

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME ÇERÇEVELERİN
GÜÇLENDİRİLMESİNDE YÜKSEK DAYANIMLI
TUĞLA DUVARLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Müh. Batur YÜCESAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

**BETONARME ÇERÇEVELERİN
GÜÇLENDİRİLMESİNDE YÜKSEK DAYANIMLI
TUĞLA DUVARLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Müh. Batur YÜCESAN
(501021038)**

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

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Sumru PALA (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)**

MAYIS 2005

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. KONU	1
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
4. TEK TUĞLA DENEYLERİ	9
4.1. Amaç	9
4.2. Deney Elemanlarının Tanıtımı	9
4.3. Yükleme ve Ölçüm Düzenekleri	10
5. MALZEME DENEYLERİ	13
6. SIRALI TUĞLA DENEYLERİ	15
6.1. Amaç	15
6.2. Deney Elemanlarının Tanıtımı	15
6.3. Yükleme ve Ölçüm Düzenekleri	15
7. KAYMA DENEYLERİ	23
7.1. Amaç	23
7.2. Deney Elemanlarının Tanıtımı	23
7.3. Yükleme ve Ölçüm Düzenekleri	23
8. DİYAGONAL BASINÇ DENEYLERİ	30
8.1. Amaç	30
8.2. Deney Elemanlarının Tanıtımı	30
8.3. Yükleme ve Ölçüm Düzenekleri	30
9. ÖZEL BÖLME DUVARLI ÇERÇEVE DENEYLERİ	36
9.1. Amaç	36
9.2. Deney Elemanlarının Tanıtımı	36
9.3. Yükleme ve Ölçüm Düzenekleri	40
10. KURAMSAL ÇALIŞMA	46
10.1. Birinci Model	46
10.2. Varsayımlar	49
10.3. Modelin Kullanılması	50
10.4. İkinci Model	53
11. SONUÇ ve TARTIŞMA	57
KAYNAKLAR	59
EKLER	61
ÖZGEÇMİŞ	88

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Deliklerine Paralel Yönde Yüklenen Numunelerin Sonuçları	11
Tablo 4.2 Deliklerine Dik Yönde Yüklenen Numunelerin Sonuçları	12
Tablo 5.1 Sıralı ve Kayma Numuneleri İçin Hazırlanan Harç Numunelerinin Deney Sonuçları	13
Tablo 5.2 Diyagonal Basınç Numuneleri İçin Hazırlanan Harç Numunelerinin Deney Sonuçları	14
Tablo 5.3 Çerçeve Numuneleri İçin Hazırlanan Harç Numunelerinin Deney Sonuçları	14
Tablo 6.1 Sıralı Pres Tuğla Numunelerinin Deney Sonuçları	19
Tablo 6.2 Dört Sıralı Pres Tuğla Numunelerinin Deney Sonuçları	22
Tablo 7.1 Kayma Deney Düzeneği Parçaları	24
Tablo 8.1 Diyagonal Basınç Deneyi Sonuçları	31
Tablo 8.2 Diyagonal Basınç Deneyinden Elde Edilen Kayma Modülü	32
Tablo 9.1 Çerçeve Deneyinde Kullanılan Yerdeğiştirme Ölçerler ile İlgili Bilgiler	41
Tablo 10.1 Beton ve Tuğlanın Malzeme Özellikleri	47
Tablo 10.2 Matematik Modelde ve Deneyde Elde Edilen Sonuçlar	52

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1 Tek Tuğla Deneyleri	9
Şekil 4.2 Pres Tuğla Deneyleri	9
Şekil 4.3 Kullanılan Pres Tuğla ve Deliklere Dik Biçimde Yerleştirilen Numune	10
Şekil 4.4 Deliklere Paralel Ve Dik Yönde Denenecek Olan Numuneler	10
Şekil 4.5 Numune #1 de Ulaşılan Göçme Biçimi	11
Şekil 4.6 Numune #2 de Ulaşılan Göçme Biçimi	11
Şekil 4.7 Numune 3 te Ulaşılan Göçme Biçimi	12
Şekil 4.8 Numune 5 De Ulaşılan Göçme Biçimi	12
Şekil 6.1 Üç ve dört sıralı deney elemanı	15
Şekil 6.2 Üç sıralı deney numunesi için ölçüm düzeneği	16
Şekil 6.3 Dört sıralı deney numunesi için ölçüm düzeneği	16
Şekil 6.4 Üç Sıralı Tuğla Deneyi Yükleme Düzeneği	16
Şekil 6.5 PT 3S 03 Numunesi Göçme Biçimi	17
Şekil 6.6 PT 3S 04 Numunesi Göçme Biçimi	17
Şekil 6.7 PT 3S 01 in yük – yerdeğiştirme ve gerilme şekildeğiştirme grafikleri	18
Şekil 6.8 PT 3S 05 Numunesi Göçme Biçimi	19
Şekil 6.9 PT 4S 01 Numunesi Göçme Biçimi	20
Şekil 6.10 4S 02 Numunesi Göçme Biçimi	20
Şekil 6.11 PT 4S 03 Numunesi Göçme Biçimi	20
Şekil 6.12 PT 4S 01 in yük – yerdeğiştirme ve gerilme şekildeğiştirme grafikleri	21
Şekil 6.13 PT 4S 04 Numunesi Göçme Biçimi	22
Şekil 6.14 PT 4S 04 Numunesi Göçme Biçimi	22
Şekil 7.1 Kayma Deneyinde Kullanılan Numune	23
Şekil 7.2 Kayma Deney Düzeneği	24
Şekil 7.3 Kayma Deney Düzeneği Şematik Gösterim	25
Şekil 7.4 Kayma Deneyinde Elde Edilen Normal Gerilme – Kayma Gerilmesi Sonuçları	27
Şekil 7.5 PTK 030 02 ve PTK 030 03 Numunelerinin Göçme Biçimleri	28
Şekil 7.6 PTK 020 01 ve PTK 020 02 Numunelerinin Göçme Biçimleri	28

Şekil 7.7 PTK 000 02 Ve PTK 000 04 Numunelerinin Göçme Biçimi	28
Şekil 7.8 PTK 000 01 in yük – yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	29
Şekil 8.1 Diyagonal Basınç Deneyi Numunesi ve Yükleme Yönü	30
Şekil 8.2 Diyagonal Basınç Deneyi, Deney Düzeneği	31
Şekil 8.3 Diyagonal Basınç Deneyi Sonuçları	33
Şekil 8.4 Diyagonal Basınç Deneyi Kayma Gerilmesi Kayma Açısı Sonuçları	33
Şekil 8.5 PT 4 20 numunesinin yük yerdeğiştirme ve kayma gerilesi – kayma açısı ve göçme anından hemen önceki hasar Durumu	34
Şekil 8.6 PT 3 20 numunesinin yük yerdeğiştirme ve kayma gerilesi – kayma açısı ve göçme anından hemen önceki hasar Durumu	35
Şekil 9.1 Çerçeve Numunesi ile ilgili Geometrik Özellikler	37
Şekil 9.2 Çerçeve Numunesinin Kesit ve Donatıları	38
Şekil 9.3 Çerçeveye Yapılan Ankraj ve Dolgu Harcı	39
Şekil 9.4 Çerçeve Deney Numunesi (Yükleme ve Ölçüm Düzenekleriyle Birlikte)	39
Şekil 9.5 Deney Kurulumu	40
Şekil 9.6 Yerdeğiştirme Ölçerin Numunedeki Yerleri	40
Şekil 9.7 Yatay Yük yükleme çevrimleri	42
Şekil 9.8 Çerçeve numunelerinin yük yerdeğiştirme eğrisi	42
Şekil 9.9 Çıplak çerçeve ve duavr ile güçlendirilmiş çerçevenin P- D Zarf Eğrileri	43
Şekil 9.10 numunede göçme durumunda kullanılan çatlaklar	44
Şekil 9.11 Deney sonrasında numunede oluşan Çatlaklar	45
Şekil 10.1 Matematik Modelin perspektif olarak 3 boyutlu görünümü	47
Şekil 10.2 $d=0.292$ mm. seviyesinde deneyde görülen çatlaklar	50
Şekil 10.3 0,292 mm. Yer Değiştirme İçin Hazırlanan Matematik Modelde Eleman Tipleri	51
Şekil 10.4 Matematik Model Deney Kıyaslaması	52
Şekil 10.5 Deneyin Itme Ve Çekme Yönleri Aynı Eksen Takimında Çizilmesi	53
Şekil 10.6 Eşdeğer Sanal Çubuğun Hesabı İçin Kullanılan Geometrik Parametreler	54
Şekil 10.7 Eşdeğer Sanal Çubuklu Model 3 Boyutlu Görüntü	55
Şekil 10.8 Eşdeğer Sanal Çubuklu Modelindeki Elemanlar	56
Şekil A.1 PT 3S 02 yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri	62

Şekil A.2	PT 3S 03 yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri	63
Şekil A.3	PT 3S 04 yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri	64
Şekil A.4	PT 3S 05 yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri	65
Şekil A.5	PT 4S 02 yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri	66
Şekil A.6	PT 4S 03 yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri	67
Şekil A.7	PT 4S 04 yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri	68
Şekil A.8	PT 4S 05 yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri	69
Şekil B.1	PTK 020 01 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	71
Şekil B.2	PTK 030 02 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	72
Şekil B.3	PTK 030 03 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	73
Şekil B.4	PTK 040 01 ve PTK 040 02 Göçme Biçimleri	74
Şekil B.5	PTK 060 01 ve PTK 060 02 Göçme Biçimleri	74
Şekil B.6	PTK 100 01 Göçme Biçimleri	74
Şekil B.7	PTK 040 01 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	75
Şekil B.8	PTK 040 02 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	76
Şekil B.9	PTK 060 01 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	77
Şekil B.10	PTK 060 03 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	78
Şekil B.11	PTK 100 01 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	79
Şekil B.12	PTK 200 01 yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri	80
Şekil C.1	PT 1 20 numunesinin yük yerdeğiştirme ve kayma gerilesi – kayma açısı ve göçme anından hemen önceki hasar durumu	82
Şekil C.2	PT 2 20 numunesinin yük yerdeğiştirme ve kayma gerilesi – kayma açısı ve göçme anından hemen önceki hasar durumu	83
Şekil D.1	$\delta=1.400$ mm. seviyesinde deneyde görölen çatlaklar	85
Şekil D.2	1,400 mm. Yer Değiştirme İçin Hazırlanan Matematik Modelde Eleman Tipleri	85
Şekil D.3	$\delta=2.800$ mm. seviyesinde deneyde görölen çatlaklar	86
Şekil D.4	2,800 mm. Yer Değiştirme İçin Hazırlanan Matematik Modelde Eleman Tipleri	86
Şekil D.5	$\delta=5.600$ mm. Seviyesinde Deneyde Görölen Çatlaklar	87
Şekil D.6	5,600 mm. Yer Değiştirme İçin Hazırlanan Matematik Modelde Eleman Tipleri	87

SEMBOL LİSTESİ

A_2	:	Numune alanı
A_k	:	Numune harç yüzeyi alanı
E	:	Elastisite modülü
E_x, E_y	:	İlgili doğrultudaki elastisite modülleri
E_m	:	Eşdeğer sanal çubuk basınç doğrultusundaki elastisite modülü
E_c	:	Kolon elastisite modülü
f_{ck}	:	Beton basınç dayanımı
f_{ctk}	:	Beton çekme dayanımı
h	:	Kolonun yüksekliğine
h'	:	Dolgu duvar yüksekliği
I	:	Atalet modülü
I_c	:	Kolon atalet modülü
l	:	Kolon boyu
l'	:	Dolgu duvar boyu
P	:	Normal kuvvet
P_k	:	P kuvvetinin harç tabakasındaki bileşeni
Q	:	Kayma kuvveti oluşturan kuvvet
w	:	Eşdeğer sanal çubuk genişliği
σ	:	Normal gerilme
τ	:	Kayma gerilmesi
ε	:	Şekil değiştirme katsayısı
δ	:	Yerdeğiştirme miktarı
λ	:	Tepe yerdeğiştirme
θ	:	Eşdeğer sanal çubuğun yatayla yaptığı açı
ν, ν_{xy}, ν_{yx}	:	Poisson oranı ve farklı düzlemlerdeki poisson oranları
γ	:	Kayma açısı

BETONARME ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE YÜKSEK DAYANIMLI TUĞLA DUVARLAR

ÖZET

Bu çalışmada, özel olarak imal edilmiş bölme duvarlı betonarme çerçevenin yerdeğiştirme çevrimleri etkisindeki davranışı incelenmiştir. Yüksek dayanımlı tuğla ve harç birleşiminden oluşan bu kompozit duvar; homojen ve izotropik değildir; malzeme yönünden doğrusal olmayan davranış göstermektedir ve ayrıca iki farklı malzemenin birleşimi olduğundan farklı düzlemlerde de farklı davranışlar sergilemektedir. Bölme duvarın elastisite modülü, poisson oranı, farklı normal kuvvetler altındaki kayma kuvveti dayanımı, kayma modülü gibi mekanik özelliklerini ortaya çıkarmak üzere 6 farklı deney grubu tasarlanmış ve imal edilmiştir.

Deneyler, İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı ile İ.T.Ü. Malzeme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak tuğla ve kullanılan harcın dayanımlarını ortaya çıkarmak üzere tek tuğla deneyleri yapılmış ve tuğla deliklerine dik ve paralel yönlerde basınç kuvveti uygulanarak taşıyabileceği yük ve göçme şekilleri incelenmiştir. Numunelerin yapımı sırasında kullanılan harçtan ise 7 cm ve 15 cm lik küp ve ayrıca silindir numuneler alınarak basınç dayanımı belirlenmiştir.

Duvar elemanın elastisite modülünü belirleyebilmek için 3 ve 4 sıralı tuğladan oluşan 5'er numune basınç kuvvetlerine maruz bırakılmıştır. Deneyler sırasında numunedeki boy değişimi de kaydedilmiş ve bu verilerden gerilme – şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerden elastisite modülü saptanmıştır.

Normal kuvvet altındaki kayma kuvveti taşıma kapasitesini belirleyebilmek için normal kuvvet oluşturan yükler altında, moment etkisi de yaratmayacak şekilde, harç tabakasının sadece kayma tesirinde kalacağı numuneler tasarlanmıştır. 20 adet numune hazırlanmış ve farklı normal kuvvet düzeyleri gruplanarak denenmiştir. Her numunenin normal gerilmeye karşılık maksimum kayma gerilmesi kapasitesi belirlenmiş ve sonuçlar toplanarak malzeme için bir $\sigma - \tau$ grafiği elde edilmiştir.

Duvar elemanının, yatay yükler altındaki davranışında etkili bir parametre de kayma modülüdür. Yüksek dayanımlı tuğla ve harçtan oluşan bu birleşimden diyagonal basınç deneyi için ASTM'ye uygun olarak 4 adet numune hazırlanmıştır. Deney sırasında her iki diyagonal doğrultusunda yerdeğiştirme ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerden duvar elemanı için poisson oranı elde edilmiş ve uygulanan yük ve karşı gelen yerdeğiştirme verilerinden kayma gerilmesi – kayma açısı grafiği elde edilerek kayma modülü belirlenmiştir.

Bütün yapılan bu deneyler sonunda duvar elemanı, betonarme bir çerçeve içine, betonarme çerçevenin ve duvarın bir sistem olarak çalışmasını sağlayacak şekilde önlemler alınarak örülmüştür. Bunun için duvar, betonarme çerçeveye ankrajlarla bağlı olarak imal edilmiştir. Deney numunesi yatay yükler altında, yerdeğiştirme kontrollü verenler ile denenerek sistem davranışı incelenmiştir. Duvarın, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine olan katkısı ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Ayrıca aynı özelliklere sahip çıplak çerçeve davranışıyla numunenin davranışı da karşılaştırılmıştır.

Kuramsal çalışma olarak ise önce çerçeve deneyini yansıtacak, sonlu elemanlardan oluşan bir matematik model kurulmuş ve bu modelde duvar, kabuk elemanlarla temsil edilmiştir. Bu kabuk elemanın fiziksel özellikleri çalışmanın ilk bölümünden elde edilen deneysel verilere dayandırılmıştır. Duvarı temsil eden kabuk elemanların özellikleri, deneye göre her yerdeğiştirme adımında düzeltilerek ilerlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kurulan model ile deneyin sonuçlarının paralellik gösterdiği saptanmıştır. Daha sonra bu çerçevenin göçme yükünü kolay bir şekilde eşdeğer bir lineer hesapla bulabilmek için duvar yerine sanal çubuk kullanılan bir model denenmiştir. Sanal çubuğun öngörülen fiziksel özellikleri yine deney sonuçlarından alınmış, geometrik özellikleri için ise literatürdeki önermelerden faydalanılmıştır.

Sonuç olarak yüksek dayanımlı tuğla ve harçtan oluşan bölme duvara ait önemli mekanik özellikler ortaya konmuştur. Elastisite modülü belirlenmiştir. Farklı normal kuvvetler altında ne kadar kayma kuvveti taşıyabildiği saptanmış ve tüm numunelerin normal gerilmeye karşılık gelen kayma gerilmesi değerleri aynı grafikte toplanarak bir davranış eğrisi elde edilmiştir. Bu eğri daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Diyagonal basınç deneyindeki verilerden duvarın betonarme çerçeve içinde nasıl davranacağına ait önemli parametreler elde edilmiş betonarme çerçeve içindeki duvar ile diyagonal basınç deneyi uygulanan numunenin paralel davranışlar sergilediği saptanmıştır. Tüm deneylerin birbirini bütünler nitelikte sonuçlar vermesinden yola çıkılarak, ilk önce deneyin benzetildiği bir model hazırlanmıştır. Son olarak da bu deney numunesinin taşıyabileceği en büyük yanal kuvvetin kolayca bulunabilmesi için çubuklardan oluşan bir model önerilmiştir.

HIGH STRENGTH INFILLED WALLS USED TO RETROFIT RC FRAMES

SUMMARY

In this study behavior of infill wall frame made of specially produced high strength clay brick and mortar is analyzed. This composite structure of brick and mortar behaves inelastically as it is neither homogeneous nor isotropic. It also behaves differently in different planes as well. To understand this complex behavior 6 different groups of specimens were designed, produced and tested. In these experiments evaluation of elasticity modulus, shear capacity under different normal forces, poisson ratio and shear modulus were aimed.

The tests were carried out in the Structural and Earthquake Engineering Laboratory and The Materials Laboratory within Istanbul Technical University.

As a first step, single bricks were tested in directions which are perpendicular and parallel to their structural holes. Ultimate load capacity and collapse modes were examined. Through the production phases of the specimens, several number of 7 cm and 15 cm cube specimens and cylindrical specimens as well were taken from the mortar to be tested in compressive tests to get the maximum compressive strength of mortar.

To define the elasticity modulus for this complex structure, brick tests were performed. First group of 3 brick and second group of 4 brick specimens both applied to compressive tests. During the tests, strain gages were placed on the first and the last bricks of specimens along the loading direction to get the stress – strain curves.

Another group of specimens were designed to measure pure shear stress of the mortar under different normal stresses. These specimens were also designed not to get moment effects on the mortar along the testing period. Results from these tests were gathered by a curve on a normal stress – shear stress graph.

Another important parameter is the shear modulus of the infill wall. Four 75cm x 75 cm specimens were produced and tested as defined in ASTM. 2 strain measurements taken from perpendicular axes to find the poisson ratio of the wall as well as the shear stress – shear strain graphs.

Last step of the experimental procedure was testing an infilled wall moment frame under lateral loads. To have a system behavior, anchorages were used to link infill wall to the frame. Displacement increments applied by two hydraulic to the specimen.

As the theoretical study a mathematical model generated. Frame elements used for RC frame and finite shell elements used for the infill wall. The physical properties of the infill wall were taken from the experiment results. For every increment step the model was changed according to the test and these previous test results were confirmed that these physical properties could be used for the infill wall. At last a more simple mathematical model suggested to calculate the ultimate lateral load capacity of this infill wall frame easily. In this model infill wall was modeled as a

fictitious strut. Again the physical properties were taken from the test results, while the geometrical properties taken from previous studies.

As a consequence different groups of tests were performed to find some significant mechanical properties of high strength brick with mortar infill wall. These tests resulted by a system test which was an infill wall frame. A mathematical model was generated to verify the test results and another model is suggested for calculating the ultimate lateral load capacity of such frames with ease.

1. Giriş

Ülkemizde çok yaygın görülen bir yapı tipi, az katlı esnek betonarme çerçeve yapılarıdır binalardır. Bu binaların büyük bölümü, 1975 Deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış ve denetim mekanizmalarının, gerek merkezi yönetim, gerekse yerel yönetimler tarafından yeterli düzeyde gerçekleştirilememesi ve yasalardaki boşluklar sonucunda yetersiz işçilik ve mühendislik hizmetinden yoksun olarak standart olmayan malzeme ile imal edilmişlerdir. Bununla birlikte binaların tasarım aşamasında öngörülmüş amaçları dışında kullanılmaları, zaman içinde yapısal değişikliğe uğratılmış olmaları, tasarımlarına ticari kaygılardan dolayı yumuşak kat, kısa kolon, konsol üstü kolon gibi hasarı artıracak parametreler eklenmesi, bu binaların olabilecek şiddetli bir depremde çok yetersiz bir davranış göstermelerini kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu nedenle bu binaların incelenerek boşaltılması, en azından can güvenliği seviyesine kadar güçlendirilmesi gerekmektedir.

2. Konu

Güçlendirilmesi gereken binalar genel olarak perdelerden yoksun ve zayıf bir çerçeve sistemine sahiptir. Bu eksikliği giderebilmek için, ülkemizin ekonomik koşulları da dikkate alınarak ülkemizde üretilebilen bir malzeme üzerinde çalışılmıştır. Yüksek dayanımlı tuğladan örülebilecek bölme duvarları göz önüne alınmış, yüksek dayanımlı bir harç ile bina çerçeve sisteminde mevcut duvarların yerine kullanılması durumu araştırılmıştır. Tuğla ve harç birleşiminden oluşan kompozit malzemenin mekanik özelliklerini ortaya koymak için deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmanın kapsamı, elemanter düzeyden dolgu duvarlı çerçeve düzeyine kadar duvar elemanının farklı fiziksel özelliklerini ortaya koymak için birbirini bütünler nitelikte 6 deney grubunun deney numunelerinin tasarlanması ve denenmesidir. Deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem laboratuvarı ile Malzeme laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kuramsal çalışma olarak ise deney uygun bir matematik modelle

bilgisayar ortamına taşınmış ve çıplak çerçeve davranışı için başka bir matematik model oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır.

3.Önceki Çalışmalar

Kilden imal edilen tuğla binlerce yıldır değişik medeniyetler tarafından türlü inşaat faaliyetlerinde kullanılmış ve günümüze kadar olan süreçte birçok farklı alanda insanlığa hizmet etmiştir. Kale surlarından taş köprülere, fırınlardan ibadet yerlerine kadar birçok yapının temel taşı olmuştur. Sağlam yapısından dolayı binlerce yıldan sonra hala ayakta kalan birçok tarihi eser mevcuttur. Kilden yapılan tuğlaların dayanıklılık dışında da teknik olarak çarpıcı birçok özellikleri bulunmaktadır. Mukavemeti yüksek, ateşe dayanıklı ve ses ve ısı yalıtım değerleri oldukça düşüktür. Kil tuğlalardan yapılan konutlar betonarme yapılara göre kışın daha sıcak, yazın daha soğuk olmakta ve mimari açıdan da tabii dokusundan dolayı avantaj sağlamaktadır. Ayrıca malzeme ve işçilik maliyetleri göz önüne alındığında önemli bir ekonomik avantaj da sağlamaktadır. Bu özellikleriyle kilden yapılan tuğlalar bilim adamlarının da ilgisini çekmiş ve bu malzemenin günümüz yapılarının dizaynında nasıl kullanılacağı pek çok akademisyen tarafından araştırılmıştır.

