numunesinde ilk çatlağın her iki tarafında da, ilk çatlakla aynı doğrultuda çatlaklar oluşmuştur.Ve göçme sırasında alt başlığa yakın kısımlarda bazı parçalarda kopma meydana gelmiştir. Numune yüzeyinde kabarma ve dökülmeler oluşmuştur ve hasır donatı betondaki bu dökülmeler sonucunda görünür hale gelmiştir. Üst başlıkta yatay çatlak oluşmuştur ancak başlıkta ezilme meydana gelmemiştir. Numune 205 kN' un ilk adımına gidilirken 183 kN civarında göçmüştür, Şekil 4.23.



Ön Yüz İlk Çatlak



Arka Yüz İlk Çatlak



Ön Yüz Göçme



Arka Yüz Göçme

Şekil 4.22 Dökme Numunesi Göçme Şekli



Ön Yüz İlk Çatlak



Arka Yüz İlk Çatlak



Ön Yüz Göçme



Arka Yüz Göçme

Şekil 4.23 Püskürtme Numunesi Göçme Şekli

Pres tuğla 1 numunesinde ilk çatlağın oluşumundan sonra, ilk çatlakla aynı doğrultuda düşey çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar ilk çatlağın her iki tarafında da oluşmuştur. Numune 265 kN' un ikinci adımına giderken 253 kN civarında göçmüştür, Şekil 4.24.













Ön Yüz Göçme

Şekil 4.24 Pres Tuğla 1 Çatlak Oluşum Yerleri

Pres tuğla 2 numunesinde ilk çatlağın her iki tarafında da ilk çatlakla aynı doğrultuda, düşey çatlaklar oluşmuştur. Numune göçerken orta kısımdaki tuğlalar ezilerek kırılmıştır. Numune 235 kN' a giderken ilk adımda 234 kN civarında göçmüştür, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26.

Pres tuğla 3 numunesinde ilk çatlağın her iki tarafında da ilk çatlakla aynı doğrultuda, düşey çatlaklar oluşmuştur. Göçme esnasında numunenin orta alt kesimine yakın kısımda tuğla ve harçta 1.5 mm civarında çatlak genişliği artmıştır. Numune 160 kN' un üçüncü adımına giderken 153 kN civarında göçmüştür, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28.



Şekil 4.25 Pres Tuğla 2 Çatlak Oluşum Yerleri







Ön Yüz Göçme

Şekil 4.26 Pres Tuğla 2 Göçme Şekli

Pres tuğla 4 numunesinde ilk çatlağın bir tarafında, ilk çatlakla aynı doğrultuda düşey çatlaklar oluşmuştur. Numunede göçme esnasında, üst başlı kenarından düşey yönde alt başlık kenarına doğru kopma meydana gelmiştir. Numunenin orta kısmındaki tuğlalarda ise ezilmeler ve dökülmeler meydana gelmiştir. Numune 210 kN' un ilk adımına gidilirken 209 kN civarında göçmüştür, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30.



Ön Yüz İlk Çatlak



Arka Yüz İlk Çatlak





Ön Yüz Göçme

Şekil 4.28 Pres Tuğla 3 Göçme Şekli



Arka Yüz Göçme



Ön Yüz İlk Çatlak



Arka Yüz İlk Çatlak

Şekil 4.29 Pres Tuğla 4 İlk Çatlak Oluşum Yerleri



Ön Yüz Göçme



Arka Yüz Göçme

Şekil 4.30 Pres Tuğla 4 Göçme Şekli

Boşluklu tuğla numunesinde ilk çatlak yükün uygulandığı köşegen doğrultusunda oluşmuş ve ilk çatlağın her iki tarafında da ilk çatlakla aynı doğrultuda, düşey çatlaklar oluşmuştur. Yüklemenin ilerleyen adımlarında numune üzerine uygulanmış olan sıvada dökülmeler meydana gelmiş ve sıva altında bulunan tuğlalarda çatlamaların ve ezilerek dökülmelerin meydana geldiği görülmüştür. Numune 140 kN un ilk adımına giderken 132 kN civarında göçmüştür, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32.



Şekil 4.31 Boşluklu Tuğla Çatlak Oluşum Yerleri





Şekil 4.32 Boşluklu Tuğla Göçme Şekli

4.3.3 Harç Dayanımları

Yapılan deneylere ait duvar harcı dayanımları Tablo 4.8'de verilmiştir.

Numune Adı	Silindir Basınç Dayanımı [N/mm2]	Standart Sapma	DÜZELTİLMİŞ Silindir Basınç Dayanımı [N/mm2]
Numune 3 Duvar Harcı	27.24	2.40	24.17
Numune 4 Duvar Harcı	32.27	2.09	29.60
Numune 5 Duvar Harcı (1. Kat Duvarı)	2.46	0.12	2.30
Pres Tuğla Duvar Harcı (Kayma Numunesi)	19.75	2.49	16.57

4.3.4 Deneysel Sonuçlar

4.3.4.1 Numune 1

Çıplak çerçeve olarak üretilen bu numune, tersinir yatay yükler etkisinde ve kolonlar üzerine toplam 330 kN' luk normal kuvvet uygulanarak denenmiştir. Çalışma ve veri toplama yöntemi önceden anlatılan yükleme ve ölçüm sistemi kullanılarak çok miktarda veri elde edilmiştir. Bu verilerin bir kısmı numunenin değişik kesitlerine yerleştirilen ve bu kesitlerde meydana gelen yerdeğiştirmeleri ölçen belirli sayıda

yerdeğiştirme ölçer sayesinde elde edilmiştir. Numune 1' de kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin tipleri ve mesnetlenme şekilleri Tablo 4.9 ve Şekil 4.33'de verilmiştir, [19].

No	Model	Kullanım Yeri
1	CDP 5	Temel Dönme
2	CDP 25	Kolon Alt Dönme
3	CDP 25	Kolon Alt Dönme
4	CDP 25	Kolon Alt Dönme
5	CDP 25	Kolon Alt Dönme
6	CDP 5	Temel Dönme
7	CDP 25	Kolon Üst Dönme
8	CDP 25	Kolon Üst Dönme
9	CDP 25	Kolon Üst Dönme
10	CDP 25	Kolon Üst Dönme
11	CDP 25	Düzlem Dışı

Tablo 4.9 Numune1 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler



Şekil 4.33 Numune1 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi

Tablo 4.10'da verilen tepe yerdeğiştirmeleri yatay yönde numuneye uygulanmıştır ve her yerdeğiştirme seviyesi üçer kere tekrarlanmıştır. Numune 1 için ulaşılan en büyük tepe yerdeğiştirmesi 42 mm olmuştur.