Zarnic ve Tomazevic [3] dolgu duvara sahip çerçevelerin göçme modlarını tespit etmek, davranış eğrisi elde etmek ve davranış eğrisinin oluşturduğu zarf eğrisi için bir öneri getirmek üzere 4 değişik tipte çerçeve deneyi yapmıştır. Bunlar boş çerçeve, duvarla örülmüş çerçeve , az bir donatıyla güçlendirilmiş duvara sahip çerçeve ve donatıları çerçeveye ankre edilmiş çerçevedir. Çerçevelerde kullanılan tuğla küçük deliklere sahip tuğladır. Düşey yük olarak çerçeve kolonlarına 109 kN yük verilmiş ve kiriş hizasından tekrarlı tersinir yüke maruz bırakılmıştır. Deney sonuçlarına göre duvarda çatlama görülene yani duvar taşıma gücüne erişinceye kadar numuneler sistem olarak çalışmakta duvar çatladıktan sonra ise gelen yükleri çerçeve karşılamakta ve rijitlikte önemli düşüşler olmaktadır. Elde edilen diğer bir sonuç da duvarda kullanılan donatıların çerçeveye ankre edilmedikçe yararlı olmadığıdır. Donatı çerçeveye ankre edildiği zaman rijitlikte artış görülmüştür.

Tuğla duvarların betonarme çerçeveleri doldurmak gibi bir işlevi olmakla beraber bazı ülkelerin geleneksel konut imalatında daha önemli bir yeri vardır. Yığma yapıların kullanılması birçok ülkedeki yönetmeliklerde yasaklanmış veya oldukça ağır kısıtlamalar getirilerek kullanım alanı daraltılmıştır. Buna rağmen özellikle az

gelişmiş ülkelerde veya kırsal kesimde yaşayan insanlar kil tuğlalarla oldukça zayıf betonarme çerçevelerin biraraya getirilmesiyle oluşturulan binalarda oturmaktadırlar. Bu tür yapılarda duvarın nasıl çalıştığı tam olarak bilinemediği gibi bunun betonarme çerçeve ile olan ilişkisi de hesaba katıldığında oldukça kompleks bir davranış ortaya çıkmaktadır. Bu durum özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerde dikkatle incelenmesi gereken bir durumdur. La Fuente ve Castillo [7] bu şekilde inşa edilmiş yapıları incelemek ve bazı yönetmelik önerilerinde bulunmak üzere bir dizi 1/1 ölçekli duvar deneyi gerçekleştirmiştir. Büyük boşluklara sahip tuğlaların boşluklarına yerleştirilen donatı ve betonla doldurulmasıyla elde edilen elemanlar denenmiştir. Bu teknikte betonun çekmeye karşı zayıflığı donatılar tarafından karşılanmaktadır.

Bir duvar elemanının yanal yükler etkisinde göçmesi için birkaç farklı göçme modu tarif edilmiştir. Bunlar; diyagonal çatlakların büyümesiyle göçme, duvarın yüksekliğinin yarısı civarında üst kesitin alt kesit üzerinden kayması, duvarın moment etkisinde çekme dayanımını kaybetmesi sonucu göçmesi ve tuğlanın basınç altında ezilerek duvarın göçmesidir. La Fuente ve Castillo kullandıkları analiz programında bu durumlardan hangisinin meydana geleceğini kestirmek üzere bir D katsayısı önermişlerdir. Bu katsayı, duvarı çevreleyen betonarme elemandaki ilk ezilmenin görüldüğü yerdeğiştirmenin duvarda oluşan ilk çatlağa karşı gelen yerdeğiştirmeye oranıdır. Tüm durumlar için $D < 2$ olmuştur.

Tuğlanın basınç dayanımı, kayma dayanımı, çekme dayanımını belirlemek için elemanlar düzeyinde 4 sıralı tuğla deneyleri, kayma deneyleri ve diyagonal çekme deneyleri yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçları kullanarak duvar için bir göçme yükü tahmin edilmiştir. Bu formül;

$$V = B \cdot A \cdot L (u + c \cdot f) \quad (3.1)$$

$$B = (a / L) / (1 - c \tan \alpha) \quad (3.2)$$

dır.

Burada V duvarın direnci, L duvarın uzunluğu, f uygulanan yatay gerilme, u aderans kuvveti; ki burada kayma sıfır gerilmedeki kayma dayanımını göstermektedir. C sürtünme katsayısı, A duvarın tekrarlı yüklenmesine gösterdiği tepki ile ilgili bir katsayı, $\tan \alpha$ ise yükseklik / uzunluk ilişkisidir.

Bu önçalışmadan sonra 2 adet tamamen duvardan oluşan, 2 adet de çevresi betonarme ile sarılmış toplam 4 adet numune denenmiştir. Yalnızca tuğla kullanılan numuneler 137 kN da göçme yüküne ulaşmış, 60 kN a kadar herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Betonarme elemanlara sahip numunelerden ilki kirişin beklenmeyen

bir hasar görmesinden dolayı 326 kN da diğeri ise 430 kN da göçmüştür. Sonuç olarak betonarme sistemli numunenin diğeri göre 3,38 kat fazla yük taşıyabildiği görülmüştür. Numunelerin elastik olmayan davranışının deprem gibi yatay kuvvetler etkisinde yararlı olmadığı anlaşılmış ve yüksek katlı binaların söz konusu olmadığı sürece bu özelliğin dikkate alınmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Ayrıca sadece tuğla duvar kullanılan yapılarda görelî kat ötelemesinin 1/600, betonarme elemanlara sahip yapılarda ise 1/300 olması gerektiği belirtilmiştir.

Yapısal analiz yapabilmek için belirli fiziksel özelliklerin bilinmesine ihtiyaç duyulur. Genel olarak belirli bir gerilme durumundaki şekil değiştirmenin bilinmesi gereklidir. Düzlem kesitlerin düzlem kaldığı kabul edilen elastik bölgede şekil değiştirmeler, gerilmelerle doğrusal bir ilişki içindedir. Bu ilişki gerilme – şekil değiştirme grafiğinin yalnızca bir bölümüdür. Tuğla elemanlarda genel olarak çekme dayanımı sıfır kabul edilirken basınç altında gerilme – şekil değiştirme ilişkisi bir eğri olarak karşımıza çıkar. Bu eğriyi pratikte olduğu gibi kullanmak sorunlara yol açabileceği gibi aynı zamanda da güçtür. Daha önceki çalışmalardan da elastik olmayan bölgenin tasarımda dikkate alınmaması ile ilkeleri göz önüne alırsak elastisite modülü için bir doğru tarif etmek pratik olarak yanlış olmaz. Gerilmeler sıfıra çok yakinken çizilen bir teğet elastisite modülü olarak alınırken gerilmelerin sıfırdan daha büyük olduğu bölgelerde çizilen bir kiriş elastisite modülünü daha doğru tarif edecektir. Bu ilişkileri belirlemek ve elastisite modülünü belirlemek üzere Knutson ve Nielsen [5] bir dizi deney yapmıştır. Amaç 0,4 σ_{max} a kadar olan bölgede bir doğru belirlemektir. Test tekniğinde gerilmeler ve karşı gelen şekil değiştirmeler kaydedilecektir. Değişik dayanımdaki numuneler deneneceği için kılcal çatlaklardan meydana gelen ölçüm farklarının önüne geçmek üzere tüm numuneler 15 ± 3 dakikada göçecek şekilde yüklemeye maruz bırakılmıştır. Numunedeki ilk oturmaları ve bu aşamadaki ölçüm aletlerinin hassasiyetinden meydana gelen hataların önüne geçmek için grafiğin ilk %5 i atılmıştır. Benzer şekilde 0,4 σ_{max} düzeyinde meydana gelebilecek hasarları da dikkate almamak için %35 σ_{max} lık kısım dikkate alınmış ve böylece elastisite modülü %5- %35 lik kısımda çizilen kirişin eğimi olarak tanımlanmıştır.

Daha önce yapılan bir çalışmaya göre Ritter herhangi bir gerilme seviyesindeki elastisite modülünü;

$$E = E_0 (1 - (\sigma / f_c)) \quad (3.3)$$

olarak vermiştir. Burada E_0 orijindeki teğet, f_c ise maksimum gerilmedir. Ayrıca malzeme katsayısı olarak;

$$K = E / f_c \quad (3.4)$$

tanımlamış ve beton için bu katsayıyı 1000 olarak vermiştir.

Knutson ve Nielsen [5] 6 değişik tipte deliği olan numuneleri denemiş ve karşılaştırmak için boyutsuz değerler tanımlamışlardır.

Bunlar ;

$$X = E \times \epsilon / f_c \quad \text{ve} \quad (3.5)$$

$$Y = \sigma / f_c \quad \text{dir.} \quad (3.6)$$

Deney sonuçlarında dayanımlar ve rijitlikler farklı çıkmasına rağmen boyutsuz büyüklüklerin benzer çıktığı görülmüştür. Neticede Ritter'in önerdiği formüllerin güvenli tarafta kaldığı ve iyi bir yaklaşımda bulunduğu tespit edilmiştir.

Duvar elemanının elastisite modülü Sahlin tarafından;

$$E = f_m \quad (3.7)$$

olarak verilmiştir. Fakat bu yaklaşım çok çeşitli ve değişik özellikteki tuğla elemanları için oldukça kaba bir yaklaşımdır. Brooks ve Baker (8) parametreleri artırmadan daha hassas bir formül elde etmek üzere bir çalışma hazırlamışlardır. Bunun için konuyla ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş ve 184 adet numunenin elastisite modülü - gerilme değerleri bir grafikte toplanmıştır. Bu grafikten yola çıkılarak bir ortalama eğri elde edilmiş ve;

$$E = (f_m) / (0.975 + 0.0125 f_m) \quad (3.8)$$

eşitliği verilerek daha hassas bir yaklaşım sağlanmıştır. Bu eşitlik diğerinden daha hassas olmakla beraber çok farklı E değerleri mevcut olduğundan bir hata yüzde katsayısı M üretilmiş ve;

$$M = \frac{1}{E_m} \sqrt{\frac{\sum (E_p - E_a)^2}{n-1}} \times 100 \quad (3.9)$$

olarak verilmiştir. Burada ; E_m ortalama elastisite modülü, E_p tahmin elastisite modülü, E_a ise gerçek elastisite modülüdür.

Bu şekilde hesaplanan numunelerde harcın elastisite modülü 20000 MPa'nın altındaki numuneler için genel formül;

$$E = 0.8 f_m \quad (3.10)$$

olarak düzeltilmiştir. Bu formül bile harcın yapıldığı kumun özellikleri ve kullanılan hacmi çok değişik olduğundan %30 civarında hata oranına sahiptir.

Bir başka yaklaşım ise sıralı tuğla deneylerinden elde edilen basınç dayanımı verisinden, malzeme E_y ve E_x değerlerine geçilmesidir.

Burada kaynaklar tarafından;

$$E_x = 0.25 f_y \quad (3.11)$$

ve

$$E_y = 0.4 f_y \quad (3.12)$$

verilmektedir. Bu iki eşitlik oranlandığında;

$$E_y = 0.63 E_x \quad (3.13)$$

değeri çıkmaktadır.

Buna göre tuğla malzemesinin anizotropik olduğu açıktır. Yapımındaki geometrik en-boy oranı imalatla bırakılan delikler yüzünden tuğlalar farklı düzlemlerde farklı özellikler göstermektedirler.

Yukarıda verilen formüllere yakın olarak duvar için PLOWMAN ve LENCZNER tarafından sırasıyla

$$E = 0.2 f_y + 4.1 \quad (3.14)$$

ve

$$E = 3.75 \sqrt{f_y} - 10 \quad (3.15)$$

eşitlikleri önerilmektedir.

Tüm bu verileri bir araya getirerek Brooks ve Baker [8] boyu 1 m den yüksek tuğla elemanın yüksekliği 65 mm ve harç kalınlığı da 10 mm olmak üzere bir duvar elemanın elastisite modülü E_d için;

$$\frac{1}{E_d} = \frac{0.86}{E_{by}} + \frac{0.14}{E_m} \quad (3.16)$$

önermişlerdir. Burada E_{by} sıralı tuğla numunesinden bulunan elastisite modülü E_m ise harcın elastisite modülüdür.

Brooks ve Baker [8] ayrıca tuğlanın su emme oranlarını da göz önüne alan formüller geliştirmiş ve elastisite modülünün tahmin edilmesindeki hata payı düşürmeyi öngörmüştür.

Page [4] duvarın lineer olmayan davranışını modellemek üzere bir program geliştirilmeye çalışmış, duvarın elastik, harcın ise elastik olmayan davranışta olduğu kabul edilmiştir. Duvarın göçme durumu olarak birleşimin kayma veya çekme dayanımına ulaştığı kuvvet esas alınmıştır. Bu programı geliştirmek için gereken malzeme sabitleri deney yapılarak bulunmuştur. Tuğlaların aynı potadan alındıklarında bile farklı özellikler gösterdikleri ve elastik – kırılğan bir davranış sergiledikleri bildirilmiştir. Homojen olmadıkları ve izotropi göstermedikleri belirtilmiştir. Harcı yaparken tuğladan daha düşük mukavemette olacak şekilde kum su çimento karışımı seçilmiştir. Duvar, gelen yükleri başarıyla aktarmakta ve davranışını tuğlanın çekme dayanımı etkilemektedir.

Tuğla, duvarın çıplak çerçeveye uygulandığı zaman limit yükü önemli oranda arttırdığı ve özellikle rijitliği daha fazla oranda arttırdığı bilinmektedir. Fakat hesaplamaadaki zorluklar yüzünden ve olayın karmaşıklığından dolayı hesaba katılmamaktadır. Fakat bu her zaman özellikle de deprem bölgelerindeki yapıların tasarımı yapılırken her zaman emniyetli tarafta kalmayabilir. Bunun nedeni değişen taşıma kapasitesi ve rijitliğin binanın maruz kalacağı deprem yüklerine direk olarak etki yapmasındandır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için Asteris[11], Ghosh ve diğerleri [10] tarafından değişik programlarla yapılan sonlu eleman metotları verilmiştir. Mekanik özelliklerin bir kısmı deneylerle bulunmuş diğerleri elde olan verilerden daha önceki çalışmalardan yararlanılarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Önerilen sonlu eleman metotlarının ortak özelliği aradaki harç tabakasını sisteme bir k rijitlik matrisi ile ilave edilmesi ve burada limit yüklere ulaşıp ulaşılmadığının devamlı olarak program tarafından kontrol edilmesi şeklinde programın icrasındır.

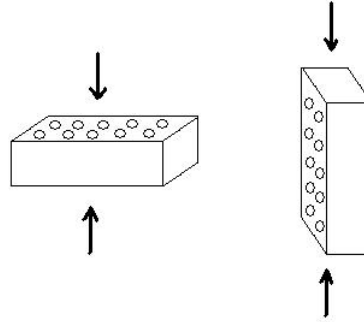
Önerilen sonlu eleman modelleri özellikle yüksek katlar ve karmaşık binaların dizaynında uygulanması oldukça zahmetli ve zaman alıcıdır. Bu yüzden Madan ve diğerleri[6] tarafından bütün duvarın tek veya 3 parçalı basınç alabilen çubukla modellenmesi öngörülmüştür. Kullanılan gergi çubuklarının kalınlıkları ve genişlikleri için çerçevenin parametrik özelliklerinden faydalanılmış ve mekanik özellikleri tespit etmek için ise deneylerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Her iki model de duvarın diyagonal bir çatlağın oluşumunun ardından göçme yüküne ulaşacağını öngörmüşlerdir. El-Dakhkhni ve diğerleri [13] ise çatlağın oluşuktan sonra

dallanma şekline yayılışını daha iyi temsil etmesi bakımından üçlü payandalı bir model kullanılmış ve tek payandaya göre seçilen model kalınlık olarak ortada $A/2$ kenarlarda ise $A/4$ olarak kullanılarak daha hassas bir davranış ortaya çıkarılması hedeflemişlerdir.

Bu çalışmada ise kilden yapılan yüksek mukavemetli tuğla ve harç kullanılarak oluşturulan duvar elemanının mekanik özellikleri elemanter düzey olan tek tuğla elemandan, betonarme çerçeve içindeki duvara kadar olan çeşitli aşamalarda uygun deney setleri ve düzenekleri ile denenmiştir. Elde edilen sonuçların birbirleriyle olan bütünlüğü saptanmış ve bu bilgiler kullanılarak bir matematik model oluşturulmuştur.

4. Tek Tuğla Deneyleri

6 adet tuğla delikler doğrultusunda , 6 adet tuğla ise deliklere dik doğrultuda eksenel yük etkisinde denenmiştir. Şekil 4.1 de numuneler ve yükleme doğrultuları görülmektedir.



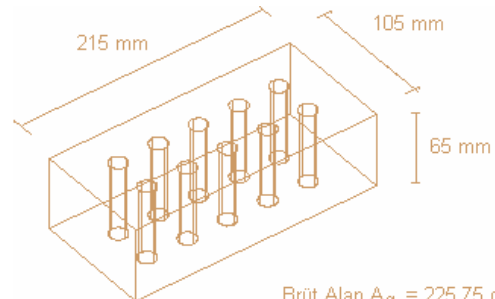
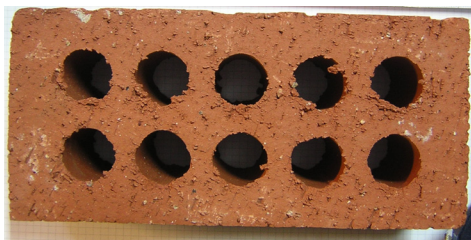
Şekil 4. 1 Tek Tuğla Deneyleri

4.1 Amaç

Tek tuğla için, delikler ve deliklere dik doğrultudaki basınç dayanımları belirlenmeye çalışılmıştır.

4.2 Deney Elemanlarının Tanıtımı

Pres tuğla olarak adlandırılan, nominal boyutları 215 x 105 x 65 mm olan tuğla ile çalışılmıştır. Tuğla üzerinde 2.5 cm çaplı 5x2 düzeninde toplam 10 adet delik bulunmaktadır. Şekil 4.2 Numunelerin basınç presinin yükleme başlıklarına tam temaslarını sağlamak üzere yük alacakları doğrultudaki kenarlarına başlık yapılmıştır. Deliklere dik ve paralel yönde 6'şar adet numune denenmiştir.



Şekil 4.2 Pres Tuğla

Brüt Alan $A_g = 225,75 \text{ cm}^2$

Net Alan $A_n = 175,75 \text{ cm}^2$

Deneyler, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan Amsler Marka 5000 kN kapasiteli preste yapılmıştır. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 Kullanılan pres ve deliklere dik biçimde yerleştirilen numune

4.3 Yükleme ve ölçüm düzenekleri

Basınç dayanımını bulmaya yönelik olarak yapılan bu deneylerde sabit yükleme hızı ile göçme yüküne ulaşana dek düşey yük artırılmıştır. Şekil 4.4 te her iki gruptan birer numune görülmektedir.



Şekil 4.4 Deliklere Paralel Ve Dik Yönde Denenecek Olan Numuneler

Altı adet numunede ulaşılan göçme yükleri ve gerilme karşılıkları Tablo 4.1 de verilmektedir.

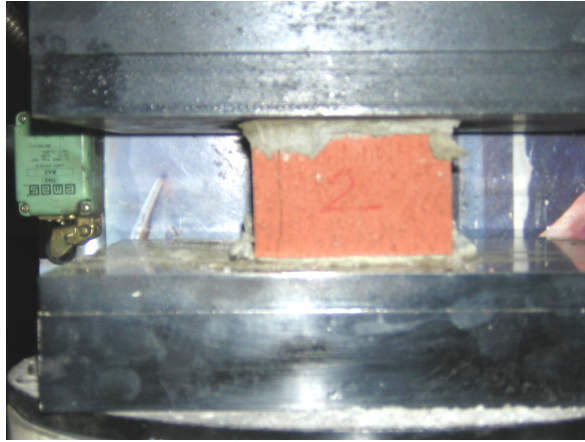
Genel olarak yükleme doğrultusunda ve numunenin çeşitli yerlerinde görülen çatlakların kalınlaşması sonucunda taşıma gücüne ulaşılmış ve göçme gerçekleşmiştir. Numuneler prestan alındıktan sonra yapılan incelemede çok sayıda parçaya ayrıldıkları gözlenmiştir. %90 olasılıkla ulaşılan basınç dayanımı, brüt alan için 25.72 MPa ve net alan için 32.86 MPa olmaktadır.

Tablo 4.1 Deliklerine Paralel Yönde Yüklenen Numunelerin Sonuçları

Numune No	P_{max} [kN]	Brüt alan [cm ²]	Net alan [cm ²]	σ brüt alan [Mpa]	σ net alan [Mpa]
1	660,00	221,34	172,25	29,82	38,32
2	748,00			33,79	43,42
3	622,60			28,13	36,14
4	780,90			35,28	45,33
5	522,60			23,61	30,34
6	852,50			38,52	49,49
ortalama	697,77			31,87	40,95
standart sapma	108,89			4,92	6,32



Şekil 4.5 Numune #1 de Ulaşılan Göçme Biçimi



Şekil 4.6 Numune #2 de Ulaşılan Göçme Biçimi

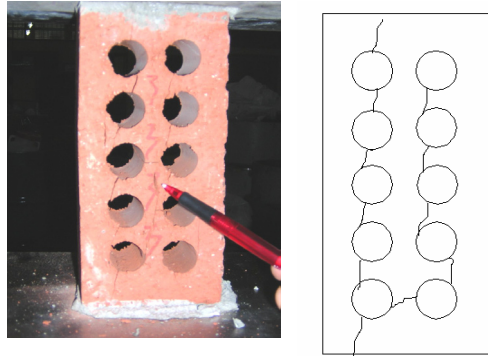
Altı adet numunede ulaşılan göçme yükleri ve gerilme karşılıkları Tablo 4.2 de verilmektedir. Eksenel yük düzeyi arttıkça, delikler arasında kalan dolu bölümlerde yükleme doğrultusunda çatlaklar görülmüş ve deney sonunda çatlaklar birleşerek

göçme yüküne erişilmiştir. %90 olasılıkla ulaşılan basınç dayanımı brüt alan için 12.76 MPa ve net alan için 25.05 MPa olmaktadır.

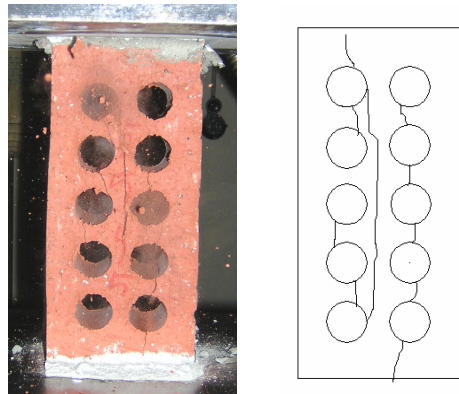
Tablo 4.2 Deliklere Dik Yönde Denenen Numunelerin Test Sonuçları

Numune No	P _{max} [kN]	brüt alan [cm ²]	net alan [cm ²]	σ brüt alan [MPa]	σ net alan [MPa]
1	98,20	61,20	31,20	16,05	31,47
2	75,90			12,40	24,33
3	82,60			13,50	26,47
4	95,40			15,59	30,58
5	94,10			15,38	30,16
6	94,00			15,36	30,13
ortalama	90,03			14,44	28,33
standart sapma	7,99			1,31	2,56

Numune 3 ve numune 5 in göçme biçimleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de verilmiştir.



Şekil 4.7 Numune 3 te Ulaşılan Göçme Biçimi



Şekil 4.8 Numune 5 De Ulaşılan Göçme Biçimi

5. Malzeme Deneyleri

Duvar numunelerinin üretilmesinde kullanılan harç BL07 kodlu özel olarak hazırlanmış kuru karışımdır. Bu karışıma uygulamadan hemen önce su katılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu çalışma kapsamında üretilen numuneler üç farklı zamanda üretilmiştir. Birinci aşamada sıralı pres tuğla ve kayma numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerin üretilmesi için kullanılan harçtan 4 adet standart silindir ve 9 adet 7 cm.lik küp olmak üzere 13 adet numune alınmıştır. Bu numunelerin kaç günlük iken kırıldıkları ve elde edilen sonuçların eşdeğer küp ve eşdeğer silindir değerlerine çevrilmiş durumdaki dayanım değerleri Tablo 5. 1 de verilmiştir.

Tablo 5.1 Sıralı ve kayma numuneleri için hazırlanan harç numunelerinin deney sonuçları

Üretim Adı	deney verisi (gün)	Küp (70x70x70) Basınç Dayanımı [MPa]	Küp (150x150x150) Basınç Dayanımı [MPa]	Silindir Basınç Dayanımı [MPa]	Standart Sapma	DÜZELTİLMİŞ Silindir Basınç Dayanımı [MPa]
T 17 IŞIKLAR DUVAR HARCİ KÜPLERDEN-TÜM (7-28)		35.57	34.37	32.20	2.33	29.21
T 17 IŞIKLAR DUVAR HARCİ KÜPLERDEN (28)		34.37	33.33	32.08	2.93	28.33
T 17 IŞIKLAR DUVAR HARCİ SİLİNDİRLERDEN (28)				32.57	0.26	32.24
T 17 IŞIKLAR DUVAR HARCİ TÜM (28)		34.37	33.33	32.27	2.09	29.60
T 17 IŞIKLAR DUVAR HARCİ KÜPLERDEN-TÜM (113)		34.24	33.16	Tek Numune		28.19
T 17 IŞIKLAR DUVAR HARCİ KÜPLERDEN (325)		33.37	32.17	Tek Numune		27.34
T 17 IŞIKLAR DUVAR HARCİ SİLİNDİRLERDEN (325)				27.40	3.28	23.20
T 17 IŞIKLAR DUVAR HARCİ TÜM (325)		33.37	32.17	27.38	2.32	24.41

İkinci aşamada diyagonal basınç deneyi numuneleri hazırlanmıştır. Bu imalat yapılırken kullanılan harçtan da 6 adet 7 cm.'lik küp numune alınmıştır. Bu numuneler 28 ve 120 günlük iken denenmiş ve elde edilen sonuçlar eşdeğer silindir basınç dayanım değerlerine çevrilerek Tablo 5.2 de verilmiştir.

Tablo 5.2 Diyagonal Basınç numuneleri için hazırlanan harç numunelerinin deney sonuçları

Üretim Adı	deney verisi (gün)	Küp (70x70x70) Basınç Dayanımı [MPa]	Küp (150x150x150) Basınç Dayanımı [MPa]	Silindir Basınç Dayanımı [MPa]	Standart Sapma	DÜZELTİLMİŞ Silindir Basınç Dayanımı [MPa]
(75x75 cm) DUVAR HARCİ	KÜPLERDEN-TÜM (28)	20.37	19.49	19.75	2.49	16.57
(75x75cm) Duvar Harcı	KÜP-TÜM (120)	24.60	23.56	22.55	1.97	20.03

Son olarak da çerçeve numunesini dolgu duvarı yapılırken kullanılan harçtan alınan 2 adet silindir ve 3 adet 7 cm lik küp numuneler denenmiş ve elde edilen sonuçlar eşdeğer silindir basınç dayanım değerlerine çevrilerek Tablo 5.3 de verilmiştir.

Tablo 5.3 Çerçeve numunesi için hazırlanan harç numunelerinin deney sonuçları

Üretim Adı	deney verisi (gün)	Küp (70x70x70) Basınç Dayanımı [MPa]	Küp (150x150x150) Basınç Dayanımı [MPa]	Silindir Basınç Dayanımı [MPa]	Standart Sapma	DÜZELTİLMİŞ Silindir Basınç Dayanımı [MPa]
T 18 IŞIKLAR DUVAR HARCİ	KÜPLERDEN (28)	29.99	28.81	27.63	2.45	24.49
T 18 IŞIKLAR DUVAR HARCİ	SİLİNDİRLERDEN (28)	Tek Numune		25.28	0.00	25.28
T 18 IŞIKLAR DUVAR HARCİ	TÜM (28)	29.99	28.81	27.24	2.40	24.17
T 18 IŞIKLAR DUVAR HARCİ	KÜPLERDEN (426)	26.57	25.47	24.14	1.95	21.65
T 18 IŞIKLAR DUVAR HARCİ	SİLİNDİRLERDEN (426)	Tek Numune		23.54	0.00	23.54
T 18 IŞIKLAR DUVAR HARCİ	TÜM (426)	26.57	25.47	24.02	1.71	21.83

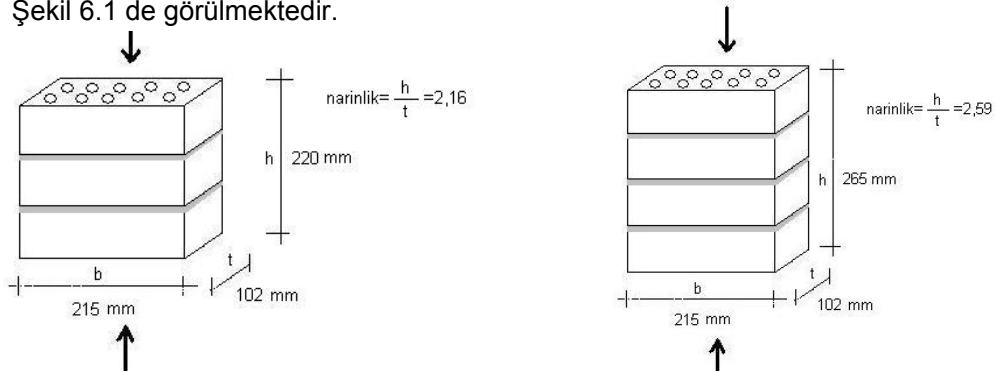
6. Sıralı Pres Tuğla Deneyleri

6.1 Amaç

Hazırlanan bu deney grubu ile tuğla ve harçtan oluşan duvar elemanlarında eksenel yük etkisinde dayanım, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, elastisite modülü ve göçme biçiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca 3 ve 4 sıralı pres tuğla deneylerinde artan narinliğin etkisi de gözlenmiştir.

6.2 Deney Elemanlarının Tanıtımı

Numuneler üç ve dört adet pres tuğlanın 10 mm kalınlıkta derz oluşturularak üst üste konmasıyla elde edilmiştir. Derzlerde kullanılan harcın bir bölümünün tuğla deliklerine girmiş olduğu deney sonunda görülmüştür. Numunelerin deney presinin alt ve üst yükleme kafalarına tam olarak temas etmesini sağlamak amacıyla başlık yapılmıştır. Üç sıralı numunelerin geometrik özellikleri ve yükleme doğrultuları Şekil 6.1 de görülmektedir.

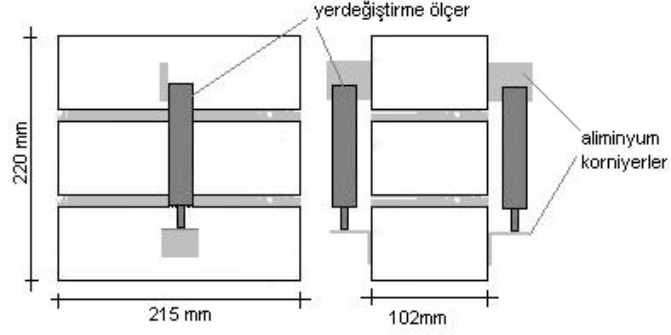


Şekil 6.1 Üç ve dört sıralı deney elemanları

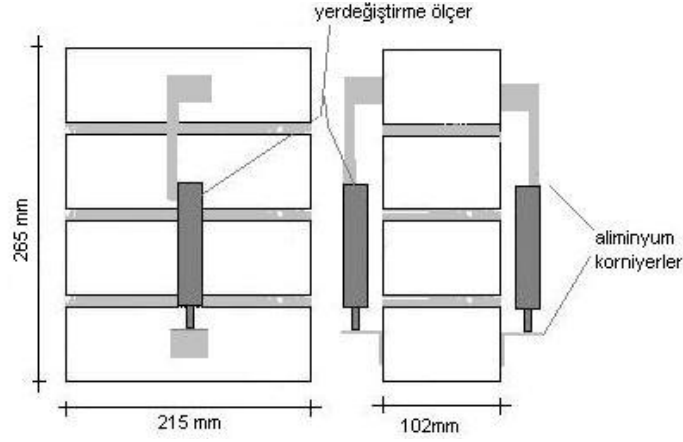
6.3 Yükleme ve Ölçüm Düzenekleri

Numuneler İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında denenmiştir. Numunelerde meydana gelen boy değişimini ölçmek üzere CPD-5 kodlu yer değiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yer değiştirme ölçerlerin ölçüm yapabilmesi için her iki yüzde, bir adet en üst tuğlaya bir adet de en alt tuğlaya yapıştırılmış toplam 4 adet alüminyum korniyer kullanılmıştır, (Şekil 6.2 ve 6.3). Alüminyum korniyerler tuğlalara epoksi ile yapıştırılmıştır. Yükleme presinin bünyesinde bulunan yük göstergesinde okunan yük değerleri kontrol amacıyla kullanılmış, gerçek yük ölçümü numune altına yerleştirilen 1000 kN luk elektronik yük ölçerle yapılmıştır. Yük ölçer ve yer değiştirme ölçerlerden gelen bilgiler veri işleyiciden geçtikten sonra eşzamanlı olarak biriktirilmekte ve bilgisayar ekranında grafik olarak görülmektedir. Şekil 6.4 te kullanılan pres ve numunenin prese yerleşmiş hali görülmektedir.

Numunelere 6 karakterden oluşan kod numarası verilmiştir. İlk 2 karakter tuğla türünü, ikinci iki karakter tuğla sıra sayısını, son iki karakter ise numune numarasını göstermektedir. Örnek PT 3S 01(pres tuğla 3 sıralı 1 no.lu) gibi.



Şekil 6.2 Üç sıralı deney numunesi için ölçüm düzeneği



Şekil 6.3 Dört sıralı deney numunesi için ölçüm düzeneği



Şekil 6.4 Üç Sıralı Tuğla Deneyi Yükleme Düzeneği

Numunelerde göçme yükünün yaklaşık %30'u seviyesine kadar üç kez yükleme boşaltma yapılmış, dördüncü yükleme göçme yüküne erişene kadar sürmüştür. %30 düzeyine kadar yapılan yükleme boşaltmalar, başlıklarda olabilecek ezilme etkilerini ortaya çıkarmak ve kararlı bir davranış biçimine ulaşmak için yapılmıştır.

Esas olarak gevrek bir davranış sergileyen numuneler, yükleme doğrultusunda oluşan düşey çatlakların genişlemesiyle göçmeye ulaşmıştır. Genel olarak numunelerin dış kısmındaki tuğla bölüm içerideki delikleri dolduran harç kısmından kabuk şeklinde ayrılmıştır. Bu durum Şekil 6.8, Şekil 6.11, Şekil 6.13 de belirgin şekilde görülmektedir. İlgili şekillerde tuğlanın deliklerine giren harç küçük sütunlar şeklinde görülmektedir. Bu sütunlar süreksizdir.

Her numunenin, deney veri dosyalarından Microsoft Excel programı kullanılarak yük-yer değiştirme ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerine geçilmiştir. Elastisite modülünün, gerilme – şekil değiştirme ilişkisinde en büyük gerilme σ_{max} ın %5 ve %35 ine karşılık gelen değerleri birleştiren doğrunun eğimi olduğu kabul edilmiş [5] ve her numune için hesaplanmıştır.

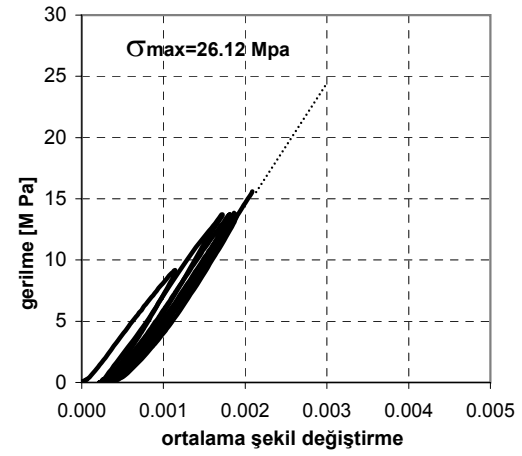
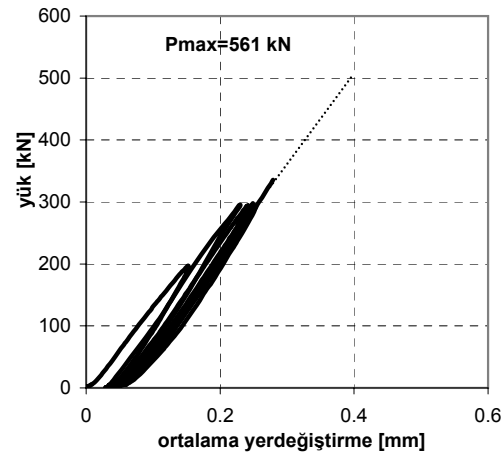
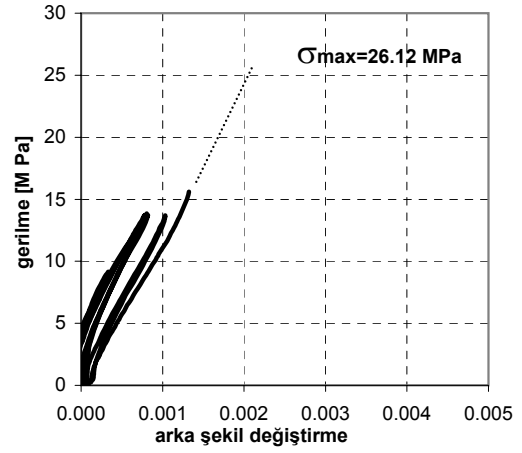
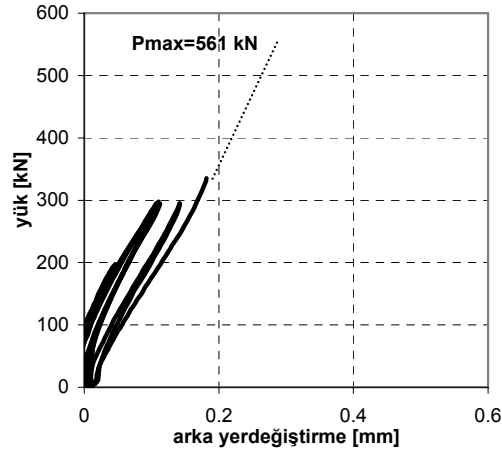
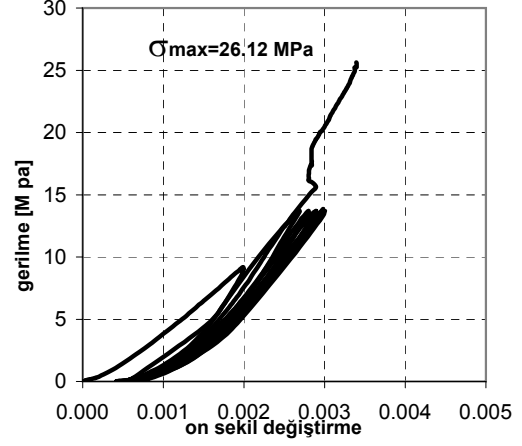
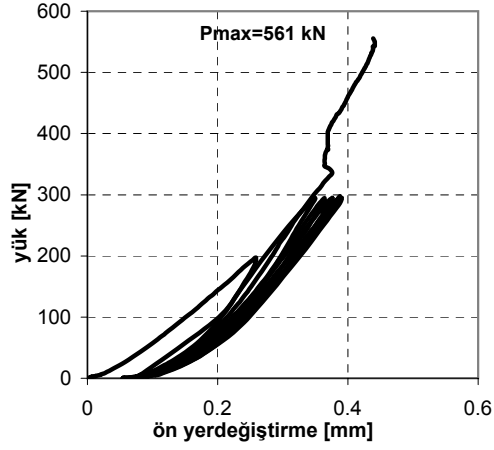
3 sıralı tuğla deneylerinde gözlenen göçme şekilleri 3, 4 ve 5 nolu numuneler için Şekil 6.5 , Şekil 6.6 ve Şekil 6.8 da sırasıyla verilmiştir.



Şekil 6.5 PT 3S 03 Numunesi Göçme Biçimi



Şekil 6.6 PT 3S 04 Numunesi Göçme Biçimi



Şekil 6.7 PT 3S 01'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri



Şekil 6.8 PT 3S 05 Numunesi Göçme Biçimi

3 sıralı pres tuğla deneylerinin sonuçları Tablo 6.1 de görülmektedir.

Tablo 6.1 3 Sıralı Pres Tuğla Numunelerinin Deney Sonuçları

Numune No	P_{max} [kN]	σ_{max} [Mpa]	Elastisite Modülü [Mpa]	ϵ
PT 3S 01	561	26.12	8513	0.002590
PT 3S 02	621	28.92	8372	0.004263
PT 3S 03	563	26.21	8968	0.002220
PT 3S 04	408	19.46	6000	0.003070
PT 3S 05	534	25.43	7538	0.002400
Ortalama	537.4	25.23	7878	
Standart Sapma	79	3.49	1170	

%90 güvenlikle ulaşılan ortalama basınç dayanımı 20.87 MPa ve elastisite modülü 6380 MPa dır.

4 sıralı tuğla deneylerinde gözlenen göçme şekilleri 1, 2 , 3, 4 ve 5 nolu numuneler için Şekil 6.9 , Şekil 6.10 ve Şekil 6.11 da sırasıyla verilmiştir.

Ayrıca numuneler için yük – yerdeğiştirme ve gerilme – şekil değiştirme grafikleri elde edilmiş ve Şekil 6.7, Şekil 6.12 ve EK A da verilmiştir.



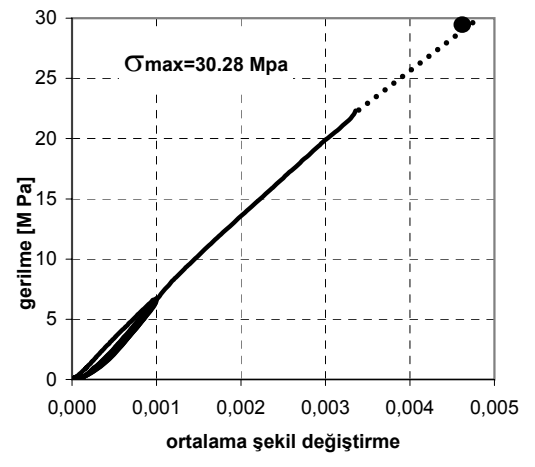
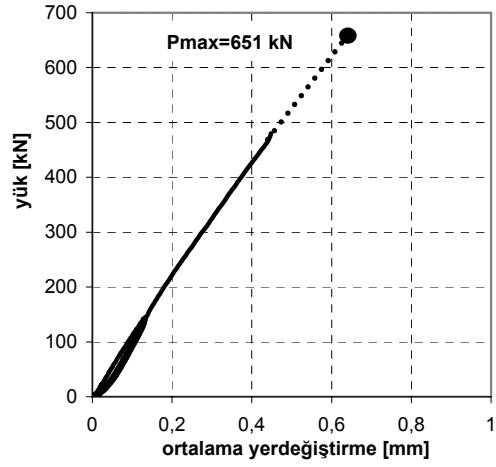
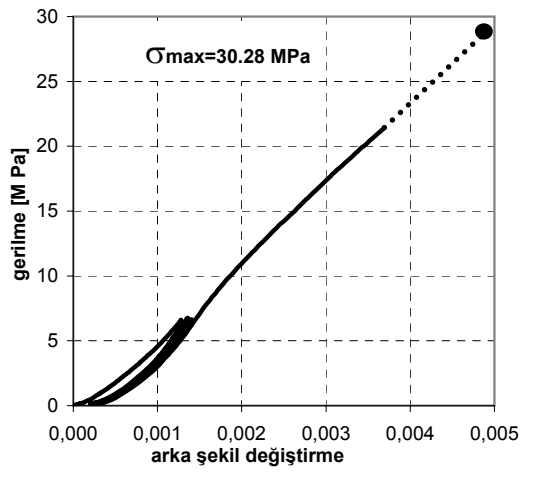
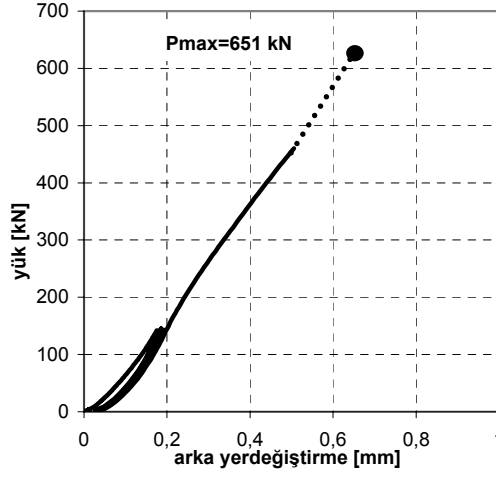
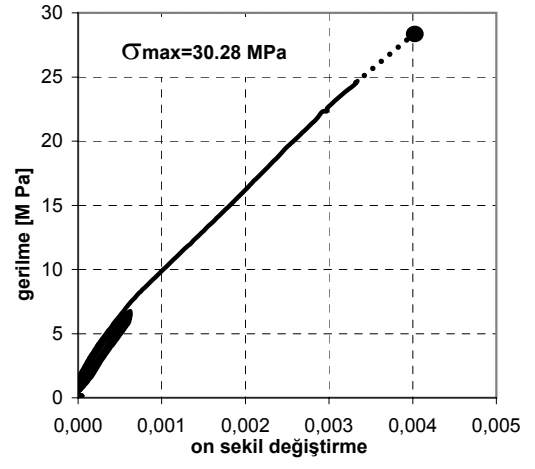
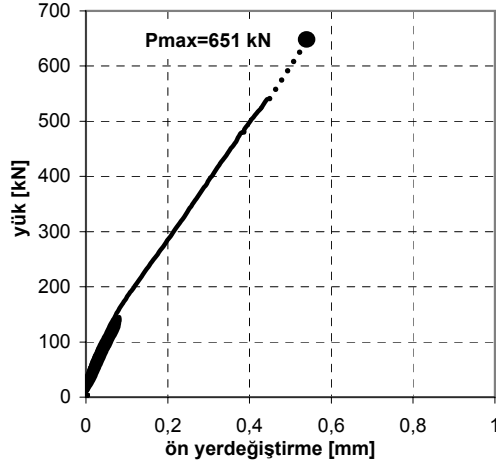
Şekil 6.9 PT 4S 01 Numunesi Göçme Biçimi



Şekil 6.10 PT 4S 02 Numunesi Göçme Biçimi



Şekil 6.11 PT 4S 03 Numunesi Göçme Biçimi



Şekil 6.12 PT 4S 01'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri



Şekil 6.13 PT 4S 04 Numunesi Göçme Biçimi



Şekil 6.14 PT 4S 05 Numunesi Göçme Biçimi

4 sıralı pres tuğla deneylerinin sonuçları Tablo 6.2 de görülmektedir.

Tablo 6.2 Dört sıralı pres tuğla deney sonuçları

Numune No	$P_{\max}$ [kN]	$\sigma_{\max}$ [Mpa]	Elastisite Modülü [Mpa]	ε
PT 4S 01	651	30,28	8071	0,005416
PT 4S 02	611	28,42	8252	0,003639
PT 4S 03	611	28,42	8190	0,004700
PT 4S 04	613	28,49	10383	0,002890
PT 4S 05	597	27,75	10727	0,006147
Ortalama	616.6	28,67	9124	
Standart Sapma	20.3	0,95	1313	

%90 güvenlikle ulaşılan ortalama basınç dayanımı 27,65 MPa ve elastisite modülü 7543 MPa'dır. Tüm basınç deneylerinden elde edilen elastisite modülü değerleri ele alındığında ise duvar elemanı için %90 güvenlikle kullanılacak elastisite modülü değeri 6781 MPa'dır.

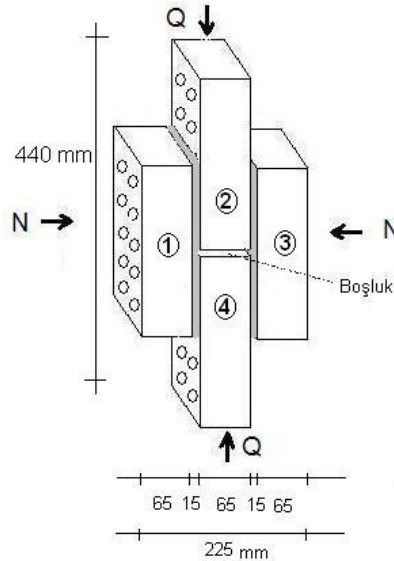
7. Kayma Deneyleri

7.1 Amaç

tuğla elemanlar arasındaki harç tabakasından olan değişik normal gerilme seviyelerinde kayma dayanımlarını belirlemek ve duvar elemanlarının davranışını incelemek, kayma gerilmesiyle kayma açısı arasındaki ilişki ile kayma dayanımını belirlemektir. Değişik normal gerilme düzeyleri için elde edilen $\sigma_{\max}$ ve $\tau_{\max}$ değerlerinden yararlanarak bu büyüklükler arasındaki bağlantı konusunda fikir edinmek ve karşılaştırmalar yapmak çalışmanın amaçları arasındadır.