Vült Covineri	Tepe Yerdeğiştirmesi	Rölatif Kat
Y UK Seviyesi	[mm]	Yerdeğiştirmesi δ/H
1	0,47	0,00033
2	0,70	0,00050
3	1,40	0,00100
4	2,80	0,00200
5	3,50	0,00250
6	4,20	0,00300
7	4,90	0,00350
8	5,60	0,00400
9	7,00	0,00500
10	10,50	0,00740
11	14,00	0,01000
12	28,00	0,02000
13	42,00	0,03000

Tablo 4.10 Numune1 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri

Şekil 4.34'de bu yerdeğiştirme seviyesine kadar olan yatay yük- tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi verilmiştir. Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinden yararlanarak oluşturulan zarf eğrisi Şekil 4.35'de verilmiştir.



Şekil 4.34 Numune 1 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi



Şekil 4.35 Numune 1 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi

Numune 1 de ; hasar, kolon alt ve üst kesitlerinde yoğunlaşmıştır. \pm 42,0 mm çevriminde arka yüz sağ alt kolon bölgesinde X şeklinde çatlak meydana gelmiştir ve sol kolon üst iç kısmındaki beton ezilerek dökülmüştür . Bu adımdan sonra deney durdurulmuştur, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37.



Şekil 4.36 Numune 1 Hasar Durumu



Şekil 4.37 Numune 1 Sol Kolon Üstü İç Kısım Hasar Durumu

4.3.4.2 Numune 2

Çıplak çerçevenin içine, ıslak karışımlı püskürtme betondan oluşturulmuş güçlendirme paneli yerleştirilen numune, tersinir yükler etkisinde, kolonlar üzerine toplam 225 kN' luk normal kuvvet uygulanarak denenmiştir. Numunenin değişik kesitlerine yerleştirilen ve bu kesitlerde meydana gelen yerdeğiştirmeleri ölçen, belirli sayıda yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin tipleri ve mesnetlenme şekilleri Tablo 4.11 ve Şekil 4.38'de verilmiştir.

No	Model	Kullanım Yeri
1	CDP 100	Tepe Yerdeğiştirme
2	CDP 25	Tepe Yerdeğiştirme
3	CDP 25	Duvar Yerdeğiştirme
4	CDP 100	Kolon Yerdeğiştirme
5	CDP 5	Ön Çapraz
6	CDP 5	Arka Çapraz
7	CDP 5	Çerçeve Ötelenme
8	CDP 5	Tüm Sistem Ötelenme
9	CDP 10	Kolon Alt Dönme
10	CDP 10	Kolon Alt Dönme
11	CDP 25	Duvar Dönme
12	CDP 25	Duvar Dönme
13	CDP 25	Duvar Dönme
14	CDP 10	Kolon Alt Dönme
15	CDP 10	Kolon Alt Dönme
16	CDP 25	Düzlem Dışı
17	CDP 10	Kolon Üst Dönme
18	CDP 10	Kolon Üst Dönme
19	CDP 25	Kolon Üst Dönme
20	CDP 25	Kolon Üst Dönme

Tablo 4.11 Numune 2 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler



Şekil 4.38 Numune2 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi

Tablo 4.12'de verilen tepe yerdeğiştirmeleri yatay yönde numuneye uygulanmıştır ve her yerdeğiştirme seviyesi üçer kere tekrarlanmıştır. Numune 2 için ulaşılan en büyük tepe yerdeğiştirmesi 14,0 mm olmuştur.

Vil Carringai	Tepe Yerdeğiştirmesi	Rölatif kat
Y UK Seviyesi	[mm]	Yerdeğiştirmesi 8/H
1	0,035	0,000025
2	0,070	0,000050
3	0,140	0,000100
4	0,280	0,000200
5	0,350	0,000250
6	0,467	0,000300
7	0,700	0,000500
8	1,400	0,001000
9	2,800	0,002000
10	3,500	0,002500
11	4,200	0,003000
12	4,900	0,003500
13	5,600	0,004000
14	7,000	0,005000
15	10,500	0,007500
16	14,000	0,010000

Tablo 4.12 Numune 2 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri

Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinden yararlanarak oluşturulan zarf eğrisi Şekil 4.40'da verilmiştir.

Şekil 4.41'de duvar ön çapraz ve arka çapraz yük-kısalma ve yük- uzama ilişkileri verilmiştir. Bu ilişkiler duvar üzerine çapraz olarak yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerle oluşturulmuştur.

Şekil 4.39'da bu yerdeğiştirme seviyesine kadar olan yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi verilmiştir.



NUMUNE 2 YATAY YÜK - TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 4.39 Numune 2 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi



NUMUNE 2 YATAY YÜK - TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 4.40 Numune 2 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi





DUVAR ARKA ÇAPRAZ



Şekil 4.41 Duvar Ön ve Arka Çapraz Yük-Uzama-Kısalma İlişkileri

Numune 2'de $\pm 14,0$ mm çevriminde kaydedilen çatlak yayılımına bakıldığında, püskürtme panel üzerinde her iki köşegen doğrultusunda panelin tümüne yayılmış olarak çatlaklar bulunmaktadır, Şekil 4.42.



Şekil 4.42 Numune 2 Panel Hasar Durumu

Kolon kiriş birleşim bölgelerindeyse 3,5 mm genişliğinde çatlaklar oluşmuştur, Şekil 4.43.



Şekil 4.43 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Hasar Durumu

Panelin sağ üst köşesi ve sol üst köşesinde ezilme sonucu dökülme meydana gelerek hasır donatı görünür hale gelmiştir. Sağ kolon üst iç köşesi de aynı şekilde ezilip dökülmüştür ve kolon donatısı meydana çıkmıştır, Şekil 4.44.



Şekil 4.44 Panel - Kolon Birleşim Bölgesinde Oluşan Hasar Durumu

4.3.4.3 Numune 3

Kolonlar üzerine normal kuvvet uygulanmadan denenen bu numunede, çıplak çerçeve içerisine basınca karşı dirençli tuğlalar kullanılarak bir bölme duvar uygulanmıştır. Bu bölme duvarın çerçeveye kenetlenmesinin sağlanması için de kayma kamaları oluşturulmuştur. Numune 3'de; numunenin değişik kesitlerine yerleştirilen ve bu kesitlerde meydana gelen yerdeğiştirmeleri ölçen, belirli sayıda yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin tipleri ve mesnetlenme şekilleri Tablo 4.13 ve Şekil 4.45'de verilmiştir.