7.2 Deney Elemanlarının Tanıtımı

Sabit normal gerilme ve değişken kayma gerilmesi etkisinde duvar elemanının davranışını incelemek üzere Şekil 7.1 de verilen deney elemanları üretilmiştir. Numunelere, ait olduğu deney seti, uygulanan normal kuvvet ve sıra numarasından oluşan bir kod numarası verilmiştir. Örneğin PTK 020 01 kodu numunenin Pres Tuğla olup, Kayma deneyinde kullanıldığını, 20 kN normal kuvvet altında denendiğini ve bu serideki 1 no'lu numune olduğunu göstermektedir.



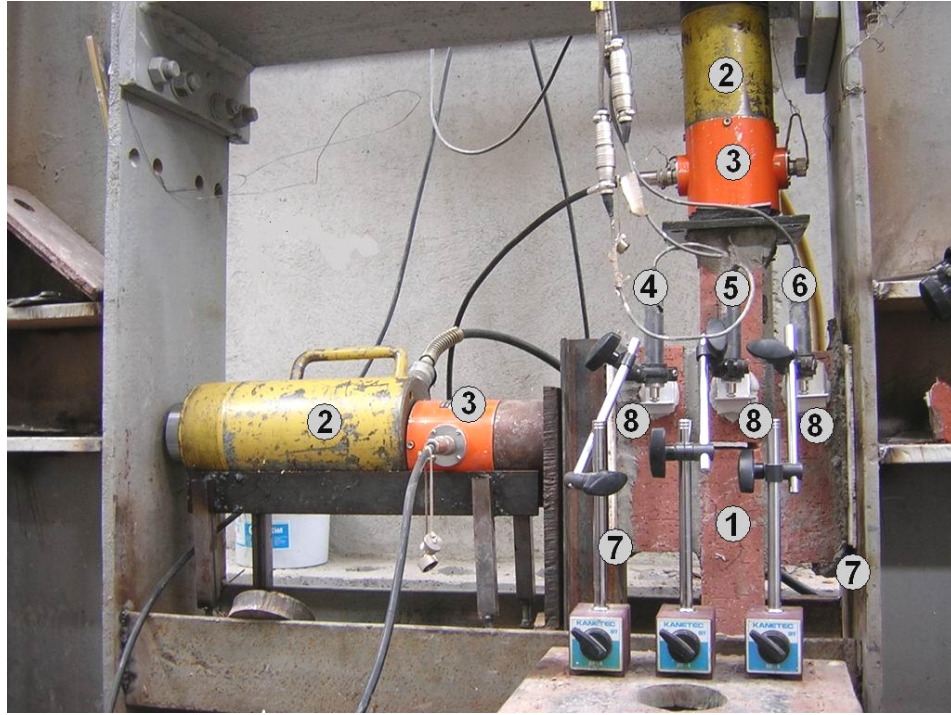
Şekil 7.1 Kayma Deneyinde Kullanılan Numune

7.3 Yükleme ve ölçüm düzenekleri

Numunelerin denenmesi için İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarındaki deney çerçevelerinden bir tanesi kullanılmıştır. Yükleme çerçevesi numune ve ölçüm düzeneklerinin kurulabileceği şekilde yeniden düzenlenmiş, mevcut bulonlu ve kaynaklı birleşimler, ulaşılacak yük düzeyleri için tahkik edilmiştir. Yükleme

çerçevesinin 500 kN luk normal kuvvet ve 200 kN luk kayma kuvvetini güvenle taşıyabileceği hesapla belirlenmiştir. Deneyde 2 adet yük ölçer ve 3 adet yer değiştirme ölçer kullanılmıştır. Normal kuvvet 1000 kN kapasiteli elektrik motorlu hidrolik krika ile verilmiştir. Kayma kuvveti ise 50 ton kapasiteli ve elle kontrol edilen hidrolik krika ile verilmiştir.

Yer değiştirme ölçerlere T1, T2, T3 isimleri verilmiştir.(Şekil 7.2 ve Şekil 7.3) Her yer değiştirme ölçer bir tuğlanın düşey hareketini kaydetmektedir. Düşey yer değiştirmeler arasındaki farklar da düşey derzler boyunca gerçekleşen kayma hareketlerine karşı gelmektedir.

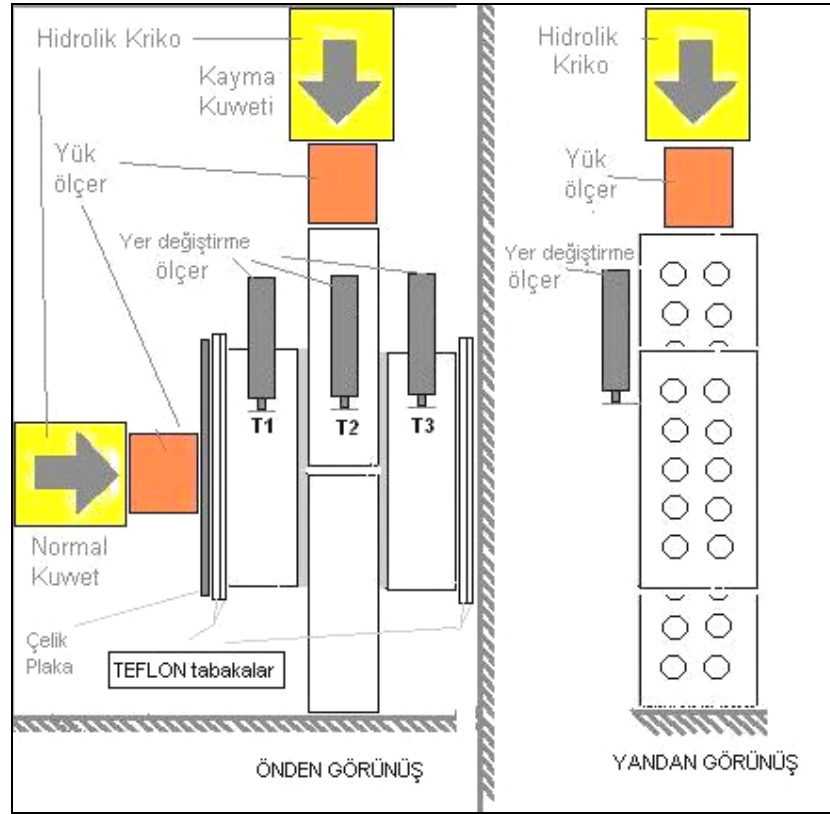


Şekil 7.2 Kayma Deney Düzenekği

Tablo 7.1 Kayma Deney Düzenekği Parçaları (bkz. Şekil 7.2)

No	Adı ve İşlevi
1	Kayma Deneyi Numunesi
2	Hidrolik Krikolar
3	Yük Ölçerler
4	T1 kodlu yer değiştirme ölçer
5	T2 kodlu yer değiştirme ölçer
6	T3 kodlu yer değiştirme ölçer
7	Sürtünmeyi azaltan teflon tabakalar (beyaz renkli)
8	Yer değiştirme okuma amacıyla yapıştırılmış Alüminyum

Numune birbirine dik iki doğrultuda yüklenmektedir. Kayma kuvveti numuneye yukarıdan düşey olarak uygulandığından, numuneyi aşağıya doğru hareket yapmaya zorlamaktadır. Fakat aynı anda numune üzerinde normal (yatay) kuvvet bulunmaktadır. Bu durumda kayma (düşey) kuvvetinin bir kısmı normal kuvvetin numune ile deney çerçevesi arasında ortaya çıkarttığı sürtünme kuvvetini yenmek için harcanmaktadır. Bu sürtünme kuvvetini en aza indirebilmek için numunenin normal kuvvete maruz kalan her iki yüzüne ikişer teflon plaka yerleştirilmiştir. Teflon hem dayanıklı hem de kayma direnci düşük bir malzeme olduğu için tercih edilmiştir. Deney düzeneği ve teflon plakaların yerleri şekil 7.3 de görülmektedir.



Şekil 7.3 Kayma deney düzeneği şematik gösterim

Eksenel kuvvet deney boyunca bilgisayara gelen eşzamanlı verilerle izlenmiş ve %10 tolerans ile sabit tutulmuştur.

Deney süresince T1, T2, T3 nolu yer değiştirme ölçerlerin verilerinden yararlanarak (T2-T1) ve (T2-T3) farkları devamlı olarak kontrol edilmiş ve numune bünyesinde simetrik bir hareket olup olmadığı izlenmiştir. Numunelerin büyük çoğunluğunda her iki kayma derzinde simetrik davranış gözlenirken bazı numunelerde işçilik hataları,

malzeme kusurları veya deney düzeneğinin yerleştirilmesi ve kurulmasındaki zorluklar nedeniyle simetrik olmayan davranış da elde edilmiştir.

Deneylerde kayma derzinde bozulma veya ayrılma, kayma derzi bozulmadan tuğlanın taşıma gücüne erişmesi ve ikisinin birlikte ortaya çıkması gibi farklı göçme biçimleriyle karşılaşılmıştır.

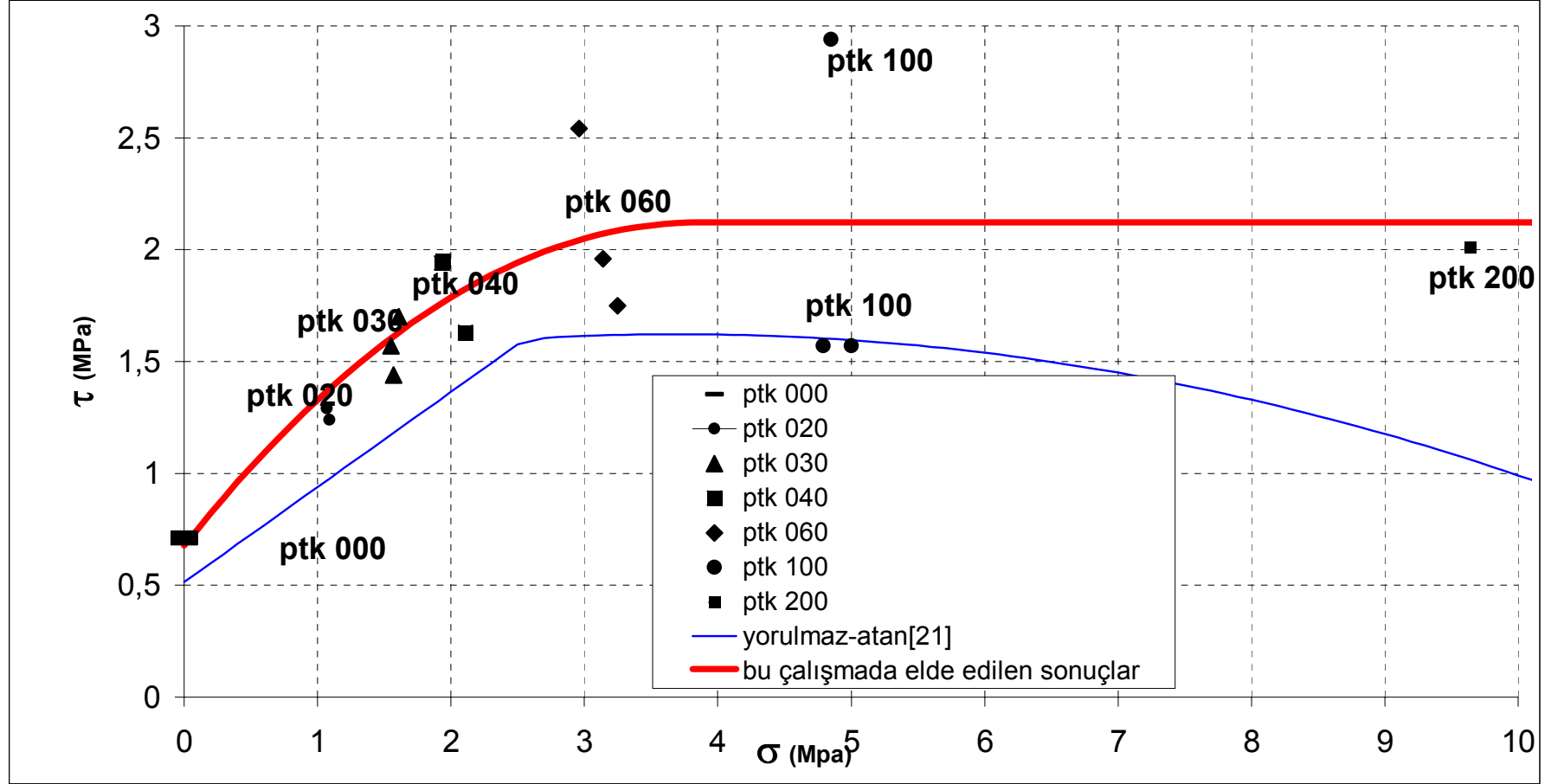
Elde edilen deney verileri kullanılarak bilgisayar ortamında yük-yer değiştirme ve gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Yük-yer değiştirme diyagramında yüke karşılık gelen (T2-T1) ve (T2-T3) değerleri iki ayrı grafik olarak verilmiştir.

Uygulanan Q kuvvetinin etkisi Şekil 5.1 de görülen numunedeki 2 no'lu tuğlanın alt yarısının her iki yanındaki (bu tuğlayı 1 ve 3 no'lu tuğlalara bağlayan) harç tabakasından aşağıya iletilmektedir. 2 nolu tuğlaya gelen yük 100mm x 100mm yüzeye sahip bu iki harç tabakasından iletilerek 4 no'lu tuğlaya etkimektedir. Bu sebeple kayma gerilmesi hesabında 2 no'lu tuğlanın etkili alanı olan $2 \times 100 \times 100 = 20000 \text{ mm}^2$ lik alan göz önüne alınmıştır. Böylece numuneye etkiyen kayma gerilmesi;

$$\tau = \frac{Q}{A_2} \quad (7.1)$$

olarak hesaplanmıştır. Şekil değiştirme boyu, yaklaşık olarak 205 mm. alınmıştır.

Tüm numunelerin normal kuvvet – kayma kuvveti ile ilgili gerilme değerleri bir araya getirilerek duvar elemanı için σ – τ grafiği elde edilmiştir. Şekil 7.4 te bu grafik görülmektedir. Mavi çizgi ile belirtilen grafik daha önce İTÜ'de Yorulmaz-Atan[21] tarafından yapılan benzer bir çalışmanın sonucudur.

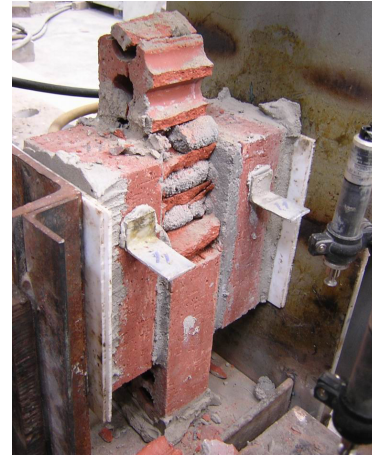


Şekil 7.4 Kayma Deneyinde Elde Edilen σ — τ Sonuçları

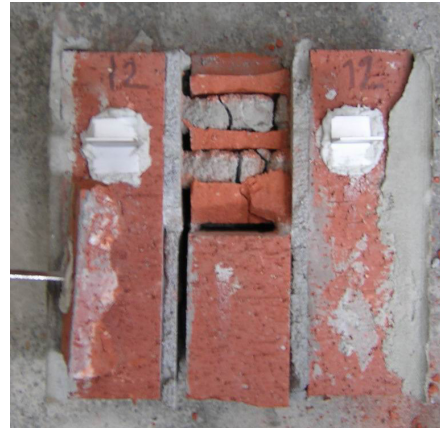
Kayma deneylerinde elde edilen göçme biçimleri Şekil 7.5 Şekil 7.6 Şekil 7.7 ve EK B de verilmiştir. Tüm numunelere ait yük – yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri Şekil 7.8 ve EK B de görölmektedir.



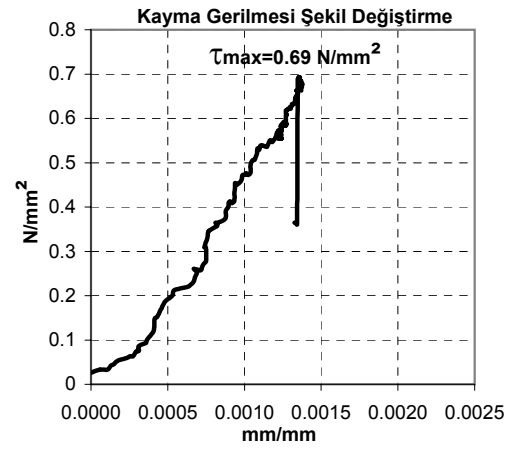
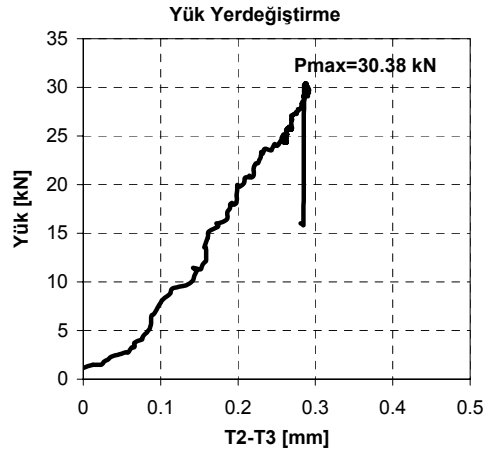
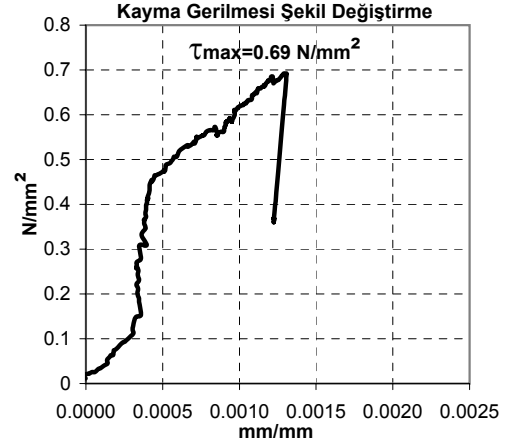
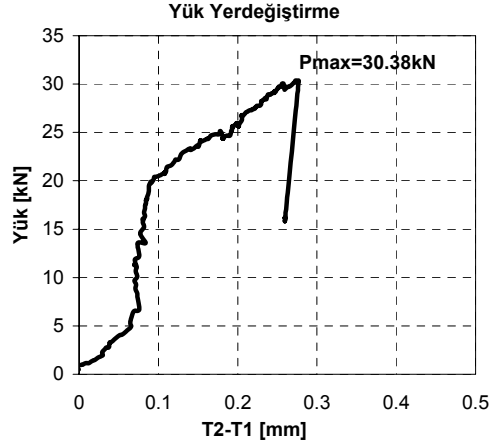
Şekil 7.5 PTK 000 02 Ve PTK 000 04 Numunelerinin Göçme Biçimi



Şekil 7.6 PTK 020 01 ve PTK 020 02 Numunelerinin Göçme Biçimleri



Şekil 7.7 PTK 030 02 ve PTK 030 03 Numunelerinin Göçme Biçimleri



Şekil 7.8 PTK 000 01 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri

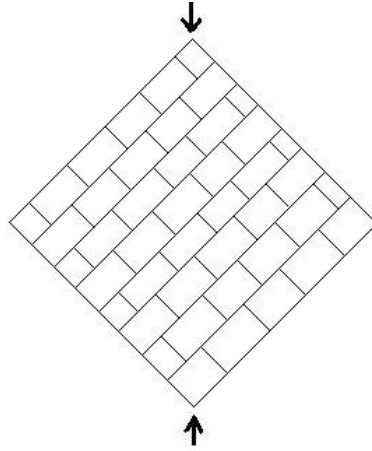
8. Diyagonal Basınç Deneyleri

8.1 Amaç

Belirli normal gerilme düzeyi için nominal kayma gerilmesi ile diyagonal kısalma ve buna dik doğrultudaki diyagonal uzamadan yararlanarak harç ve tuğladan oluşan duvar için eşdeğer eksenel çubuk dayanımını belirlemek.

8.2 Deney Elemanlarının Tanıtımı

Bu tip deneylerin ASTM E519-81 [2] standardında numune ölçüleri 1.2 m X 1.2 m olarak tanımlanmış olmakla birlikte, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'ndaki yükleme çerçevesi sınırlarından dolayı numune boyutları 75 cm. X 75 cm. olarak seçilmiştir. Deney numunesi ve yükleme yönü Şekil 8.1 de görülmektedir.



Şekil 8.1 Diyagonal Basınç Deneyi Numunesi ve Yükleme yönü

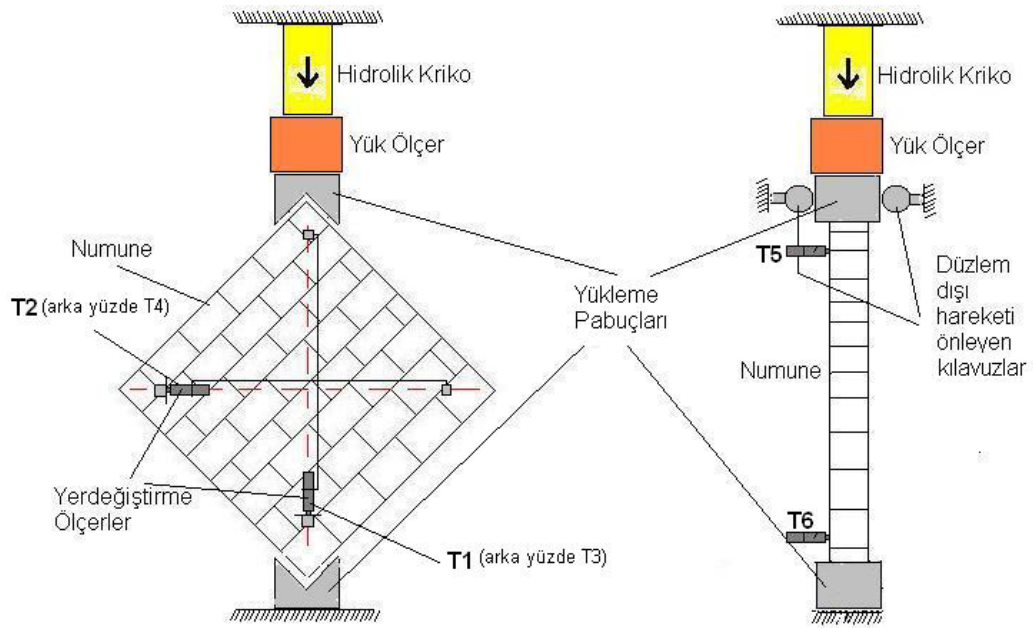
8.3 Yükleme ve ölçüm düzenekleri

Tekil yükün ve tepkisinin bölgesel etkilerinden numuneyi koruyabilmek ve köşelere yükü homojen olarak aktarabilmek için alt ve üstte yükleme pabuçları, numuneyi düşey konumda tutmaya dikkat edilerek yerleştirilmiştir. Numunenin düzlem dışına kaçmasını engellemek üzere üst metal başlığın her iki yanında kılavuz elemanlar kullanılmıştır. Yer değiştirme okumaları için 4 adet CPD-5 kodlu, 2 adet de CPD-10 kodlu yer değiştirme ölçer kullanılmıştır. Yükleme için 1000 kN kapasiteli hidrolik veren ve yük ölçer kullanılmıştır.

Yer değiştirme ölçerler numunenin her iki tarafında köşegen boyunca yerleştirilmiş ve epoksi ile numuneye yapıştırılmış rijit çubuklara bağlanmıştır. köşegenler doğrultusunda kaydedilen boy değişimleri ilk boylara bölünerek şekil değiştirmelere

geçilmiştir. Numunenin her iki tarafında yükleme doğrultusundaki yer değiştirmeleri saptayan yer değiştirme ölçerler T1, T3 olarak anılmaktadır, (Şekil 8.2).

Yükleme elastik bölgede 10 kN luk adımlarla 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Eşzamanlı olarak takip edilen yük – yer değiştirme eğrisinde eğim değişiminin gözlenmesinden itibaren yük artım adımları 5 kN' a düşürülmüştür. Her yükleme adımının sonunda çatlaklar izlenmiş ve kaydedilmiştir. Numunelerin hepsi düşey olarak oluşan çatlakların büyümesi ve numunenin düşey yük taşıma kapasitesine ulaşmasıyla ile göçmeye ulaşmıştır. Numunelerde kayma kuvvetlerinden dolayı göçme gözlenmemiştir.



Şekil 8.2 Deney Düzeneği

4 adet deney numunesinden elde edilen bazı sonuçlar Tablo 8.1'de verilmiştir.

Tablo 8.1 Diyagonal Basınç Deneyi Sonuçları

	PT-1-20	PT-2-20	PT-3-20	PT-4-20
Pmax [kN]	264	234	161	209
Max (T1 veya T3) [mm]	2.99	2.51	3.41	3.54
Max (T2 veya T4) [mm]	3.95	3.20	3.54	3.63
ϵ_{max} (T1 veya T3)	0.004744	0.003853	0.004726	0.004912
ϵ_{max} (T2 veya T4)	0.006557	0.005205	0.004934	0.005061
τ_{max} [Mpa]	2.24	2.00	1.38	1.79
γ_{max}	0.011300	0.009058	0.009659	0.009970

Numuneye harç tabakası düzleminde etkiyen kayma gerilmesi, τ ;

$$\tau = \frac{P_k}{A_k} \quad (8.1)$$

ifadesiyle elde edilmiştir. Bu eşitlikte P_k , numuneye etkiyen P tekil yükünün harç düzlemindeki bileşenidir. Numune kare biçiminde olduğundan;

$$P_k = \frac{P}{\sqrt{2}} \quad (8.2)$$

olarak alınmaktadır. A_k ise harç düzleminin alanı olup numunenin bir kenar uzunluğu(750 mm.) ile harç kalınlığının (100 mm.) çarpımına eşittir. Bu eşitlikten; $A_k=750 \times 100 = 75000 \text{ mm}^2$ bulunur.

Kayma açısı, γ ise her iki yöndeki (yere dik olan kısalma ve yere paralel olan uzama) şekil değiştirmelerin toplamıdır.

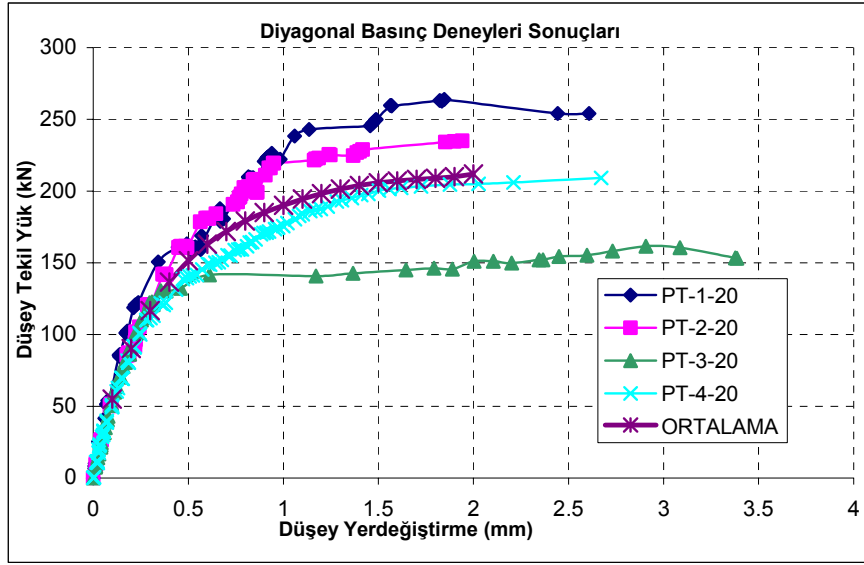
Her numune için τ – γ ilişkisi bulunmuştur. Bu sonuçlar ve 4 numune için bulunan ortalama τ – γ eğrisi Şekil 8.4 de verilmiştir.

Elde edilen τ – γ eğrileri kullanılarak duvar numunesi için kayma modülü bulunmuştur. Bu eğrilerde maksimum kayma gerilmesinin %5 ve %35 ine karşılık gelen kayma açıları işaretlenmiş, bu noktaları birleştiren doğrunun eğimi kayma modülü olarak kullanılmıştır [5].

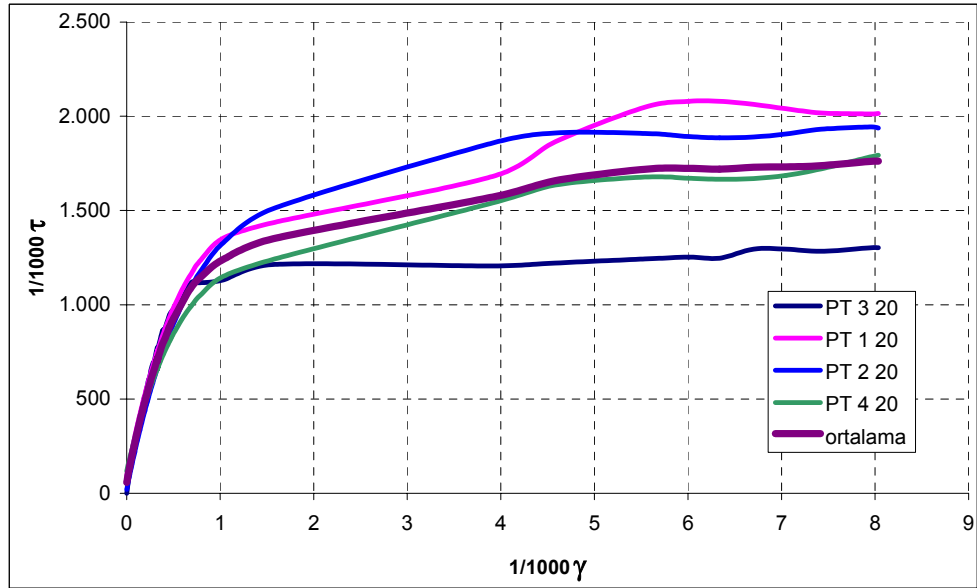
4 numuneden elde edilen kayma modülleri kullanılarak duvar numunesi için %90 güvenlikle kullanılabilecek kayma modülü değeri hesaplanmıştır. Tablo 8.2 de bu değerler verilmiştir. Deney sonuçlarının düşey tekil yük - düşey yer değiştirme ilişkisi ve 4 numunenin ortalama eğrisi ise topluca Şekil 8.3 de görülmektedir.

Tablo 8.2 Diyagonal Basınç Deneyinden Elde Edilen Kayma Modülü

Numune Kodu	τ – γ eğrilerinden elde edilen Kayma Modülü [MPa]
PT 1 S 20	2128
PT 2 S 20	1785
PT 3 S 20	2508
PT 4 S 20	1832
Ortalama	2063
Standart Sapma	333
%90 güvenlikle kullanılabilecek kayma modülü	1637

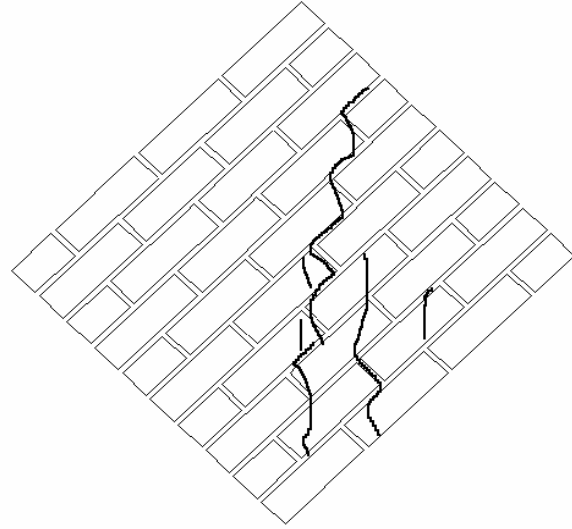
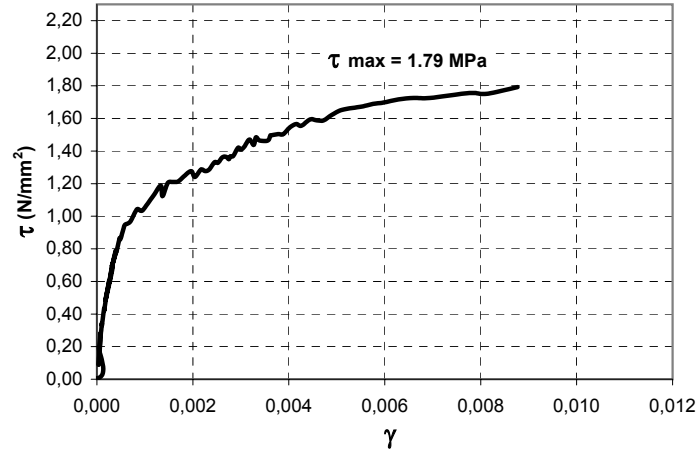
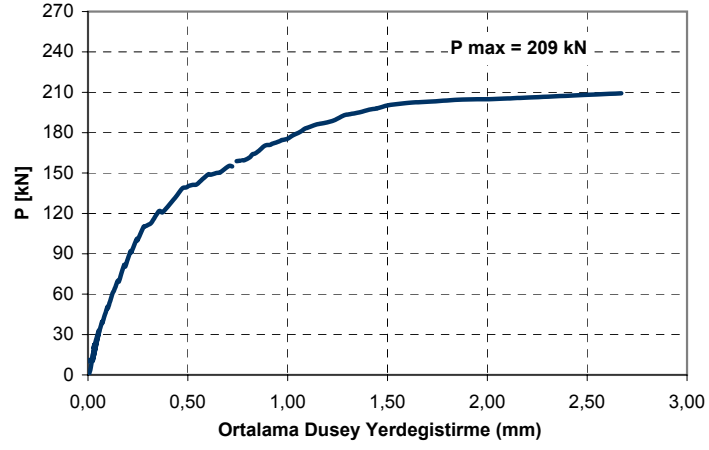


Şekil 8.3 Diyagonal Basınç Deneyi Sonuçları

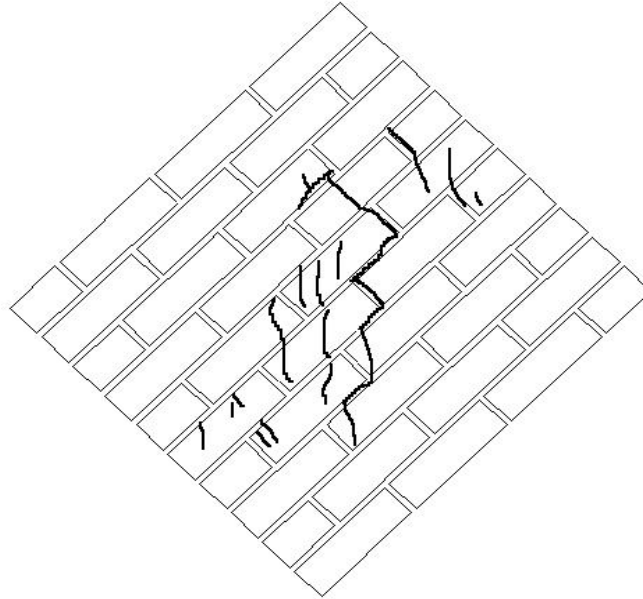
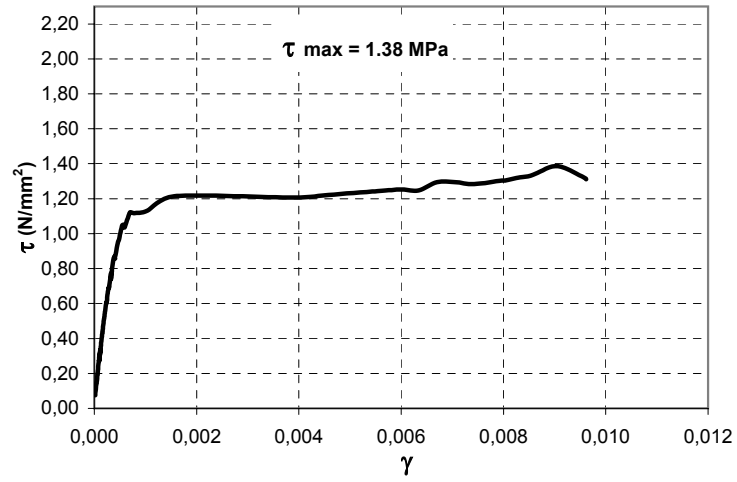
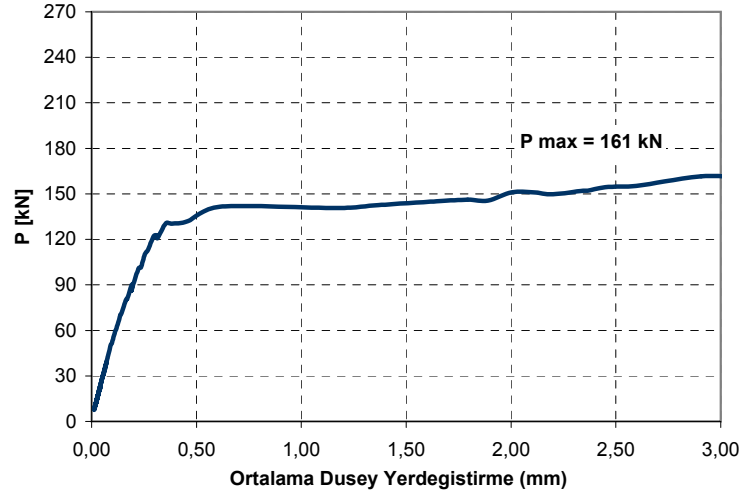


Şekil 8.4 Diyagonal Basınç Deneyi Numunelerinin $\tau - \gamma$ ilişkisi

Her numune için şekil 8.3 ve şekil 8.4 deki grafikler ayrı ayrı çizilmiş ve göçme durumundan hemen önceki durum için hasar durumu verilmiştir. Bu grafikler Şekil 8.5, Şekil 8.6 ve EK C de görülmektedir.



Şekil 8.5 PT 4 20 yük yerdeğiştirme ve gerilme kayma açısı göçme anından hemen önceki hasar durumu



Şekil 8.6 PT 3 20 yük yerdeğiştirme ve gerilme kayma açısı göçme anından hemen önceki hasar durumu

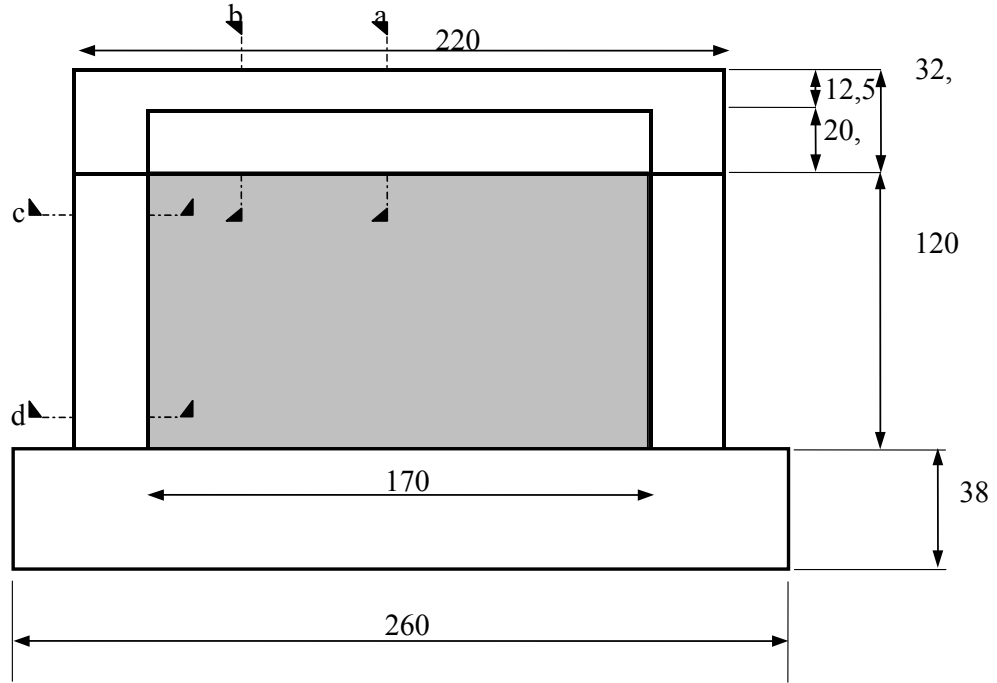
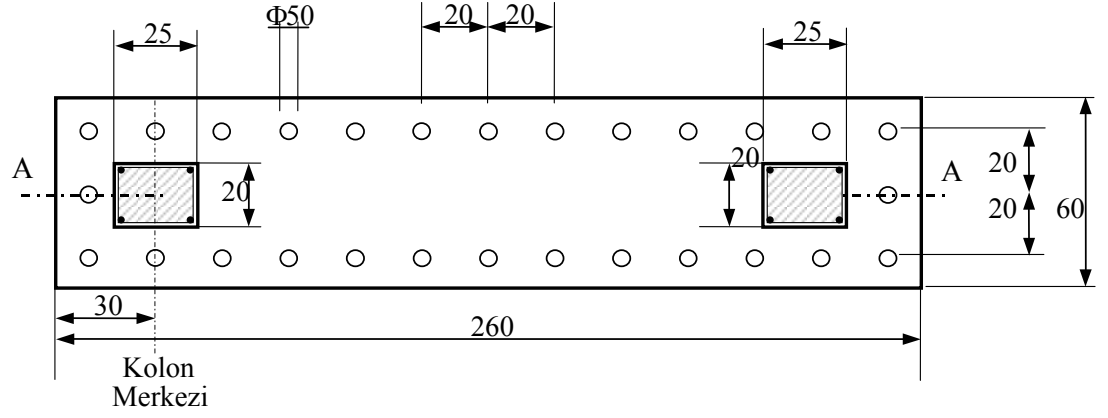
9. Özel Bölme Duvarlı Çerçeve Deneyleri

9.1 Amaç

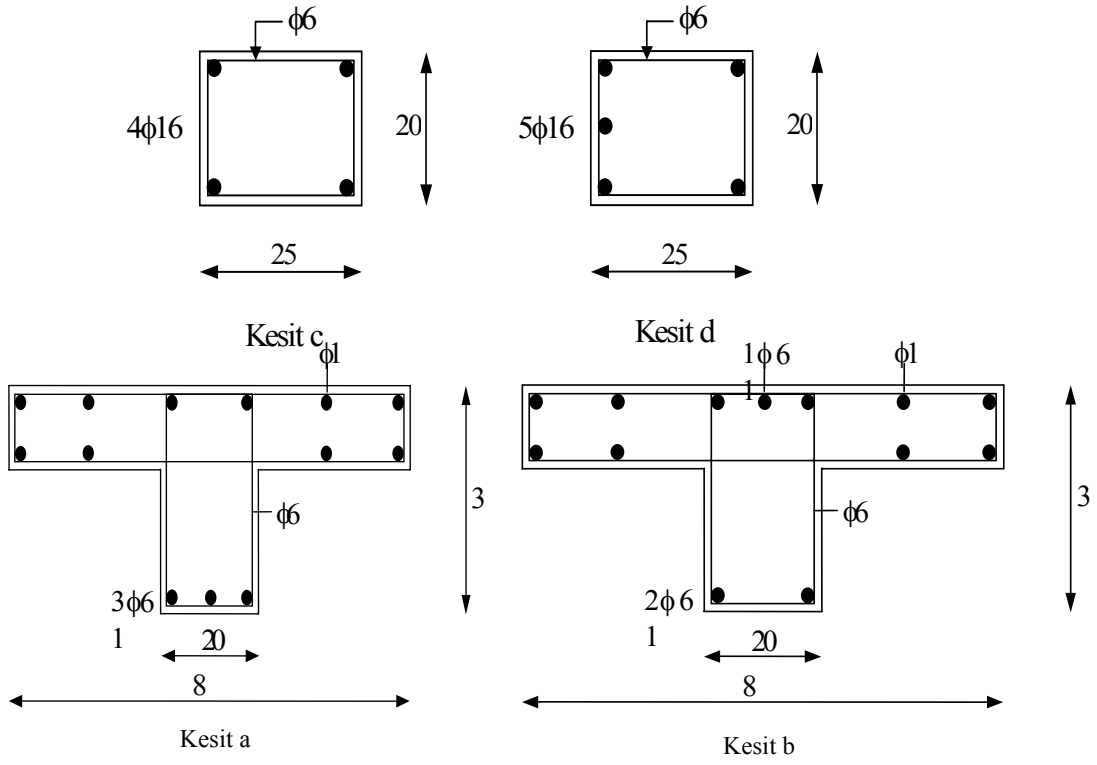
Bu deneyin amacı, betonarme çerçeve içinde tuğla duvarın denenmesidir. Duvarın ve çerçevenin bir sistem olarak çalışabilmesi için duvar betonarme çerçeve elemanlarına ankre edilecektir. Bu haliyle numunenin tersinir ve tekrarlı yatay yükler altında davranışı incelenecek ve yatay yük taşıma kapasitesi daha önce Yüksel (20) tarafından yapılan çıplak çerçeve deneyi ile karşılaştırılacaktır.

9.2 Deney Elemanlarının Tanıtımı

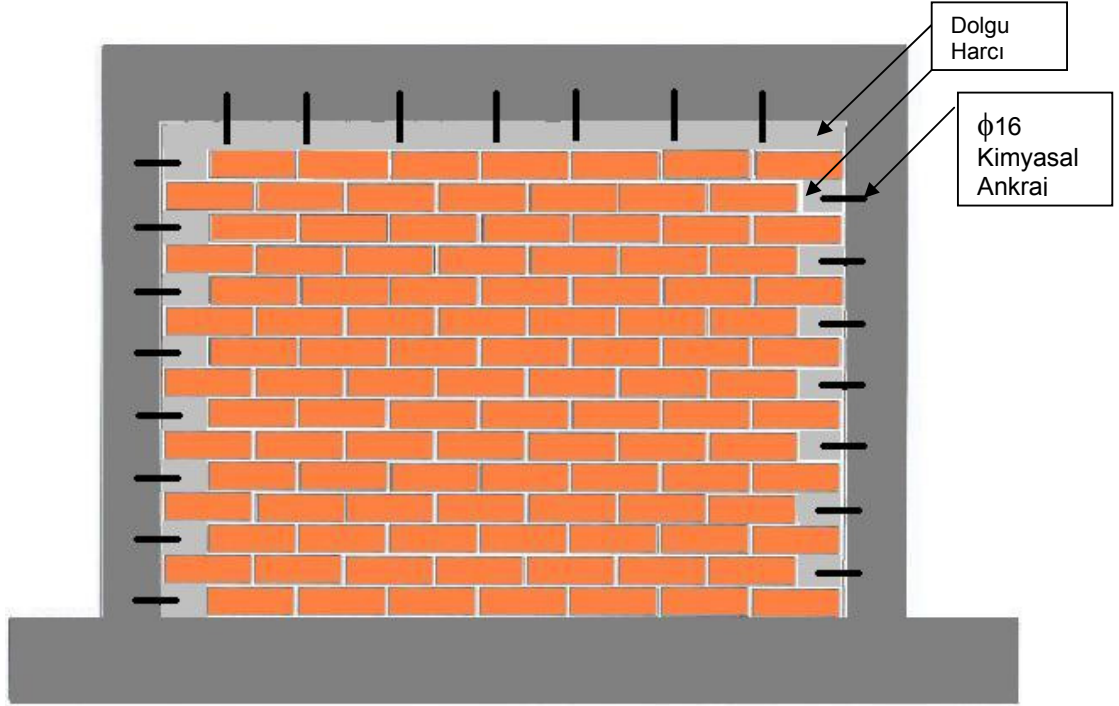
Deneyde bir adet ½ ölçekli betonarme çerçeve, boşluk kısmına yüksek basınç dayanımlı tuğla duvar örülerek yatay yükler etkisinde denenmiştir. Duvarın betonarme kolonlara temas eden yüzeylerinde düşey doğrultuda birer tuğla atlayarak çerçeveye, 16mm çaplı düz demirden 15 cm uzunluğunda kimyasal ankrajlar yapılmış ve çerçeve ile duvarın mümkün olduğunca beraber çalışarak bir sistem davranışı sergilemesi öngörülmüştür. Ankrajın olduğu bölgeler daha sonra duvarın örülmesinde kullanılan harç ile doldurularak duvarla bütünleşme sağlanmıştır. Ankrajların numune üzerindeki yerleri Şekil 7.4 de görülmektedir. Betonarme çerçeve İTÜ Yapı ve Deprem Laboratuvarında kullanılan standart bir çerçevedir. Bu numunede kullanılan beton C18, donatı çelikleri ise BÇ I kalitesindedir. Çerçevenin boyutları, donatı şeması ve kesit özellikleri Şekil 9.1, ve 9.2 de verilmiştir.