No	Model	Kullanım Yeri
1	CDP100	tepe yerdeğiştirme
2	CDP25	tepe yerdeğiştirme
3	CDP25	duvar yerdeğiştirme
4	CDP25	kolon yerdeğiştirme
5	CDP5	ön çapraz
6	CDP5	arka çapraz
7	CDP5	çerçeve ötelenme
8	CDP5	tüm sistem ötelenme
9	CDP10	kolon alt dönme
10	CDP10	kolon alt dönme
11	CDP25	duvar dönme
12	CDP25	duvar dönme
13	CDP25	duvar dönme
14	CDP10	kolon alt dönme
15	CDP10	kolon alt dönme
16	CDP25	düzlem dışı
17	CDP10	kolon üst dönme
18	CDP10	kolon üst dönme
19	CDP25	kolon üst dönme
20	CDP25	kolon üst dönme

Tablo 4.13 Numune 3 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler



Şekil 4.45 Numune 3 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi

Tablo 4.14'de verilen tepe yerdeğiştirmeleri yatay yönde numuneye uygulanmıştır ve her yerdeğiştirme seviyesi üçer kere tekrarlanmıştır. Numune 3 için ulaşılan en büyük tepe yerdeğiştirmesi 14,0 mm olmuştur.

Yük Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirmesi	Rölatif Kat
	[mm]	Yerdeğiştirmesi δ/H
1	0,035	0,000025
2	0,070	0,000050
3	0,14	0,000100
4	0,280	0,000200
5	0,350	0,000250
6	0,467	0,000330
7	0,700	0,000500
8	1,400	0,001000
9	2,800	0,002000
10	3,500	0,002500
11	4,200	0,003000
12	4,900	0,003500
13	5,600	0,004000
14	7,000	0,005000
15	10,500	0,007400
16	14,000	0,010000

Tablo 4.14 Numune 3 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri

Şekil 4.46'da bu yerdeğiştirme seviyesine kadar olan yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi verilmiştir.

Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinden yararlanarak oluşturulan zarf eğrisi Şekil 4.47'de verilmiştir.



NUM UNE 3 YATAY YÜK - TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 4.46 Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi



NUMUNE 3 YATAY YÜK - TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 4.47 Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi

Şekil 4.48'de duvar ön çapraz ve arka çapraz yük-kısalma ve yük- uzama ilişkileri verilmiştir. Bu ilişkiler duvar üzerine çapraz olarak yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerle oluşturulmuştur.

DUVAR ÖN ÇAPRAZ







Şekil 4.48 Duvar Ön ve Arka Çapraz Yük-Uzama-Kısalma İlişkileri

Numune 3'de; $\pm 14,0$ mm çevriminde kaydedilen çatlak yayılımına bakıldığında, dolgu duvar üzerinde her iki yönde de köşegenler doğrultusunda çatlaklar meydana gelmiştir. Duvar ortasındaki bir tuğlada ezilme ve dökülme oluşmuştur, Şekil 4.49.





Şekil 4.49 Dolgu Duvar Hasar Durumu

Kolon kiriş birleşim bölgelerinde ayrılmalar meydana gelmiştir, Şekil 4.50.



Şekil 4.50 Kolon - Kiriş Birleşim Bölgesi Hasar Durumu

Temel ve kolon birleşim bölgesinde de ayrılma meydana gelmiştir, Şekil 4.51.





Şekil 4.51 Temel – Kolon Birleşim Bölgesi Hasar Durumu

4.3.4.4 Numune 4

Kolonlar üzerine normal kuvvet uygulanmadan denen bu numunede, çıplak çerçevenin içerisine, basınca dayanıklı tuğlalardan oluşturulan bölme duvar uygulanmıştır. Numune 3' den farklı olarak bu numunede kayma kamaları oluşturulmamıştır. Numunenin değişik kesitlerine yerleştirilen ve bu kesitlerde meydana gelen yerdeğiştirmeleri ölçen, belirli sayıda yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin tipleri ve mesnetlenme şekilleri Tablo 4.15 ve Şekil 4.52'de verilmiştir.

No	Model	Kullanım Yeri
1	CDP 100	Tepe Yerdeğiştirme
2	CDP 25	Tepe Yerdeğiştirme
3	CDP 25	Duvar Yerdeğiştirme
4	CDP 25	Kolon Yerdeğiştirme
5	CDP 5	Ön Çapraz
6	CDP 5	Arka Çapraz
7	CDP 5	Çerçeve Ötelenme
8	CDP 5	Tüm Sistem Ötelenme
9	CDP 10	Kolon Alt Dönme
10	CDP 10	Kolon Alt Dönme
11	CDP 25	Duvar Dönme
12	CDP 25	Duvar Dönme
13	CDP 25	Duvar Dönme
14	CDP 10	Kolon Alt Dönme
15	CDP 10	Kolon Alt Dönme
16	CDP 25	Düzlem Dışı
17	CDP 100	Tepe Yerdeğiştirme

Tablo 4.15 Numune 4 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler

Tablo 4.16'da verilen tepe yerdeğiştirmeleri yatay yönde numuneye uygulanmıştır ve her yerdeğiştirme seviyesi üçer kere tekrarlanmıştır. Numune 4 için ulaşılan en büyük tepe yerdeğiştirmesi 14,0 mm olmuştur.



Şekil 4.52 Numune 4 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi

Yük Seviyesi	Tepe Yerdeğiştirmesi	Rölatif Kat
	[mm]	Yerdeğiştirmesi δ/H
1	0,035	0,000025
2	0,070	0,000050
3	0,140	0,000100
4	0,350	0,000250
5	0,467	0,000300
6	0,700	0,000500
7	1,400	0,001000
8	2,800	0,002000
9	3,500	0,002500
10	5,600	0,004000
11	7,000	0,005000
12	10,500	0,007500
13	14,000	0,010000

Tablo 4.16 Numune 4 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri

Şekil 4.53'de bu yerdeğiştirme seviyesine kadar olan yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi verilmiştir.



NUMUNE 4 YATAY YÜK - TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 4.53 Numune 3 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi

Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinden yararlanarak oluşturulan zarf eğrisi Şekil 4.54'de verilmiştir.



NUMUNE 4 YATAY YÜK - TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 4.54 Numune 4 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi

Şekil 4.55'de duvar ön çapraz ve arka çapraz yük-kısalma ve yük- uzama ilişkileri verilmiştir. Bu ilişkiler duvar üzerine çapraz olarak yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerle oluşturulmuştur.