Şekil 9.1 Numune ile İlgili Geometrik Özellikler



Şekil 9.2 Kesit Özellikleri Ve Donatıları



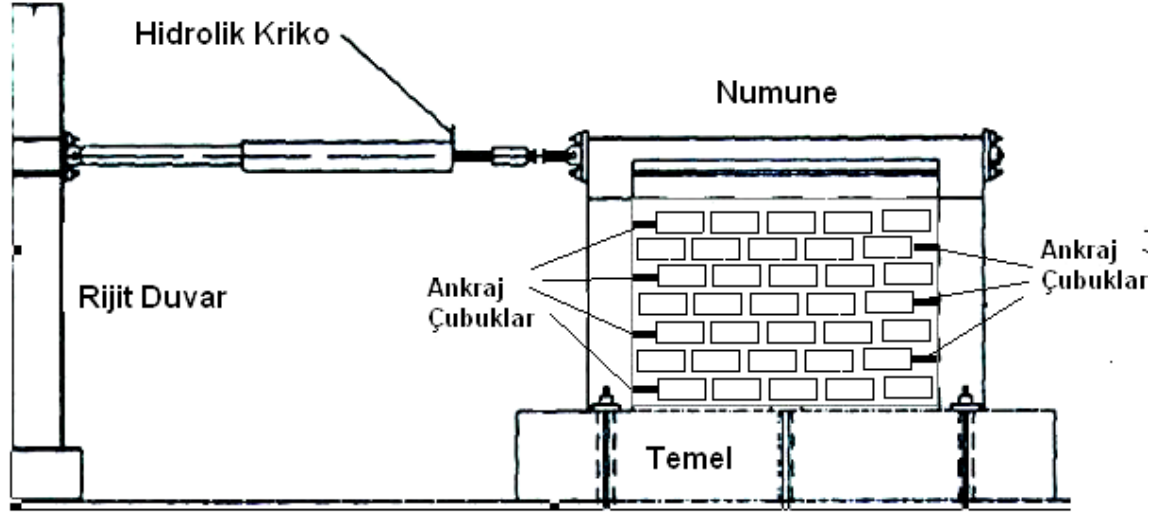
Şekil 9.3 Çerçeveye yapılan Ankrajlar ve aradaki dolgu harcı
Numunenin yerleşimi, yükleme elemanı ve yer değiştirme ölçerlerin konumları Şekil 9.4 de görülmektedir.



Şekil 9.4 Çerçeve Deneyi Numunesi (yükleme ve ölçüm düzenekleriyle birlikte)

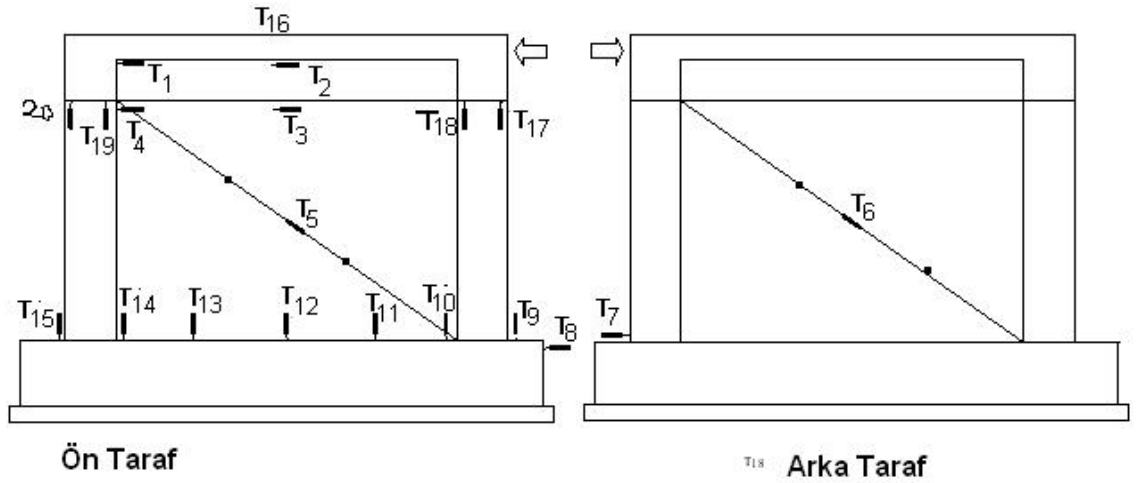
9.3 Yükleme ve Ölçüm Düzenekleri

Numune rijit olan laboratuvar tabanına çelik bulonlarla tespit edilmiştir. Kiriş hizasında hidrolik krikolar vasıtasıyla itme ve çekme verilmiştir. Bu deneyde 2 adet MTS marka hidrolik kriko kiriş eksenine paralel şekilde yük verecek biçimde yerleştirilmiştir (Şekil 9.4). Tek bir kriko 250 kN itme-çekme ve 300mm yer değiştirme kapasitelidir ve bilgisayarla kontrol edilmektedir.



Şekil 9.5 Deney Kurulumu

Numunenin çeşitli yerlerinde toplam 20 adet değişik hassaslıklarda yer değiştirme ölçer kullanılmış ve veriler bilgisayarda toplanmıştır. Yer değiştirme ölçerlerin düzeni ve nerelere yerleştirildikleri Şekil 7.6 de görülmektedir.



Şekil 9.6 Yerdeğiştirme Ölçerlerin Numunedeki Yerleri

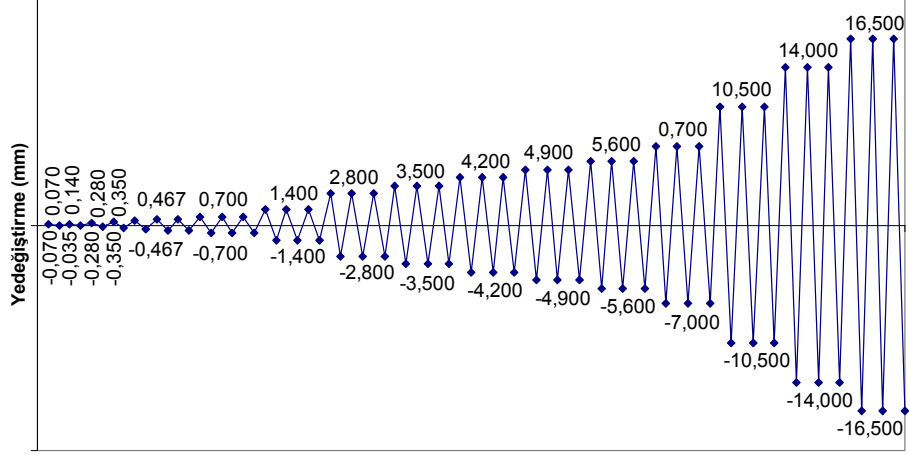
Yer değiştirme ölçerlerin tipi, kullanım tipi ve mesnetlenme koşulları tablo 9.1 de özetlenmiştir.

Tablo 9.1 Kullanılan Yer Değiştirme lerlerle İlgili Bilgiler

No	Tipi	Kullanım Yeri	Mesnetlenme
T1	CDP50	Tepe Yerdeğiştirme	Dış Ortam
T2	CDP25	Tepe Yerdeğiştirme	Dış Ortam
T3	CDP25	Duvar Yerdeğiştirme	Dış Ortam
T4	CDP25	Kolon Yerdeğiştirme	Dış Ortam
T5	CDP5	n apraz	Numune
T6	CDP5	Arka apraz	Numune
T7	CDP5	ereve telenme	Dış Ortam
T8	CDP5	Tüm Sistem telenme	Dış Ortam
T9	CDP10	Sağ Kolon Alt Dönme	Numune
T10	CDP10	Sağ Kolon Alt Dönme	Numune
T11	CDP25	Duvar Dönme	Numune
T12	CDP25	Duvar Dönme	Numune
T13	CDP25	Duvar Dönme	Numune
T14	CDP10	Sol Kolon Alt Dönme	Numune
T15	CDP10	Sol Kolon Alt Dönme	Numune
T16	CDP5	Düzlem Dışı	Dış Ortam
T17	CDP10	Sağ Kolon st Dönme	Numune
T18	CDP10	Sağ Kolon st Dönme	Numune
T19	CDP25	Sol Kolon st Dönme	Numune
T20	CDP25	Sol Kolon st Dönme	Numune

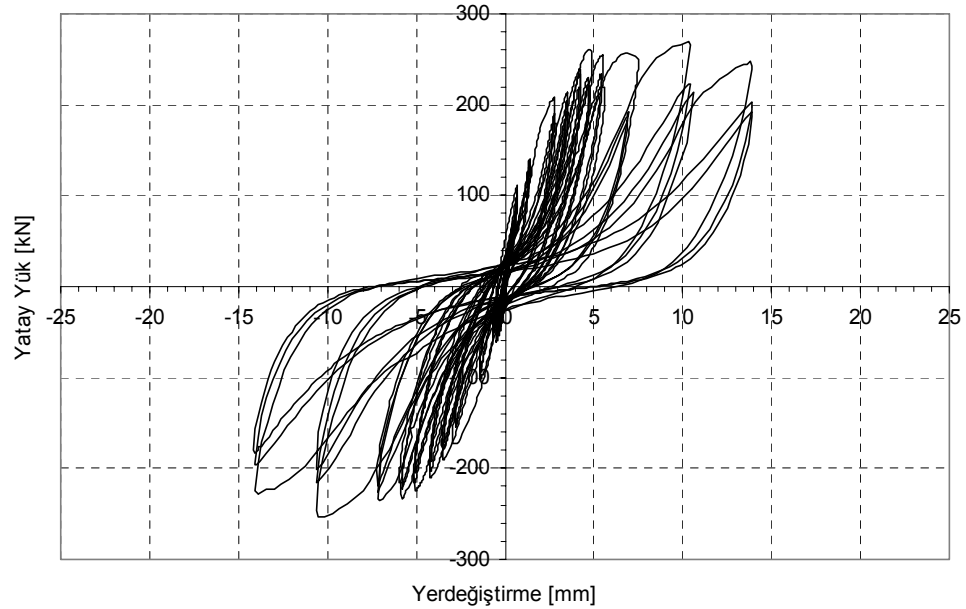
Bu deney yerdeğiştirme kontrollü olarak çalıştırılan hidrolik veren vasıtasıyla numuneye yatay yönde tatbik edilmiştir. Her yerdeğiştirme seviyesi üç kez tekrarlanmıştır. Deneyde kolon üstlerinden numuneye sabit normal kuvvetler

etkitilmemiştir. Önceden belirlenen tepe yer değıştirme düzeylerinde bu şekil değıştirme durumlarına karşılık yükler okunmuş, oluşan çatlaklar tespit edilmiş ve bu şekilde göçme gerçekleşene kadar deneye devam edilmiştir. Yükleme ile ilgili yerdeğıştirme çevrimleri Şekil 9.7 de görölmektedir.

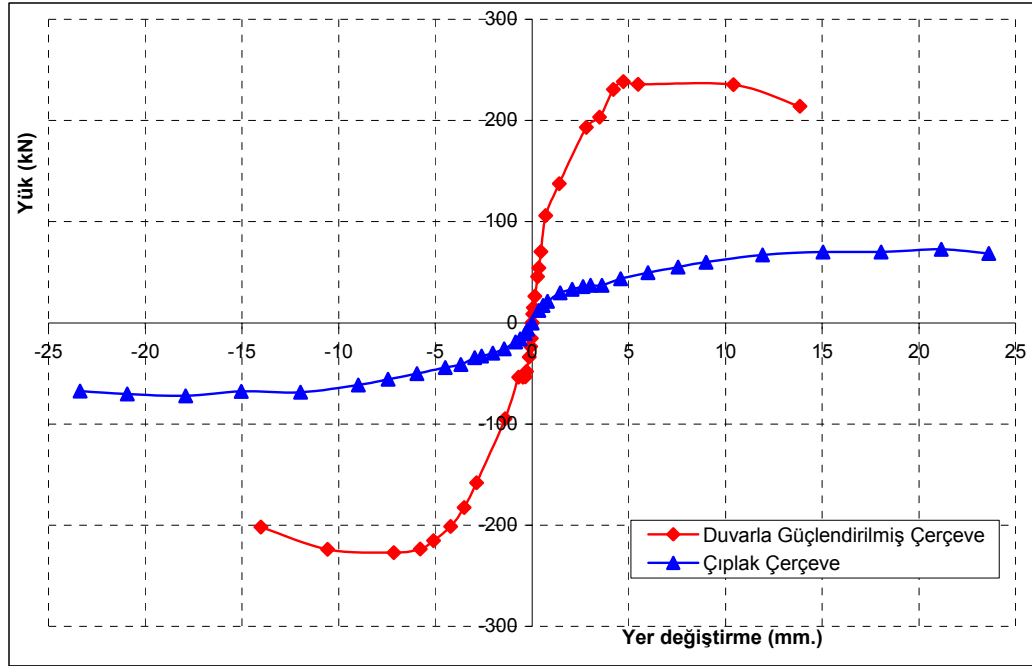


Şekil 9.7 Yatay Yük Yükleme Çevrimleri

Şekil 9.8’de deney sonunda elde edilen yatay yük - tepe yerdeğıştirmesi ilişkisi verilmiştir. Şekil 9.9’de yatay yük – tepe yerdeğıştirme eğrisinden hareketle elde edilen zarf eğrisi verilmektedir. Aynı grafiğe ayrıca benzer yapısal özellikler taşıyan ve aynı türden yerdeğıştirme çevrimleri etkisinde bırakılan çıplak çerçevenin de zarf eğrisi (20) konularak sistem davranışına özel bölme duvarın katkısı karşılaştırmalı olarak ortaya konmaktadır.



Şekil 9.8 Çerçeve Numunesinin Yük – Yerdeğıştirme Eğrisi

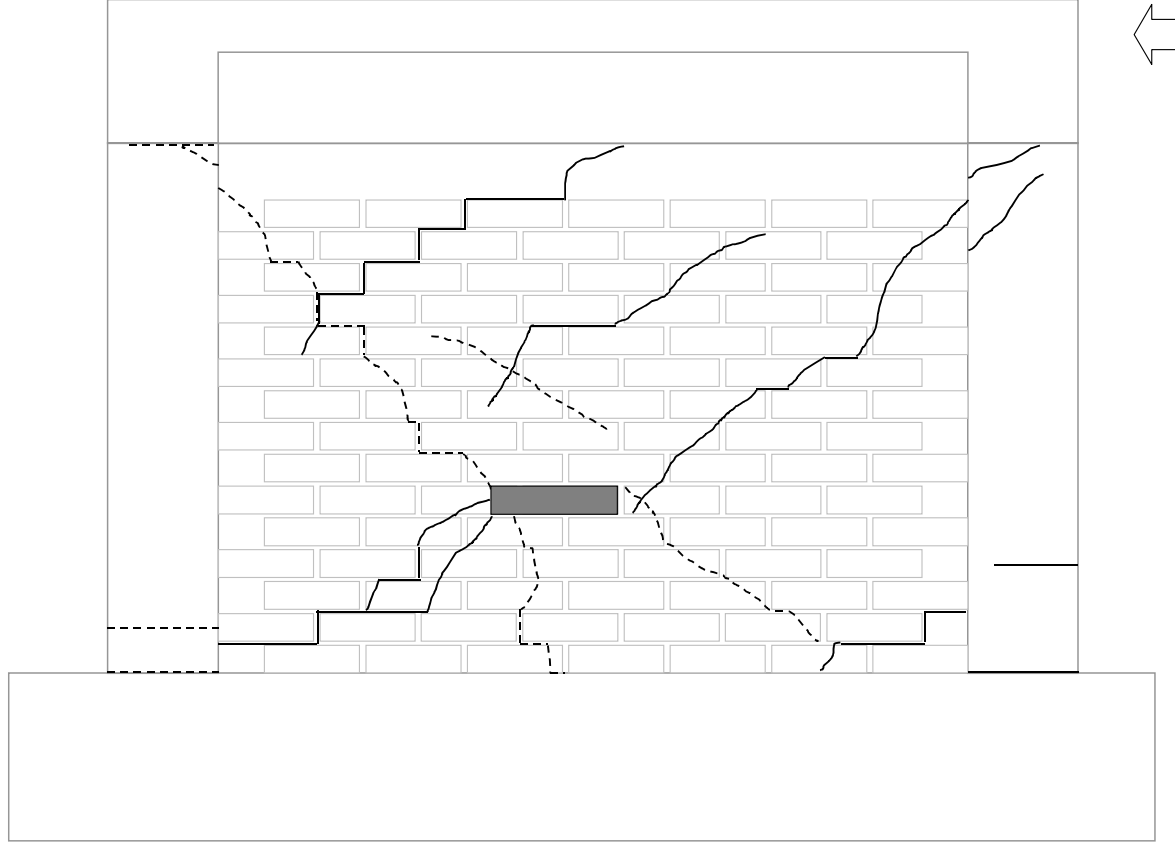


Şekil 9.9 Çıplak Çerçeve ve Duvar ile Güçlendirilmiş Çerçevenin Yük Yer değiştirme Zarf Eğrileri

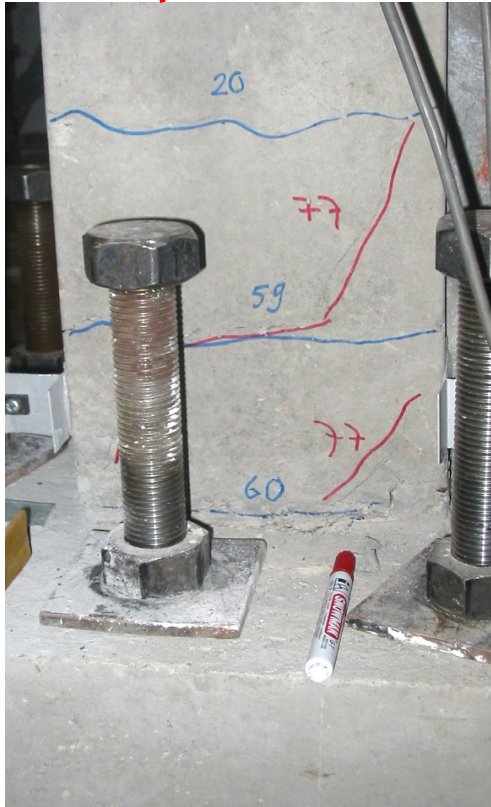
Şekil 9.9 da da görülen grafikler incelendiğinde çıplak çerçevenin yaklaşık olarak 75 kN da limit taşıma yüküne ulaştığı ve 25 mm kadar yerdeğiştirme yapabildiği buna karşılık özel bölme duvarlı çerçevenin yaklaşık 250 kN civarında limit yüke ulaştığı buna karşılık en fazla 13mm civarında tepe yerdeğiştirmesi yapabildiği görülmektedir.

Numunede gözlenen hasar durumu genel olarak Şekil 9.10'da verilmektedir. Şekil 9.10'da numunede itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar detaylı olarak çizilmiştir.

İtme yönünde ulaşılan en büyük yük 265 kN, çekmede ise 254 kN'dur. 0.467 mm'lik çevrimin itme adımı sağ kolon üst bölgesinde kayma çatlağı meydana gelmiştir. Bu adımda yük 70 kN'dur. Panelde meydana gelen ilk diyagonal çatlak çekme adımı 2.8 mm'lik çevrimde meydana gelmiştir. Bu sırada yük 173 kN'dur. Birbirini takip eden itme adımlarının 4.9 mm ve 5.6 mm'lik çevrimlerinde peş peşe paralel diyagonal çatlaklar meydana gelmiştir. Yük seviyeleri sırasıyla 261 kN ve 254 kN'dur. 5.6 mm'lik çevrimin çekme adımı ise sol kolon üst ucunda kayma çatlağı meydana gelmiştir. Yük 233 kN'dur. Sağ kolon üst ucunda ikinci kayma çatlağı 7 mm'lik çevrimin itme adımı meydana gelmiştir. Yük 256 kN'dur. Duvar itme maksimum 3 mm, çekmede ise 7 mm yer değiştirme yapmıştır.



Şekil 9.10 Numunede Göçme durumunda oluşan çatlaklar
(Düz Çizgi İtme, Noktalı Çizgi Çekme)



Şekil 9.11 Deney Sonrasında Numunede Oluşan Çatlaklar

10. Kuramsal Çalışma

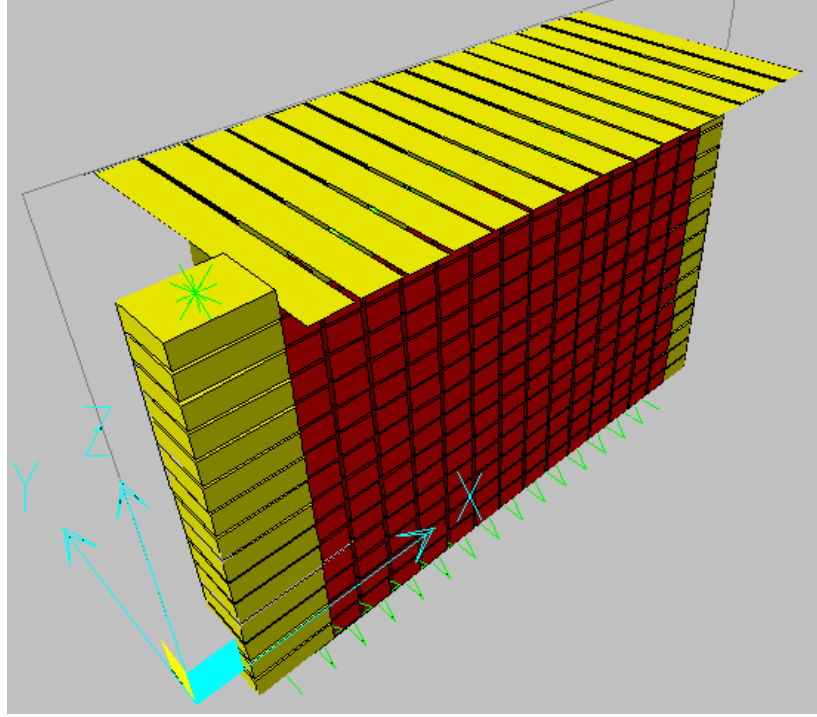
Ulaşılan deneysel sonuçları matematik bir modelle de teorik olarak açıklayabilmek üzere bölme duvarlı düzlem çerçeve, sonlu elemanlar ile modellenerek incelenmiştir. Bölüm 9 da ele alınan düzlem çerçeveye karşılık gelen matematik model SAP2000 “**Structural Analysis Program**” programı ile incelenmiştir. Çalışma biri ayrıntılı biri basitleştirilmiş iki ayrı model üzerinde yürütülmüştür.

10.1 Birinci Model

Düzlem çerçeveyi meydana getiren betonarme kısım; çubuk elemanlar, pres tuğladan oluşan duvar ise kabuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Bu kabuk elemanlar içinde harç ve tuğla fazları bulunan sanal elemanlardır. Betonarme çerçeveyi oluşturan kolon ve kirişin malzemesi için izotropik özellikte beton, kabuk elemanların tanımlanması için de ortotropik malzeme özellikleri kullanılmıştır. Hazırlanan matematik model perspektif olarak Şekil 10.1 de görülmektedir.

Modelde kullanılan kolon 200 x 250 mm boyutunda dikdörtgen, kiriş ise tablalı kesitli prizmatik eleman olarak seçilmiş ve Şekil 9.2 deki geometrik özelliklere göre tanımlanmıştır. Kabuk elemanlar da gerçeğinde olduğu gibi 10 cm kalınlığında tanımlanmıştır.

Deneyde, duvar, betonarme elemanlara ankrajla bağlandığı için eleman düğüm noktaları serbest bırakılmamıştır. Hazırlanan matematik modelde sınır şartı olarak kolon tabanlarında ankastre, duvar altında ise mafsallı birleşim kullanılmıştır. Deneydeki deplasman kontrollü etkiyi benzetebilmek ve için kiriş elemanını oluşturan sonlu elemanlar deplasman tanımlanabilecek şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 10.1 Matematik Modelin Perspektif Olarak 3 Boyutlu Görünümü

Beton ve tuğla için girilen malzeme özellikleri Tablo 10.1 de özetlenmiştir.

Tablo 10.1 Beton Ve Tuğlanın Malzeme Özellikleri

	Beton	Tuğla	
Elastisite Modülü [MPa]	27 500*	Y yönü	X yönü
		6781	4272
Poisson Oranı [v]	0.200	0.220	0.167
Kayma Modülü [MPa]	11458.33	1637	

*TS 500(18) de C18 beton için verilen Elastisite modülü değeri

Tuğla malzemesi için girilen y yönündeki elastisite modülü değeri Tablo 6.1 ve 6.2 deki 10 adet Elastisite modülü değerinin ortalamaları ve standart sapma değerlerinden yola çıkılarak %90 güvenlikle kullanılabilecek değer olan 6380 MPa olarak alınmıştır. Bu değerden yola çıkarak ve denklem (3.13)ü kullanarak;

$$E_x = 0.63 \times E_y \quad (3.13)$$

E_x =4272 MPa olarak bulunmuştur. Y yönündeki poisson oranı için, (v_{yx}) Bölüm 6 da incelenen diyagonal çekme deneylerindeki birbirine dik yöndeki

şekil değiştirmelerin birbirine oranı olan 0.22 değeri alınmıştır. v_{xy} değeri ise anizotropik malzemelerde geçerli olan ;

$$E_x \times v_{yx} = E_y \times v_{xy} \quad (10.2)$$

eşitliği yardımıyla 0.167 olarak bulunmuştur.

Tuğla malzemesi için programa girilecek olan kayma modülü, Bölüm 6 da ele alınan deneyin sonuçlarının verildiği Tablo 8.2 deki “%90 güvenlikle kullanılabilecek olan kayma modülü” satırından alınarak programa girilmiştir.

Ayrıca tuğla elemanın malzeme yönünden lineer olmayan özelliğini modelde yansıtmak ve uygun olan durumlarda kullanmak üzere diğer zellikleri “Tuğla” kabuk elemanıyla aynı, kayma modülleri farklı, 2 farklı kabuk eleman tanımlı daha yapılmış ve bu elemanlar deneyin değişik safhaları için değiştirilen modelde uygun yerlerde kullanılmıştır.

Bu amaçla “T12” adıyla bir kabuk eleman tanımlanmış ve kayma gerilmesi 1.1 MPa – 1.4 MPa olan elemanları temsil etmek için kullanılmıştır. Diyagonal basınç deneylerindeki sonuçlara göre bu aralıktaki gerilme için τ – γ grafiğinin eğimi yaklaşık olarak 300 MPa dır.

Yine “T14” adıyla bir kabuk eleman tanımlanmış ve kayma gerilmesi 1.4 MPa – 2 MPa olan elemanları temsil etmek için kullanılmıştır. Diyagonal basınç deneylerindeki sonuçlara göre bu aralıktaki gerilme için τ – γ grafiğinin eğimi yaklaşık olarak 100 MPa dır.

Kayma gerilmesi değeri 2 MPa’yı geçen elemanlar modelde “X” elemanıyla değiştirilmiştir. “X” kabuk elemanı, rijitliği çok düşük seçilen fiktif bir elemandır ve taşıma özelliğini yitiren elemanları temsil etmek ve matematik modeli değiştirmemek için kullanılmıştır. X elemanı ayrıca maksimum çekme gerilmesi (f_{ctk}) değerine ulaşan elemanları temsil etmek için de kullanılmıştır. Tuğla eleman için bu değer TS500 deki

$$f_{ctk} = 0,35 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (10.3)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Duvar elemanı için basınç dayanımı ortalama 27 MPa’dır. Bu değer 10 adet 3 ve 4 sıralı numunenin σ_{max} değerlerinden elde edilmiştir, (Tablo 6.1 ve 6.2).

Buna göre duvar elemanı için çekme gerilmesi, bir yaklaşım olmak üzere $f_{ctk}=1,81$ MPa olarak belirlenmiştir. Model, her yerdeğiştirme aşamasında çekme kuvvetleri açısından incelenmiş ve bu değere ulaşan elemanlar “X” tipi olarak tanımlanan elemana dönüştürülmüştür.

Ayrıca deney numunesinde tuğla duvar ile kirişin arasını doldurmak için kullanılan harcı temsil etmek için “H” kodlu kabuk eleman da modele eklenmiştir. “H” için Elastisite modülü 20 000 MPa, poisson oranı 0.2, malzeme de izotropik malzeme olarak seçilmiştir.

Buna ilaveten betonarme kolonda kullanılmak üzere “CAT” elemanı eklenmiştir. Bu eleman da betonarme kolondaki çatlamış kesiti temsil etmektedir. “CAT” çubuk elemanın EI değerini temsil etmek için, malzeme Elastisite modülü bu beton için çatlamış kesitin elastisite modülü olarak alınmıştır.

10.2 Varsayımlar

Yerdeğiştirme artımlarıyla gerçekleştirilmiş olan çerçeve deneyinde, açılan çatlaklara isabet eden sonlu elemanların model çalışmasına katkıları minimum olacağı düşünülerek bu bölgedeki elemanlar “X” elemanı ile temsil edilmiştir. Bu eleman 1 MPa basınç dayanımı olan fiktif bir elemandır.

Hazırlanan matematik modelde sınır şartı olarak kolonlar tabanında üç bağlı, duvarı temsil eden noktalar ise iki bağlı sayılmışlardır.

Harç ve tuğla elemandan oluşan bölme duvarı elemanı için eşdeğer elastik karakteristikler kullanılmış, bunlar, benzer duvar panellerinden deneysel çalışmalarla üretilmiş ek deney sonuçlarına dayandırılmıştır. Deneysel çalışmalardan üretilmiş olan bölme duvarı elemanına ait maksimum çekme gerilmesi değerine ulaşan elemanlar “X” olarak değiştirilmiştir. Ayrıca $\tau - \gamma$ bağıntılarına başvurularak o yükleme aşamasındaki gerilme düzeyine karşı gelen kayma modülü matematik modele eklenmiştir.

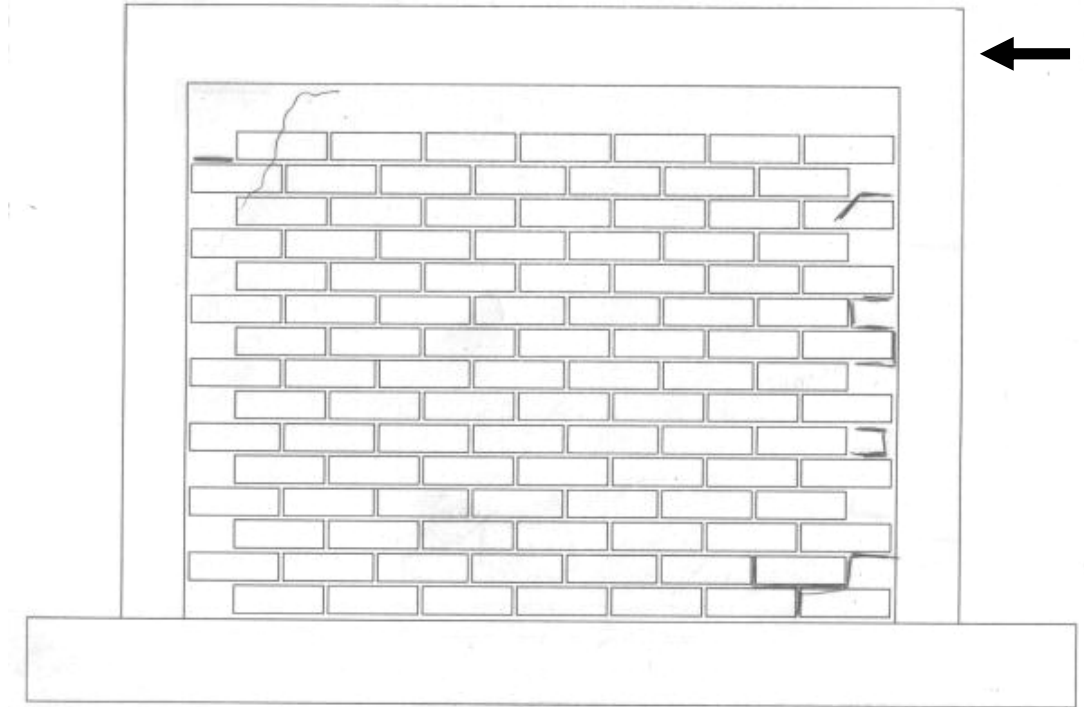
Yükler, deneysel çalışmada iki yönlü yer değiştirmeler uygulanarak yapılmaktadır. Ancak malzeme yönünden lineer olmayan bölgedeki yatay yük çözümlemelerinde, tek yönlü artan yatay yerdeğiştirmeler esas alınmıştır. Bu nedenle esas alınan yatay yük doğrultusunda yükleme yapıldığında ortaya çıkan çatlaklar göz önünde bulundurularak çalışılmış, diğer yöndeki yükler etkisinde oluşan çatlakların, bu yükleme aşamalarında kapanmış olduğu varsayılmıştır.

Yaklaşık olarak sürdürülen doğrusal olmayan hesaplarda, bölme duvarı elemanları ile çerçevedeki betonarme elemanlar arasındaki bağ kuvvetleri için bir üst sınır seçilmiş, bağ kuvvetlerinin bu sınıra ulaşmasına kadar bağlantının sürdüğü, bu sınıra ulaştıktan sonra ise ortadan kalktığı varsayılmıştır.

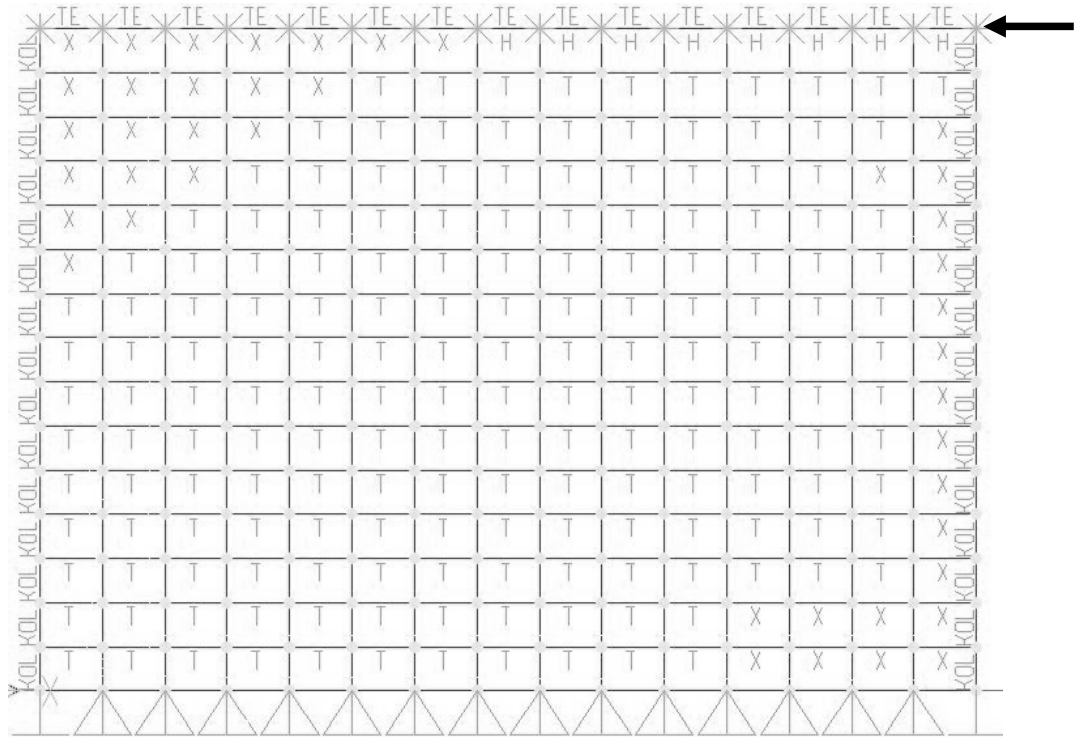
Deneyisel çalışma sırasında her deplasman çevrimi düzeyinde saptanmış olan çatlaklar, yerleri ve büyüklükleri ile bir önceki adımda ulaşılan doğrusal olmayan hesap sonuçlarına bağlı gerilme düzeyleri göz önünde tutularak bir sonraki yükleme adımında kullanılarak matematik model belirlenmiştir. Buna göre modeldeki çatlamış veya öngörülen yük sınırını aşan elemanlar yerine rijitliği çok düşük elemanlar (X kabuk elemanı) kullanılmış ve hesaba devam edilmiştir.

10.3 Modelin Kullanılması

$\delta=0.292$ mm. yer değiştirme halinde deney numunesindeki çatlaklar Şekil 10.2 de, bu durum için hazırlanan matematik modeli oluşturan sonlu elemanlar Şekil 10.3 de görülmektedir. Şekilde “KOL” ile kolonlar ve “TE” ile kiriş, “T” ile duvar elemanı, “H” ile duvar ile kirişin arasını doldurulmakta kullanılan harç, “X” ile çatlamış veya taşıma kapasitesinin üzerine çıkmış olan duvar elemanları temsil edilmiştir.



Şekil 10.2 $\delta=0.292$ mm. seviyesinde deneyde görülen çatlaklar.



Şekil 10.3 0,292 mm. Yer Değiştirme İçin Hazırlanan Matematik Modelde Eleman Tipleri

Model $\delta=0.292$ mm yer değiştirme seviyesinde deney numunesinde oluşan çatlaklara denk gelen kabuk elemanların “X” elemanı olarak tanımlanmış, kiriş üzerindeki noktalara 0.292 mm yerdeğiştirme verilmiş, model çalıştırılarak karşı gelen taban kesme kuvveti deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu durum için modelde okunan karşı gelen kuvvet 48.21 kN, deney sonucu ise 46 kN dur. Diğer yer değiştirme seviyesinde oluşan çatlaklar ve bunlardan yola çıkılarak oluşturulan modellerin bir kısmı Ek D de verilmiştir.

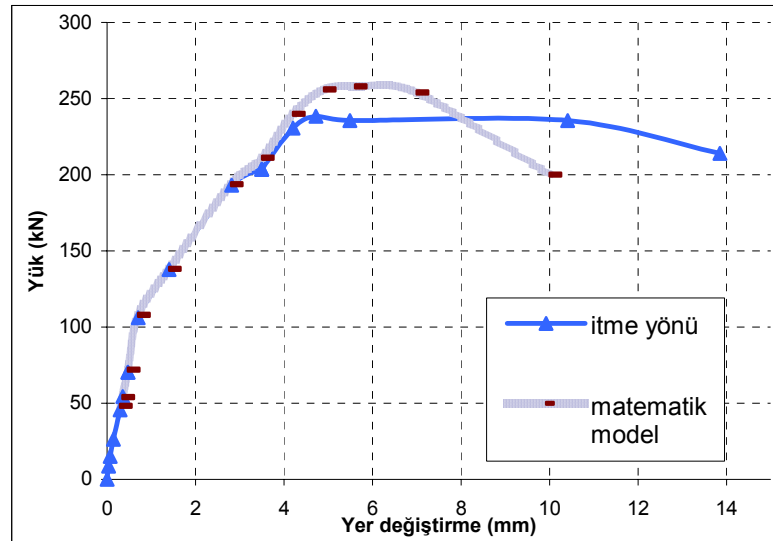
Bu modellerin çalıştırılmasından elde edilen sonuçlar Tablo 10.2 de özetlenmiştir.

Tablo 10.2 Matematik Model ve Deneyde Elde Edilen Sonuçlar

Yer değiştirme δ (mm)	Matematik Modelde Karşı Gelen Kuvvet (kN)	Deneyde Karşı Gelen Kuvvet (kN)
0.292	48.21	46
0.350	53.9	54
0.467	72	70.4
0.700	107.8	106
1.400	138.2	137
2.800	193.65	193
3.500	211	203
4.200	240	230
4.900	256	238
5.600	258	235
7.000	254	235
10.000	200	235

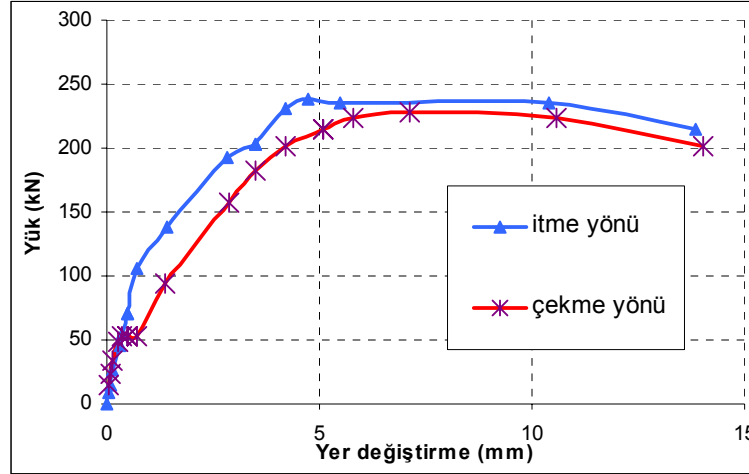
Deneyin itme yönü ve matematik model sonuçları Şekil 10.4 de belirtilmiştir.

Bölüm 6,7 ve 8’de de bulunan sonuçların, duvarı temsil eden sonlu elemanların malzeme karakteristikleri olarak tanımlandığında deneydeki hasar durumu da yansıtılarak yapılan icralardan çıkan sonuçlara göre, özel bölme duvarlı betonarme çerçevenin limit yükünün bulunması için yapılacak bir matematik modelde kullanılabileceği görülmüştür.



Şekil 10.4 Matematik Model Deney Kıyaslaması

Şekil 10.5 de deneyin itme ve çekme yönleri pozitif eksen takımında çizilmiştir. İki eğrinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Böylece yapılan matematik modelin negatif yönü de yansıttığı söylenebilir.



Şekil 10.5 Deneyin itme ve çekme yönlerinin aynı eksen takımındaki durumu

10.4 İkinci Model

Özel dolgu duvarlı betonarme çerçevenin taşıyabileceği maksimum yükü daha kolay bulabilmek için kabuk gibi yüzeysel sonlu elemanların yer almadığı sadece gerçek ve sanal çubuk elemanlardan oluşan üzerinde durulmuştur. Bunun için betonarme çerçeve elemanlar gerçek çubuklarla, duvar da eşdeğer bir çubukla temsil edilmiştir. Eşdeğer sanal çubuk elemanın mekanik özellikleri bir önceki matematik modelde kullanılan yani deney sonuçlarına dayanan verilerden alınmıştır.

Eşdeğer sanal çubuğun tanımlanması için şu parametrelere ihtiyaç vardır:

d: eşdeğer sanal çubuk uzunluğu

t: eşdeğer sanal çubuk kalınlığı

w: eşdeğer sanal çubuk genişliği

Eşdeğer sanal çubuk uzunluğu çerçeve yüksekliği h , çerçeve genişliği de l olmak üzere;

$$d = \sqrt{h^2 + l^2} \quad (8.4)$$

olarak alınmıştır.

Çubuk kalınlığı t , duvar kalınlığı olarak alınmıştır.

Eşdeğer sanal çubuğun genişliği, w için Mainstone'un önerdiği bağıntıdan yararlanılmıştır. Buna göre w ;

$$w = 0,175.(\lambda h)^{-0,4}.\sqrt{h'^2 + l'^2} \quad (8.5)$$

olarak ifade edilmiştir. Bu bağıntıdaki λ değeri de;

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m.t.\sin 2\theta}{4.E_c.I_c.h'}} \quad (8.6)$$

ifadesiyle verilmiştir.

Bu bağıntılarda,

h' : dolgu duvar yüksekliğine

l' : dolgu duvar genişliğine

θ : eşdeğer sanal çubuğun yatayla yaptığı açıya

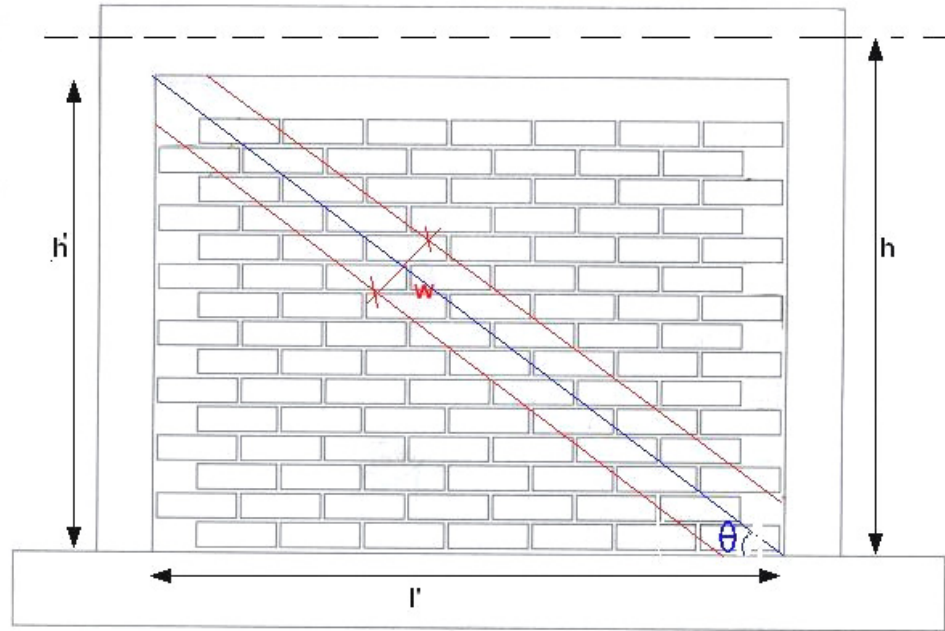
E_m : eşdeğer sanal çubuk basınç doğrultusundaki elastisite modülüne

E_c : kolon elastisite modülüne

I_c : kolon atalet modülüne

h : kolonun yüksekliğine

karşı gelmektedir. Numune üzerinde bu değerler Şekil 10.6 te gösterilmiştir.



Şekil 10.6 Eşdeğer sanal çubuğun hesabı için kullanılan geometrik parametreler

Buna göre;

$h' : 1200 \text{ mm}$

$l' : 1700 \text{ mm}$

$\theta : 35,21^\circ$

$t : 100 \text{ mm}$

$E_m : 6380 \text{ MPa}$

$E_c : 27\,500 \text{ MPa}$

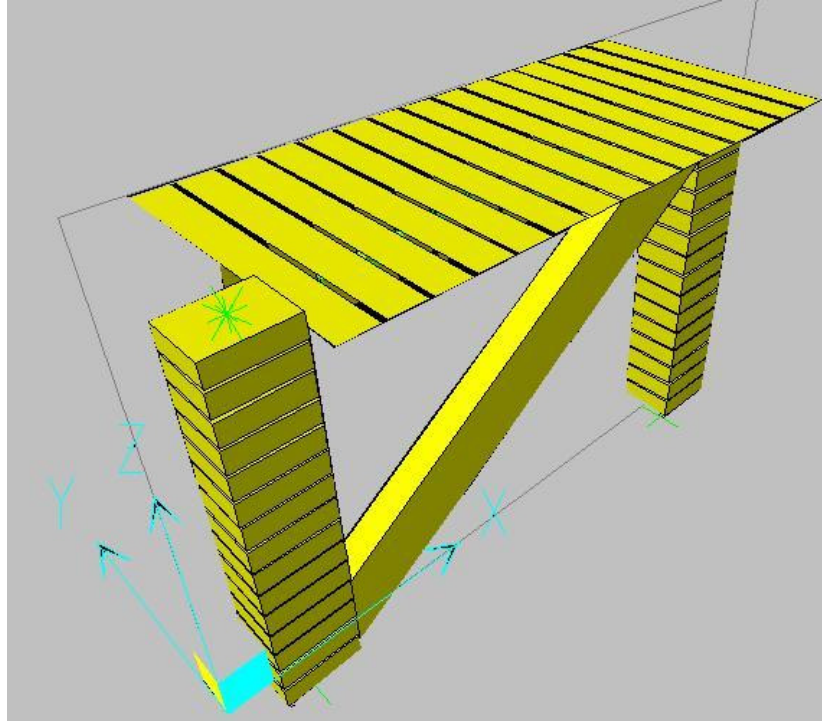
$I_c : (200 \times 250^3) / 12 = 260\,416\,666 \text{ mm}^4$

$h : 1375 \text{ mm}$ dir.