DUVAR ÖN ÇAPRAZ

DUVAR ARKA ÇAPRAZ



Şekil 4.55 Duvar Ön ve Arka Çapraz Yük-Uzama-Kısalma İlişkileri

Numune 4'de; $\pm 14,0$ mm çevriminde kaydedilen çatlak yayılımına bakıldığında, dolgu duvar üzerinde her iki yönde de köşegenler doğrultusunda çatlaklar meydana gelmiştir. Duvar çerçeveden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 4.56 ve Şekil 4.57.



Şekil 4.56 Numune 4 Dolgu Duvar Hasar Durumu



Şekil 4.57 Dolgu Duvarın Çerçeveden Ayrılması

Kolon kiriş birleşim bölgelerinde ayrılmalar oluşmuştur ve kiriş başlığında ezilme meydana gelmiştir, Şekil 4.58.



Şekil 4.58 Kolon - Kiriş Birleşim Bölgesi Hasar Durumu

4.3.4.5 Numune 5

İki katlı, tek açıklıklı olarak üretilen çıplak çerçevenin içerisine bölme duvar uygulanmıştır ve bu numune kolonlar üzerine toplam 246.5 kN'luk normal kuvvet uygulanarak denenmiştir. Numunenin değişik kesitlerine yerleştirilen ve bu kesitlerde meydana gelen yerdeğiştirmeleri ölçen, belirli sayıda yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin tipleri ve mesnetlenme şekilleri Tablo 4.17 ve Şekil 4.59'da verilmiştir.

No	Model	Kullanım Yeri
1	CDP 25	2. Kat Tepe Yerdeğiştirme
2	SDP 200	2. Kat Tepe Yerdeğiştirme
3	CDP 25	1. Kat Tepe Yerdeğiştirme
4	SDP 200	1. Kat Tepe Yerdeğiştirme
5	CDP 10	Tüm Sistem Ötelenme
6	CDP 5	Temel Dönme
7	CDP 25	1. Kat Alt Kolon Dönme
8	CDP 25	1. Kat Alt Kolon Dönme
9	CDP 25	Duvar Dönme
10	CDP 25	Duvar Dönme
11	CDP 25	Duvar Dönme
12	CDP 25	1. Kat Alt Kolon Dönme
13	CDP 25	1. Kat Alt Kolon Dönme
14	CDP 5	Temel Dönme
15	CDP 25	2. Kat Alt Kolon Dönme
16	CDP 25	2. Kat Alt Kolon Dönme
17	CDP 25	2. Kat Alt Kolon Dönme
18	CDP 25	2. Kat Alt Kolon Dönme
19	CDP 10	1. Kat Duvar Çapraz
20	CDP 10	2. Kat Duvar Çapraz
21	CDP 50	Düzlem Dışı
22	CDP 50	Düzlem Dışı

Tablo 4.17 Numune 5 de Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler



Şekil 4.59 Numune 5 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi

Tablo 4.18'de verilen tepe yerdeğiştirmeleri yatay yönde numuneye uygulanmıştır ve her yerdeğiştirme seviyesi üçer kere tekrarlanmıştır. Numune 5 için ulaşılan en büyük tepe yerdeğiştirmesi 28,20 mm olmuştur.

Yük Seviyesi	Тере	Rölatif Kat*
	Yerdeğiştirmesi [Yerdeğiştirmesi δ/H
1	0,47	0,000340
2	0,94	0,000700
3	1,65	0,001200
4	2,35	0,001700
5	3,20	0,002300
6	4,00	0,003000
7	5,05	0,003700
8	6,10	0,004500
9	7,55	0,005500
10	9,00	0,006600
11	10,50	0,007700
12	12,00	0,008800
13	15,40	0,010000
14	18,80	0,014000
15	23,50	0,017000
16	28,20	0,020000

Tablo 4.18 Numune 5 Uygulanan Yerdeğiştirme Seviyeleri

* Rölatif Kat Yerdeğiştirmesi 1. Kat İçin Hesaplanmıştır

Şekil 4.60'da bu yerdeğiştirme seviyesine kadar olan yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi verilmiştir.

Yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinden yararlanarak oluşturulan zarf eğrisi Şekil 4.61'de verilmiştir.



NUMUNE 5 YATAY YÜK - TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 4.60 Numune 5 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi İlişkisi



NUMUNE 5 YATAY YÜK - TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 4.61 Numune 5 Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi
Şekil 4.62'de Numune 5 için; duvar, 1. kat çapraz ve 2. kat çapraz yük-kısalma ve yük- uzama ilişkileri verilmiştir. Bu ilişkiler duvar üzerine çapraz olarak yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerle oluşturulmuştur.



1. KAT DUVAR ÖN ÇAPRAZ





Şekil 4.62 Duvar 1. ve 2. Kat Çapraz Yük-Uzama-Kısalma İlişkileri

Numune 5'de; ±28,20 mm çevriminde kaydedilen çatlak yayılımına bakıldığında, dolgu duvar üzerinde tek bir yönde köşegen doğrultusunda çatlaklar meydana gelmiştir. Çatlaklar sadece 1. kat duvarında meydana gelmiştir, 2. kat duvarında çatlak oluşmamış ancak duvar, kolon ve kiriş hizasından çerçeveden ayrılmaya başlamıştır. Şekil 4.63'de 12,0 mm çevriminde 1. kat duvarında oluşan hasar durumu görülmektedir.



Şekil 4.63 1. Kat Duvarında Oluşan Hasar Durumu

Son çevrimlere doğru 1. kat duvarı üst köşelerinde ezilme meydana gelmiştir. Kolon ve kiriş birleşimleri ayrılmaya başlamıştır. -28,20 mm çevrimine giderken 1. kat sol kolon üst ucunda daha önceden oluşan kayma çatlağı büyümüştür. Yük artımı bu noktada durduğu için deney -18,6 mm yerdeğiştirme seviyesinde yük -39 kN iken durdurulmuştur, Şekil 4.64.



Şekil 4.64 1. Kat Sol Kolon Üst Ucu Hasar Durumu

Tüm normal yük uygulanmış olan numunelerin yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrileri Şekil 4. 65'de üst üste verilmiştir.

Normal yüksüz (N=0 kN) olan numunelerin yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrilerinin karşılaştırılması ise Şekil 4.66'da verilmiştir. Normal yüksüz numunelere dolgu duvarının katkısının anlaşılması amacıyla, Yüksel [4] tarafından daha önceden denenmiş olan çıplak çerçevenin zarf eğrisi Şekil 4.66'ya eklenmiştir. Geometrik özellikleri Numune 1 ile aynı olan çıplak çerçevenin beton basınç dayanımı 16.4 N/mm² dir.



Şekil 4.65 Normal Yüklü Numunelerin Yatay Yük-Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrileri

YATAY YÜK-TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ



Şekil 4.66 Normal yük sıfır olan numunelerin Yatay Yük–Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrileri

5. BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ÇÖZÜMLEMESİ

5.1 Doğrusal Olmayan Statik Çözümleme (SAP2000)

Çalışmanın bu kısmında Bölüm 4 de anlatılmış olan betonarme çerçevelerin, malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınarak, SAP2000 [21] bilgisayar programı kullanılarak göçme yükleri bulunmaya çalışılmıştır.

Bu doğrusal olamayan hesapta plastik mafsal hipotezi esas alınmıştır. Yapı elemanlarında eğilme momentinin kesit akma momentini aştığı durumlarda, elastik olmayan eğilme deformasyonlarının kesitte *I*p plastik mafsal genişliği boyunca yayılı olduğu kabulü yapılmaktadır ve bu amaçla betonarme çerçevenin kritik kesitlerine plastik mafsallar atanmaktadır. Doğrusal olmayan çözümleme için ATC40 [1] ve FEMA273 [2] tarafından önerilen plastik mafsal şekildeğiştirme özellikleri Bölüm 1.2 de verilmiştir.

SAP2000 ile çözümlemelerde malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı tanımlamak amacıyla üç farklı plastik mafsal çeşidi kullanılmıştır.

SAP2000 bilgisayar yazılımında;

 Kolonlar eksenel normal kuvvetle birlikte eğik eğilmeye de maruz kaldıklarında, bu elemanların doğrusal olmayan davranışını yansıtmak amacıyla PMM plastik mafsal türleri kullanılmıştır. M-KAPA [4] programı ile bulunan, kolon kesitine ait akma yüzeyi eğrileri ve moment-eğrilik bağıntıları bu mafsal türüne giriş bilgisi olarak girilmektedir.

- Kirişler sadece basit eğilmeye maruz kaldıkları için, kiriş kesitine ait moment-eğrilik bağıntılarının girildiği M3 adı verilen plastik mafsal türü kullanılmıştır.
- Bölme duvarlarını matematik model içinde temsil eden ve sadece eksenel yük etkisi altında olduğu düşünülen çubuk elemanlara atanan, normal kuvvetyerdeğiştirme veya gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinin tanımlandığı plastik mafsallar P ile gösterilmiştir. P mafsalına atanacak olan normal kuvvetyerdeğiştirme ilişkilerinin bulunması için Bölüm 4 de anlatılan dolgu duvarı davranışlarını belirlemeye yönelik yapılmış olan basit kayma deneyleri kullanılmıştır.

Kullanılan bilgisayar programı mafsallarda akma noktasına varılıp varılmadığını, mafsalın atandığı kesitteki iç kuvvetlerin veya iç kuvvetin, kullanıcı tarafından atanan akma koşuluna ulaşıp ulaşmadığını kontrol ederek bulmaktadır.

Kullanılacak olan PMM ve M3 mafsallarına atanacak olan moment-dönme bağıntısı program tarafından Şekil 5.1'deki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 5.1 Plastik Mafsallarda Moment-Dönme Bağıntısı

Program herhangi bir plastik mafsalda C noktasına gelindiğinde, yani mafsalın nihai plastik şekildeğiştirebilme sınırına ulaşıldığında, taşıma kapasitesindeki düşüşü hesaba katmak için yükü azaltmakta ve yeni bir denge hali aramaktadır. Bu yeni

denge halinin aranması sırasında, iç kuvvetlerin yeniden dağılımını sağlamak amacıyla üç ayrı yöntem kullanılmaktadır, [22].

- Yük Parametresini Küçültme Yolu: Herhangi bir plastik mafsalda nihai plastik şekildeğiştirmeye, yani C noktasına ulaşıldığında, program söz konusu mafsaldaki iç kuvvet D noktasına düşene kadar, sisteme tatbik edilen yükü azaltmakta, ancak şekildeğiştirmeleri değiştirmemektedir. Mafsaldaki iç kuvvet D noktasına düştüğünde, mafsal kesiti de plastikleşen bölgeye ait eğilme rijitliği güncellenen yeni sistemde, yük tekrar arttırılmakta ve bu şekilde iç kuvvetlerin yeniden dağılması sağlanmaktadır. Yöntem, mafsaldaki iç kuvvetin düşürülmesi için yükte büyük azaltmalar gerekmediği durumlarda iyi sonuçlar vermektedir.
- Bölgesel Yeniden Dağılım Yolu: Birinci yönteme benzemekle beraber, mafsaldaki iç kuvvetin düşürülmesi için sisteme tatbik edilen yükün azaltılması yerine, mafsalın atandığı elemandaki iç kuvvetlerin azaltılmasına yöneliktir. Bu amaçla program elemana, geçici ve denge koşullarını sağlayan bir yükleme yapar. Bu yükleme ile mafsaldaki iç kuvvet D noktasına düşürüldükten sonra, yapılan geçici yüklemeler eleman üzerinden kaldırılarak, komşu elemanlara transfer edilir.
- Başlangıç Kirişi Yöntemi: Bu yöntem diğer iki yöntemden oldukça farklıdır. Bu yöntemde, herhangi bir plastik mafsal C noktasına ulaştığı zaman, sistemde plastik sekildeğistirmelerin başladığı tüm mafsallarda, iç kuvvetşekildeğiştirme eğrisinde bulunduklar güncel nokta kullanılarak, C noktasına ulaşılan mafsalda ise D noktası kullanılarak, kiriş yöntemi ile, mafsal kesitlerinde kullanılan plastikleşen bölgeye ait eğilme rijitlikleri güncellenmekte ve analiz tekrar başlatılmaktadır. Tekrar başlayan analizde, mafsal kesitlerindeki eğilme rijitlikleri, iç kuvvet-şekildeğiştirme eğrisini kesen kirişin eğimi ile hesaplanmakta, bulunacak iç kuvvet-şekildeğiştirme çifti, kirişin eğriyi kestiği noktaya karşı geldiğinde, mafsal kesitlerindeki eğilme rijitlikleri eğrinin eğimi dikkate alınarak yeniden güncellenmektedir. İç kuvvet-şekildeğiştirme diyagramlarını kesen kirişin başlangıç noktası, yük artımı analizinin başlangıcında, mafsalın iç kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi

üzerinde bulunduğu nokta olarak alınmaktadır. Bu nokta genellikle, düşey yükler altında yapılan doğrusal olmayan çözümlemeler sonucunda bulunan iç kuvvet-şekildeğiştirme çiftine karşı gelmektedir.

SAP2000 bilgisayar programı ile doğrusal olmayan statik çözümleme yapılırken aşağıda belirtilen yol izlemiştir.

- a) Yapı elemanlarının oluşturulması
- b) Malzeme özelliklerinin tanıtılması
- c) Kesit özelliklerinin tanıtılması
- d) Yüklerin atanması
- e) Plastik mafsal özelliklerinin girilmesi
- f) Plastik mafsalların atanması
- g) Doğrusal olmayan çözümün tanımlanması
- h) Çözüm

5.2 Betonarme Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Hesabının Yapılması

5.2.1 Numune 1 (Çıplak Çerçeve)

Bölüm 4 de anlatılan ve deneysel çalışmada yerdeğiştirme kontrollü olarak tersinir yatay yükler altında denenen numune, kuramsal çalışmada tek yönlü artan yatay yükler altında modellenerek hesap sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılacaktır.

Numunede kullanılan beton basınç dayanımı 16.27 N/mm² dir ve numuneye ait tüm kesit ve malzeme özellikleri Bölüm 4'de anlatılmıştır. Beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisini belirlemek amacıyla Bölüm 2'de anlatılan Saatcioğlu-Razvi sarılmış beton modeli kullanılmış ve sargısız beton modeli ile arasındaki davranış farkının görülmesi amacı ile her iki beton modeli birbiri ile karşılaştırılmıştır, Şekil 5.2.



Şekil 5.2 Numune 1 Sargılı ve Sargısız Beton Modeli

Sistemin malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı 5 farklı moment-eğrilik bağıntısıyla ifade edilmiştir ve bu bağıntılar M-KAPA programı yardımıyla bulunmuştur. Kiriş pozitif moment için tablalı kesit, negatif moment içinse dikdörtgen kesit olarak idealleştirilmiş olan bir kesit modeli kullanılmıştır, Şekil 5.3.



Şekil 5.3 Moment-Eğrilik Bağıntıları



Şekil 5.3 Moment-Eğrilik Bağıntıları (Devamı)

Bu bağıntılar sisteme atanan plastik mafsallara giriş bilgileri olarak girilmiştir ve sisteme deney sırasında uygulanan sabit 330 kN'luk eksenel yük tatbik edilmiştir. Sistem birim yatay yük parametresinin artan değerleri için hesaplanmıştır, Şekil 5.4.



Şekil 5.4 Programa Girilen Bilgisayar Modeli

Kolon ve kiriş plastik mafsal genişlikleri için (5.1) bağıntısı kullanılmıştır.

$$l_p = h \tag{5.1}$$

Burada h kesit yüksekliğini ifade etmektedir.

Çözüm sonucunda elde edilen yatay yük parametresi-yerdeğiştirme ilişkisi ve bunun deney sonucuyla karşılaştırılması Şekil 5.5'de verilmiştir.



NUMUNE 1 YATAY YÜK- TEPE YERDEĞİŞTİRMESİ

Şekil 5.5 Numune 1Yatay Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

5.2.2 Numune2 (Dolgu Duvarlı)

Dolgu duvarı olarak püskürtme beton panel kullanılan numunenin çerçeve betonu basınç dayanımı 9.72 N/mm² olarak bulunmuştur. Buna göre sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 Numune 2 Sargılı ve Sargısız Beton Modeli

Sisteme atanan moment-eğrilik bağıntıları ise Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 Moment-Eğrilik Bağıntıları



Şekil 5.7 Moment-Eğrilik Bağıntıları (Devamı)

Çıplak çerçeveye benzer biçimde sabit 225 kN'luk eksenel yük altında artan yatay yük parametreleri için modellenen numuneye dolgu duvarı temsilen iki ucu mafsallı eşdeğer sanal çubuk atanmıştır. Eşdeğer sanal çubuğun doğrusal olmayan davranışı, bu çubuğa atanan P mafsalı ile yansıtılmıştır, Şekil 5.8.

Eşdeğer sanal çubuk kalınlığı ise duvar kalınlığına eşit olup 5 cm'dir. Çubuk genişliği için (3.4) bağıntısı kullanılarak

a=21.49 cm

değeri bulunmuştur.



Şekil 5.8 Programa Girilen Bilgisayar Modeli

Çözüm sonucunda elde edilen yatay yük parametresi-yerdeğiştirme ilişkisi ve bunun deney sonucuyla karşılaştırılması Şekil 5.9'da verilmiştir.



Numune 2 Yatay yük- Tepe yerdeğiştirmesi

Şekil 5.9 Numune 2 Yatay Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

5.2.2 Numune 4 (Dolgu Duvarlı)

İçinde, kayma kamasız basınca karşı dirençli tuğlalarla örülmüş olan dolgu duvarı kullanılan numunenin çerçeve betonu basınç dayanımı 17.78 N/mm² olarak bulunmuştur. Buna göre sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10 Numune 4 Sargılı ve Sargısız Beton Modeli

Sisteme atanan moment-eğrilik bağıntıları ise Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11 Moment-Eğrilik Bağıntıları



Şekil 5.11 Moment-Eğrilik Bağıntıları (Devamı)

Bu numuneye eksenel kuvvet uygulanmamıştır, Şekil 5.12.

Eşdeğer sanal çubuk kalınlığı ise duvar kalınlığına eşit olup 10.2 cm'dir. Çubuk genişliği için (3.4) bağıntısı kullanılarak

a=23.71 cm

değeri bulunmuştur.



Şekil 5.12 Programa Girilen Bilgisayar Modeli

Çözüm sonucunda elde edilen yatay yük parametresi-yerdeğiştirme ilişkisi ve bunun deney sonucuyla karşılaştırılması Şekil 5.13'de verilmiştir.





Şekil 5.13 Numune 4 Yatay Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

5.2.2 Numune 5 (Dolgu Duvarlı)

İçinde, boşluklu tuğlalar ile oluşturulmuş olan dolgu duvar bulunan iki katlı tek açıklıklı numunenin çerçeve betonu basınç dayanımı 18.47 N/mm² olarak bulunmuştur. Buna göre sargılı ve sargısız beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14 Numune 5 Sargılı ve Sargısız Beton Modeli

Sisteme atanan moment-eğrilik bağıntıları ise Şekil 5.15 de verilmiştir.



Şekil 5.15 Moment-Eğrilik Bağıntıları

Bu çerçeve sistemde kolon ve kirişler simetrik yerleşimli donatılara sahip olduğundan dolayı sisteme sadece iki tip moment-eğrilik bağıntısı atanmaktadır.

Bu numune için programa girilen çerçeve modeli Şekil 5.16'da verilmiştir. Kolonlar üzerine toplam 246.5 kN'luk eksenel kuvvet uygulanmıştır.

Eşdeğer sanal çubuk kalınlığı ise duvar kalınlığına eşit olup 16 cm'dir. Çubuk genişliği için (3.4) bağıntısı kullanılarak

a=24.75 cm

değeri bulunmuştur.



Şekil 5.16 Programa Girilen Bilgisayar Modeli

Çözüm sonucunda elde edilen yatay yük parametresi-yerdeğiştirme ilişkisi ve bunun deney sonucuyla karşılaştırılması Şekil 5.17'de verilmiştir.



Numune 5 Yatay yük - Tepe yerdeğiştirmesi

Şekil 5.17 Numune 5 Yatay Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

6. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında dolgu duvarlarının yapı davranışına etkilerinin anlaşılması amacıyla bir kısım deneyler yapılmış ve çerçeve sistemlerin malzeme bakımından doğrusal olmayan yönteme göre çözümlemesi yapılarak kuramsal çalışma ile deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla dolgu duvarların çerçeve sistemleri içindeki davranışlarının önceden belirlenebilmesi ve kuramsal çalışmada kullanılacak olan dolgu duvarı karakteristiklerinin bulunması amacıyla basit dolgu duvarı kayma deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar kuramsal çalışmada kullanılmıştır.

Farklı malzemeler kullanılarak üretilmiş dolgu duvarlarının yerleştirildiği çerçeve sistemleri arasındaki davranış farklarının görülmesi ve dolgu duvarların çerçeve sistemlere etkilerinin anlaşılması amacıyla artan tersinir yatay yükler altında, yerdeğiştirme kontrollü olarak çerçeve deneyleri yapılmıştır. Deney kapsamında dört tanesi tek açıklıklı, tek katlı, bir tanesi ise tek açıklıklı, iki katlı toplam beş adet numune denenmiştir. Tek katlı numunelerden bir tanesi (Numune 1) kuramsal çalışmaya referans olması ve dolgu duvarlarının çerçeve sistemlere etkilerinin daha iyi anlaşılması amacıyla çıplak çerçeve olarak üretilmiştir. Numune 2, çıplak çerçeve içerisine püskürtme betondan oluşturulan panel kolonlara ve kirişe ankraj çubukları yardımıyla bağlanarak oluşturulmuştur. Numune 3'de basınca karşı dirençli tuğlalardan oluşturulan dolgu duvarı çerçeveye ankraj çubukları yardımıyla bağlanıştır. Numune 4'de basınca karşı dirençli tuğlalardan oluşan dolgu duvarı yerleştirilmiştir. Bu dolgu duvarınını üzerine sıva uygulanmıştır.

Deneyleri yapılan bu çerçeve sistemlerin matematik modelleri oluşturulmuş ve doğrusal olamayan statik çözümlemeleri yapılmıştır.

6.1. Basit Kayma Deneyleri

Çıplak çerçeve içine yerleştirilecek olan dolgu duvarlarının çerçeve içindeki davranışlarının önceden belirlenebilmesi, kayma dayanımlarının bulunması ve kuramsal çalışmada kullanılacak verilerin elde edilmesi amacıyla, çerçeve içindeki dolgu duvarları temsilen 755*755 mm boyutlarında dolgu duvarlar üretilmiş ve bunlar üzerinde basit kayma deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen bazı sonuçlar şöyle sıralanabilir:

Püskürtme beton ile yapılan numunenin yük taşıma kapasitesinin ve kayma dayanımının dökme beton ile yapılan numuneye göre daha düşük olduğu, bunun sebebinin püskürtme esnasında çok özenle yapılmamış olan Püskürtme numunesinde daha fazla hava boşluğu oluşmuş olduğu düşünülmektedir. Pres Tuğla numunelerine baktığımız zaman yük taşıma kapasitelerinin püskürtme beton ile yapılan numune ile yakın olduğu ancak buna rağmen kayma dayanımlarının püskürtme beton ile yapılan numuneye göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Buda Pres Tuğla numunesinde kullanılan harcın çekme dayanımıyla yakından ilgilidir. Boşluklu Tuğla numunesinin ise beklendiği gibi hem yük taşıma kapasitesi, hem de kayma dayanımı diğer numunelere göre çok düşük çıkmıştır.

6.2 Çerçeve Deneyleri

6.2.1 1. Grup Çerçeve Deneyleri

Bu grupta yapılan çerçeve deneyleri, birbirine benzer deplasman çevrimleri etkisinde denenmiş ve kolonlar üzerine uygulanan eksenel yükler sabit tutulmaya çalışılmıştır. Çıplak çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeve olmak üzere bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Çıplak çerçeve, dolgu duvarlı çerçeveler ile arasındaki davranış farkının ortaya konması ve kuramsal çalışmaya referans olması amacıyla denenmiştir. Buna göre:

Bölüm 4'de verilen deney sonuçlarına bakıldığı zaman dolgu duvarının, çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini çıplak çerçeveye göre önemli ölçüde artırdığı ve yatay

deplasmanları küçülttüğü görülmüştür. Dolgu duvarın yük taşıma kapasitesinin ve dolgu duvar ile çerçeve bağlantısının da çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu değerlerin ortaya koyduğu farklar Numune 2 ile Numune 5 arasında gözlenmektedir. Numune 5'in çerçeve betonu basınç dayanımı Numune 2'ye göre daha yüksek olasına rağmen, Numune 2 içinde kullanılan püskürtme beton panelin yük taşıma kapasitesinin daha yüksek olması ve panelin çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanmış olması Numune 2'nin yatay yük taşıma kapasitesinin Numune 5'den daha yüksek olmasının sağlamıştır.

6.2.2 2. Grup Çerçeve Deneyleri

Kolonlar üzerine normal yük uygulanmadan denen bu numunelere baktığımız zaman yine dolgu duvarlı çerçevelerin, çıplak çerçeveye göre yatay rijitliklerinin arttığı, bunun sonucu olarak yatay deplasmanlarının küçüldüğü görülmektedir.

Burada aynı dolgu duvar malzemesine sahip iki çerçeve, dolgu duvarları farklı şekillerde bağlanarak denenmiş ve aralarındaki farklar ortaya koyulmuştur. Numune 3'de ki dolgu duvar ankraj çubukları ile çerçeveye bağlanarak kayma kamaları oluşturulmuş, Numune 4'de ki dolgu duvar ise sadece harç yardımıyla çerçeveye bağlanmıştır. Buna göre:

Dolgu duvarın çerçeve ile bağlantısının iyi yapılmasının çerçeve ile dolgu duvarın birlikte çalışmasını sağladığı ve bu sayede çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin arttırdığı gözlenmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve bağlantısının iyi olmaması durumunda, dolgu duvar ile çerçeve arasında ayrılmaların başladığı, sistemin çıplak çerçevenin sergilediği davranışa yaklaştığı ve dolgu duvarın yatay yük taşıma kapasitesine etkisinin ortadan kalktığı görülmüştür.

6.3 Kuramsal Çalışma ile Deneysel Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kuramsal çalışmada, deneyleri yapılan sistemlerin malzeme özellikleri için, betonarme çubuk elemanların malzeme özellikleri bakımından doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları elde edilmiştir. Bu bağıntılar elde edilirken betonarme kesitlerin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları için *Saatçioğlu-Razvi Sarılmış Beton Modeli* kullanılmış ve sargılı ve sargısız beton modeli arasındaki farkların görülmesi amacıyla ek olarak sargısız beton modeli de kullanılmıştır.

Sargılı ve sargısız beton modelleri karşılaştırıldığı zaman:

Sargılı beton davranışının gerçeğe daha yakın olduğu ve gerilme-şekildeğiştirme ilişkisindeki şekildeğiştirmelerin sargısız betona göre daha büyük olduğu, bunun sonucunda elde edilen moment-eğrilik bağıntılarının da sargısız betona göre çok daha büyük değerler verdiği görülmüştür. Kolon eğriliğin daha büyük olması çıplak çerçeve modelinde yerdeğiştirmelerin artmasına neden olmuştur. Ancak dolgu duvarlı çerçevelerde dolgu duvarı, çerçeve yatay yerdeğiştirmesini kısıtladığı için bu modellerde kolon kesiti eğriliklerinin büyümesinin sistem davranışına, yatay yerdeğiştirme bakımından çok fazla etkisi olmamıştır.

Kuramsal çalışmada doğrusal olmayan statik çözümleme yapılmıştır. Dolgu duvarları temsil etmek amacıyla eşdeğer sanal çubuk modeli oluşturulmuş ve Bölüm 3'de verilen formüller kullanılarak eşdeğer sanal çubuk boyutları elde edilmiştir. Bulunan bu eşdeğer sanal çubuk boyutları sistem limit yükünü bulmak için gerekli olan değerlerdir. Basit kayma deneylerinden elde edilen dolgu duvarı karakteristikleri de eşdeğer sanal çubuğa atanmış ve doğrusal olmayan statik çözümleme bir bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır.

Kuramsal çalışmada elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve her iki çalışmada elde edilen limit yüklerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Sistem rijitlikleri başlangıçta birbirine yakın iken, artan yük parametrelerinde deneysel çalışmadaki sistem rijitliği kuramsal çalışmaya göre daha fazla azalmaktadır. Bu farkların oluşmasının başlıca nedenlerinin:

- Kuramsal çalışmada plastik şekildeğiştirmelerin yığılı, deneysel çalışmada yayılı olmuş olduğu.
- Kuramsal çalışmada yatay yükün tek yönlü, deneysel çalışmada tersinir olarak uygulanmış olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.
- [2] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [3] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [4] Yüksel, E., 1998. Bazı Düzensizlikler İçeren Üç Boyutlu Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Özer, E., 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.itu.edu.tr/ehozer, İstanbul.
- [6] Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R., 1988. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, Vol.114, No.8
- [7] Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K., Taylor, A.W., 1997. Stress-Strain Model for Confined Reinforced Concrete in Bridge Piers, *Journal of Structural Engineering*, Vol.123, No.5
- [8] Saatcioglu, M., Razvi, S., 1992. Strength and Ductility of Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, Vol.118, No.6
- [9] Çakıroğlu, A., Özer, E., 1980. Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, *Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi*, İstanbul
- [10] Celep, Z., Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [11] Al-Chaar, G., 2002. Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures, U.S. Army corps of Engineers
- [12] Paulay, T. and Priestley, N., 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry buildings, *John Wiley & Sons Inc.*
- [13] **Mainstone, R.J.**, 1974. Suplementary Note on the Stiffness and Strengths of Infilled Frames, *Current Paper 13/74, Building Research Station, UK*

- [14] ACI 530-95/ASCE 5-95, 1999. Building Code Requirements for Masonry Structures, *American Concrete Institute*, Washington
- [15] Yücesan, B., Betonarme Çerçevelerin Güçlendirilmesinde Yüksek Dayanımlı Tuğlalar, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. (Henüz Yayınlanmamış)
- [16] Brooks, J.J. and Abu Baker, B.H., 1998, The Modulus of Elasticity of Masonry, *Masonry International*, Vol:12 No:2, 58-63
- [17] **Teymür, P.**, Dolgu Duvarlı Betonarme Sistemlerin Hesabı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (Henüz Yayınlanmamış)
- [18] E. Yuksel, A. Ilki, G. Erol, C. Demir, F. Karadoğan., 2005. Seismic Retrofit of Infilled Reinforced Concrete Frames with CFRP Composites, NATO Workshop on Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, Istanbul, Turkey.
- [19] Karadoğan, F., Yüksel, E., Saruhan, H., Korozyonun Mevcut Deprem Dayanımına Etkisi -Deneysel Bir Çalışma, (Henüz Yayınlanmamış)
- [20] **Erol, G.**, Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Henüz Yayınlanmamış)
- [21] **SAP 2000**, 2000. Structural Analysis User's Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [22] **Yöney, Ö.**, 2003. Mevcut Bir Betonarme Binada Değerlendirme ve Doğrusal Olmayan Davranış, *Yüksek lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında, Çanakkale'de doğan Ezgi KORKMAZ, lise öğrenimini Afyon Kocatepe Anadolu Lise'sinde tamamlamıştır, (1998). Liseyi bitirdiği yıl girdiği Kocaeli Üniversitesi İnşaat Fakültesini başarıyla bitirmiştir, (2002). Aynı yıl, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Deprem Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.