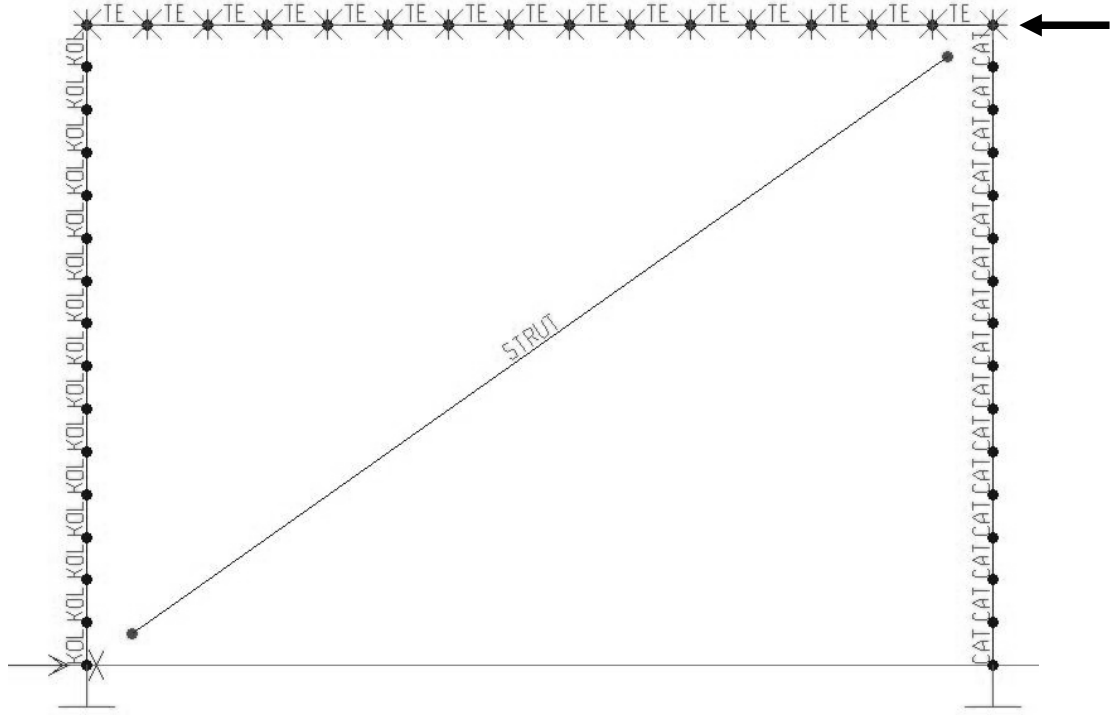
Bu değerler yerine konulduğunda $\lambda = 0,002$ olmaktadır. Buradan $w = 243 \text{ mm}$ olarak hesaplanır.

Bu fiziksel ve mekanik özellikler kullanılarak eşdeğer sanal çubuk tanımlanmış ve Şekil 10.7 te 3 boyutlu görüntüye sahip model oluşturulmuştur. Şekil 10.8'da ise matematik model bütünüyle görülmektedir.

Eşdeğer sanal çubuk sadece basınç kuvvetlerini alacak şekilde tanımlanmış, bunun için modelde her iki ucunda moment oluşmaması sağlanmıştır.



Şekil 10.7 Eşdeğer sanal çubuklu model 3 boyutlu görüntü



Şekil 10.8 Eşdeğer sanal çubuklu modelindeki elemanlar

Özel dolgu duvarlı betonarme çerçevenin taşıyabileceği en büyük bulunurken diyagonal basınç deneyleri ile ulaşılmış olan yük – şekil değiştirme grafiklerinden yararlanılmıştır. Bu numunelerin deney sırasında taşıyabildikleri en büyük kuvvete ilk olarak ulaştıkları andaki şekil değiştirme değeri $\varepsilon=0,002$ olarak tespit edilmiştir. Bu durum çerçeve deneyinde;

$$\delta=d \times \varepsilon = 2080 \times 0,002 = 4,16 \text{ mm}$$

kadar bir tepe yer değiştirmesini ifade etmektedir.

Modelde kiriş elemanını temsil eden çubuk elemana bu yer değiştirme değeri tanımlanmış ve model çalıştırılmıştır.

Deneyde erişilen 265 kN a karşılık modelde 278 kN luk bir karşı kuvvet elde edilmiştir. Bu sonuç %95 yakınlıktadır.

Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılmış olan bölme duvarın elastisite modülünü bulabilmek için 3 ve 4 sıralı numuneler hazırlanmış ve bu numuneler göçme yüküne erişinceye kadar denenmiştir. Numuneler gevrek bir yapıya sahip olduklarından deneyin ilk safhalarında daha sünek, göçme yüküne yaklaştıkça daha rijit bir davranış göstermişlerdir. Ayrıca 3 ve 4 sıralı numuneler arasında narinlik etkisinden dolayı farklı davranış gözlenmemiştir. Tuğla ve harç malzemeleri yakın basınç dayanımına sahip olduklarından herhangi bir fazın daha önce deforme olmadığı ve malzemenin homojen gibi hareket ettiği gözlenmiştir. Deneyde sonra incelenen numunelerde bu durum açıkça görülmektedir. Bu sebeple harcın tuğlaya yakın basınç dayanımında seçilmesinin doğru bir tercih olduğu söylenebilir. Duvar malzemesinin farklı normal kuvvetler altında kayma dayanımlarının nasıl değiştiğini incelemek üzere kayma deneyleri yapılmıştır. Kayma numuneleri normal kuvvetin 30 kN'a kadar olduğu durumlarda harçta oluşan kayma çatlaklarının büyümesiyle göçmeye ulaşmış ve normal kuvvet arttıkça daha büyük kayma kuvvetlerini taşımışlardır. Ayrıca tuğlanın delikli yapısından dolayı imalat sırasında deliklere giren harç, dış benzeri bir yapı oluşturarak yük altındaki numunelere ek bir kayma dayanımı kazanadığıdır. Bu durum ayrıca basınç deneyleri sırasında tuğla ve harcın birbirinden ayrılmayarak beraber çalışmasını sağlamıştır. 30 kN'dan daha büyük normal kuvvetler altında test edilen numunelerin deneyleri ise tuğla kısmının taşıma gücüne ulaşmasından dolayı harcın kayma limit durumuna gelmesinden önce sonlanmıştır. Bu numunelerde harç kısmında ufak çaplı çatlaklardan başka hasar görülmemiştir.

Bu deney grubundaki tüm numunelerin limit durumdaki σ ve τ değerleri bir grafikte bir araya getirilmiş ve daha önce önce Yorulmaz – Atan tarafından İTÜ de yapılan benzer deneylerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki $\sigma - \tau$ eğrisi Yorulmaz – Atan çalışmasında elde edilen modelin eğrisinin üzerinden geçmektedir (Şekil 7.4).

Duvar malzemesinin diğer bir mekanik özelliği olan kayma modülünü elde etmek üzere ASTM'ye uygun olarak diyagonal basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerin tümü, numunenin harç tabakasındaki kayma kuvvetinin maksimum değeri geçmesinden değil, düşey basınç yükü etkisinde oluşan çatlakların büyümesi ile limit yüke ulaşmışlardır.

Numunelere yerleştirilen yükleme doğrultusunda ve yükleme doğrultusuna dik yerdeğiştirme ölçerler ile yük – yerdeğiştirme ve kayma gerilmesi – kayma açısı

grafikleri elde edilmiş ve bu eğrilerden kayma modülüne geçilmiştir. Ayrıca yine bu iki yerdeğiştirme ölçerden gelen verilerle iki doğrultudaki şekil değiştirmeler birbirine oranlanmış ve bu kompozit malzeme için bir poisson oranı tespit edilmiştir. Bulunan bu değerler literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslanmış ve benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Betonarme bir çerçeveyi güçlendirmek için yüksek dayanımlı tuğla ve yüksek dayanımlı harç kullanılarak kolon ve kirişlerle bütünleştirilmiş bir duvar oluşturulmuş ve bu özel bölme duvarlı çerçeve göçme yüküne ulaşıncaya kadar yerdeğiştirme çevrimlerinin etkisinde bırakılmıştır. Deneyde çerçeveye ankraj elemanlarıyla tespit edilmiş duvar elemanının çerçeve davranışına büyük ölçüde katkıda bulunduğu ve betonarme çerçeveden ayrılmayarak göçme durumuna kadar çalışmaya devam ettiği gözlenmiştir.

Deney numunesi, duvarda oluşan diyagonal çatlakların, tersinir ve artan yükler altında büyümesi sonucu limit yüke ulaşmıştır. bu göçme biçimi diyagonal basınç dayanımı deneyindeki göçme biçiminin aynısıdır.

Diyagonal basınç deneyinin yük – yer değiştirme grafiği incelendiğinde yaklaşık olarak $\varepsilon=0,002$ seviyesinde maksimum yüke ulaştığı ve bu bölümden sonra yaklaşık olarak yatay bir hareketle göçmeye gittiği gözlemlenmiştir. Bu durumun çok benzerine çerçeve deneyinde de rastlanmış ve numune boyunun çerçeve diyagonalı olarak kabul edildiğinde yine yaklaşık $\varepsilon=0,002$ seviyesinde maksimum yüke ulaşılmış (Tepe yerdeğiştirme $\delta=4.16$ mm) ve daha sonra yatay bir davranış sergilediği görülmüştür. Çerçeve deneyinin daha önceki deneylerde elde edilen verilerin kullanıldığı bilgisayar modelinde icra edilmesi sonucunda bulunan elastisite modülü, kayma modülü gibi değerlerin çerçeve içindeki davranışı modellemek için geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonra da bölme duvarın çerçeveye katkısının kolay şekilde lineer yolla hesaplanabilmesi için basit bir model önerilmiştir. Bu modelde bölme duvar eşdeğer sanal çubukla temsil edilmiş, çubuğun mekanik özellikleri deney sonuçlarına dayandırılmıştır. Bu modelde bulunan tepe yerdeğiştirmesine karşılık gelen yükün deneydeki değere oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Daha kesin sonuçlara ulaşmak ve daha doğru modeller önerebilmek için numune sayısı artırılmalıdır. Bu numunelerde farklı dayanımda harç kullanılarak harcın etkisi araştırılabilir. Ayrıca çerçeve numunesi sayısı da artırılabilir ve çerçeve üzerine farklı normal kuvvetler uygulanarak çerçevenin normal kuvvetler altındaki davranışı da kayma deneylerindeki sonuçlar göz önünde tutularak karşılaştırılabilir. Mevcut yapılarda çerçeveler alt kattan yukarı kata doğru azalan normal kuvvetler etkisindedir.

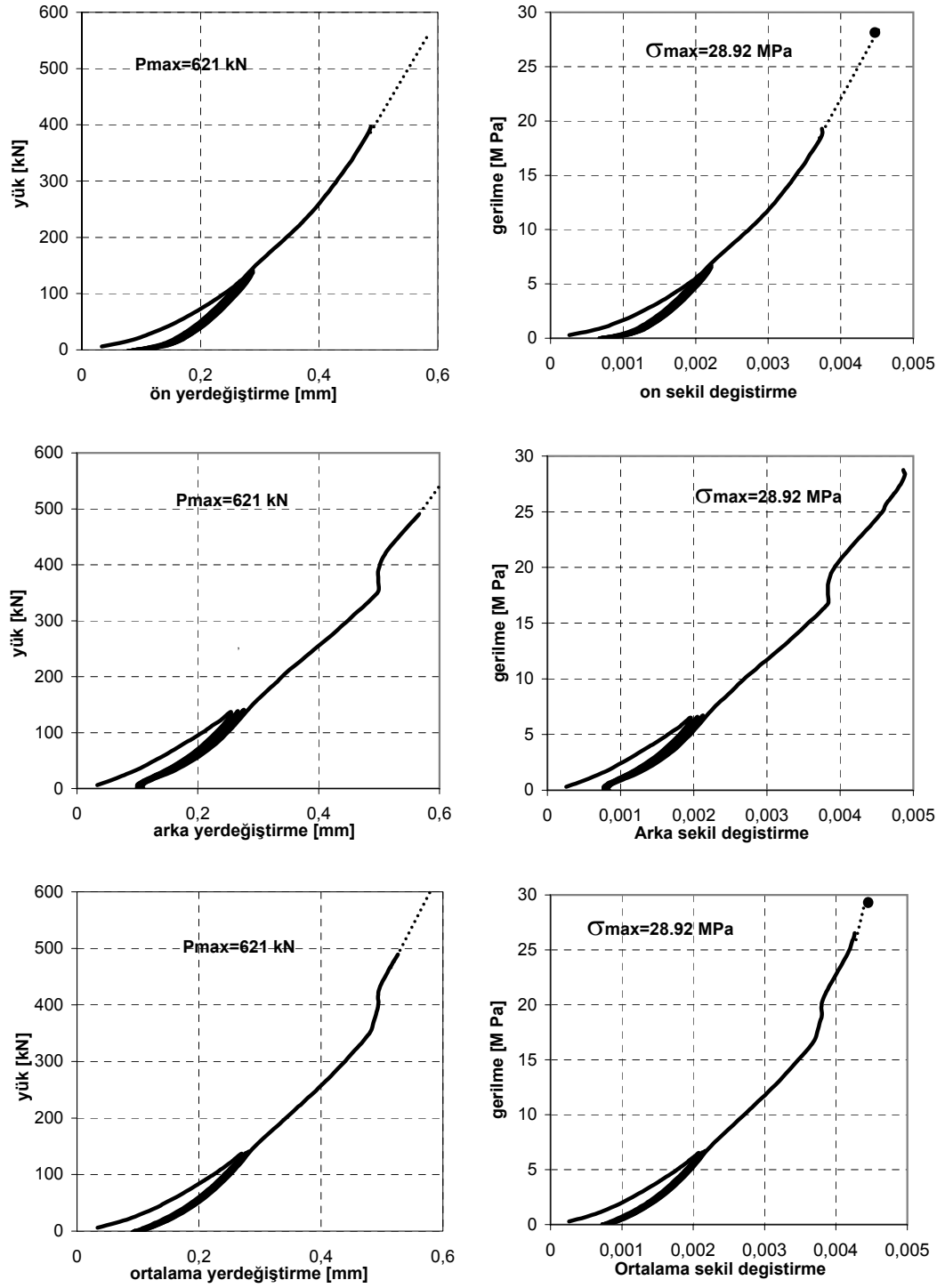
KAYNAKLAR

- [1] **TECHNICAL NOTES ON BRICK CONSTRUCTION**, 1987 Testing For Engineered Brick Masonry Determination Of Allowable Design Stresses, *Brick Industry Association*
- [2] **ASTM E 519 – 81**, 1993. Standart Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages, *American Standarts for Testing of Materials*.
- [3] **Zarnic, R. and Tomazevic, M.** 1975. The behaviour of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames Subjected to Cyclic Lateral Loading
- [4] **Page, A.W.** , 1978, Finite Element Modal for Masonry, *Journal of Structural Engineering*, **August 1978**, 1267-1285
- [5] **Knutson, H.H. and Nielsen, J.**, 1995, Son the Modulus of Elasticity for Masonry, *Masonry International*, Vol:9 No:2, 57-61
- [6] **Madan, A. , Reinhorn, A.M. , Mander, J.B. and Valles, R.E.** , 1997, Modeling of Masonry Infill Panels for Structural Analyses, *Journal of Structural Engineering*, **October 1997**, 1295-1302
- [7] **LaFuente, .M , Castilla, E and Genatios, C.** , 1998, Experimental and Analytical Evaluation of the Seismic Resistance Behaviour of Masonry Walls, *Masonry International*, Vol:11 No:3, 80-88
- [8] **Brooks, J.J. and Abu Baker, B.H.** , 1998, The Modulus of Elasticity of Masonry, *Masonry International*, Vol:12 No:2, 58-63
- [9] **Alshebani, M.M. and Sinha, S.N.** , 2000, Stress – Strain Characteristics of Brick Masonry Under Cyclic Biaxial Compression, *Journal of Structural Engineering*, **September 2000**, 1004-1007
- [10] **Ghosh, A.K. and Amde, A.M.** , 2002, Finite Element Analyses of Infilled Frames, *Journal of Structural Engineering*, **July 2002**, 881-889
- [11] **Asteris, P.G.** , 2003, Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames, *Journal of Structural Engineering*, **August 2004**, 1071-1078
- [12] **Abdel-Halim, M.A.H, and Barakat, S.A.** , 2003, Cyclic Performance of Concrete-Backed Stone Masonry Walls, *Journal of Structural Engineering*, **May 2003**, 596-605
- [13] **El-Dakhakhni, W.W. , Elgaaly, M. and Hamid, A.A.** , 2003, Three Strut Model for Concrete Masonry Infilled Steel Frames, *Journal of Structural Engineering*, **February 2003**, 177-185
- [14] **Ewing, B.D and Kowalsky, M.J.** , 2004, Compressive Behaviour of Unconfined and Confined Clay Brick Masonry, *Journal of Structural Engineering*, **April 2004**, 650-661

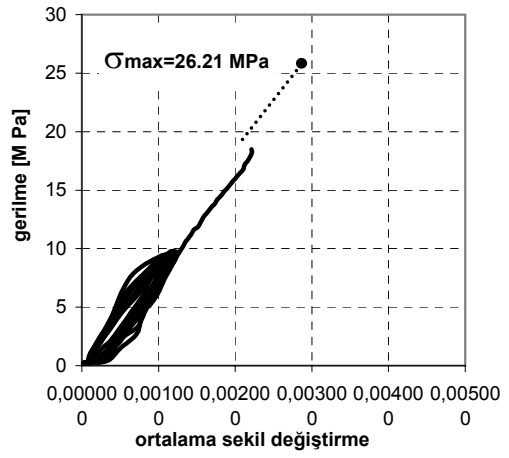
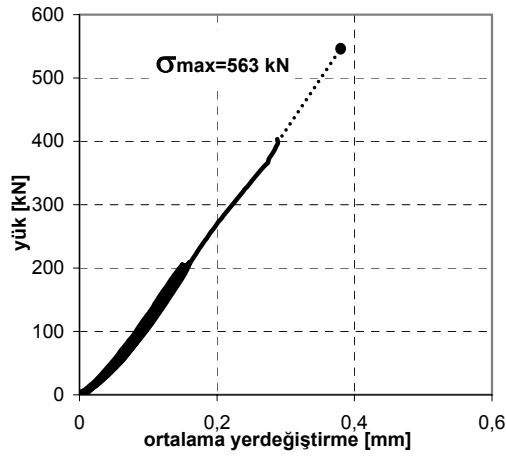
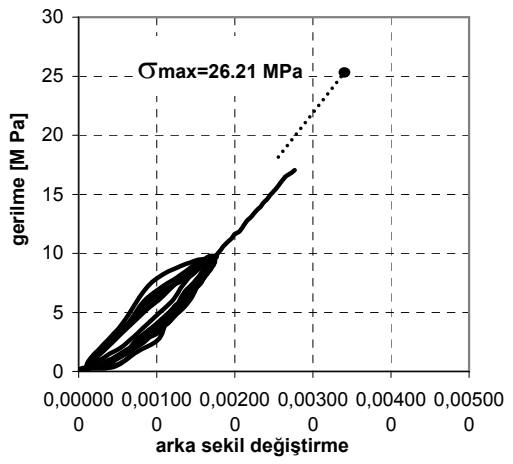
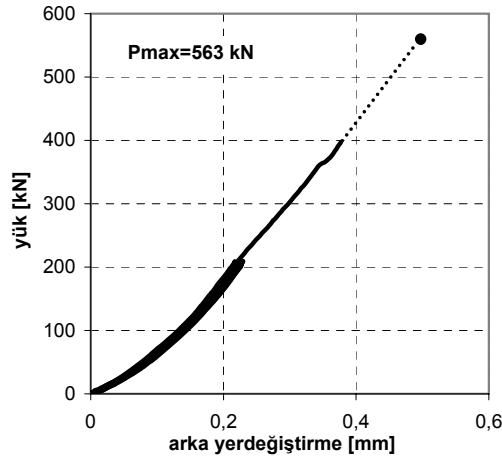
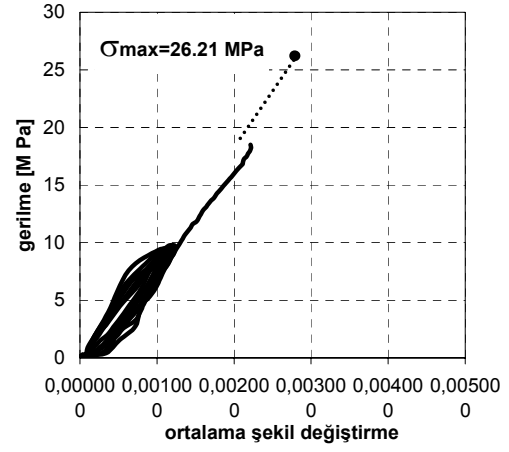
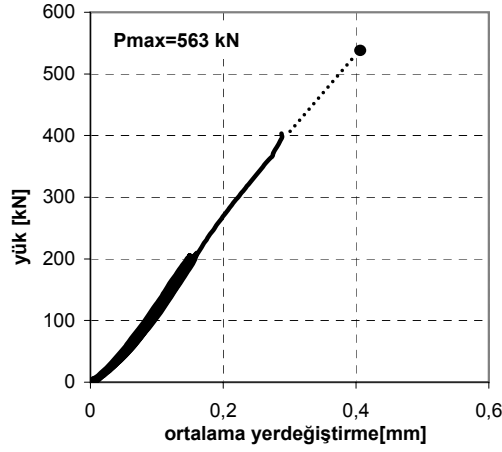
- [15] **Rosenboom, O.A. and Kowalsky , M.J. ,** 2004, Reversed Inplane Cyclic Behaviour of Posttensioned Clay Brick Masonry Walls, *Journal of Structural Engineering*, **May 2004**, 787-798
- [16] **ASTM C67**, *American Standarts for Testing of Materials*.
- [17] **Mainstone, R.J.**, Supplementary Note on the Stiffness and Strengths of infilled Frames, Current Paper 13/74, Building Research Station, UK, Feb 1974
- [18] **TS-500**, 2000 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [19] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1998. *İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*, Ankara
- [20] **Yüksel, E.**,1998. Bazı Düzensizlikler İçeren Üç Boyutlu Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi, *Doktora Tezi*,İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [21] **Yorulmaz,M.,Atan,Y.**,. 1971. Çeşitli Forme Yapı Taşlarıyla Yapılmış Duvar Numunelerin İki İstikametli Yükleme Altında Davranışları, İTÜ,

EK A

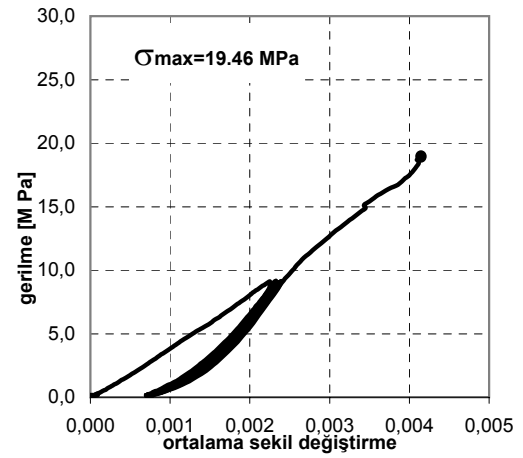
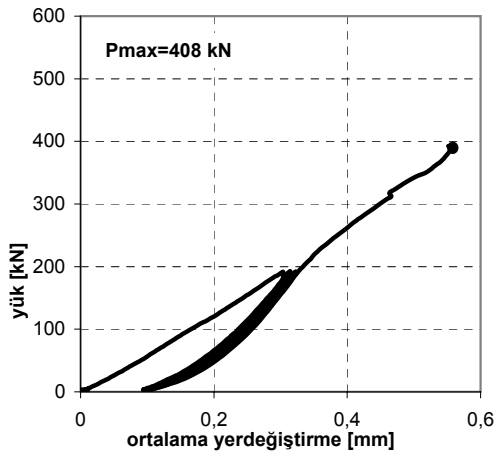
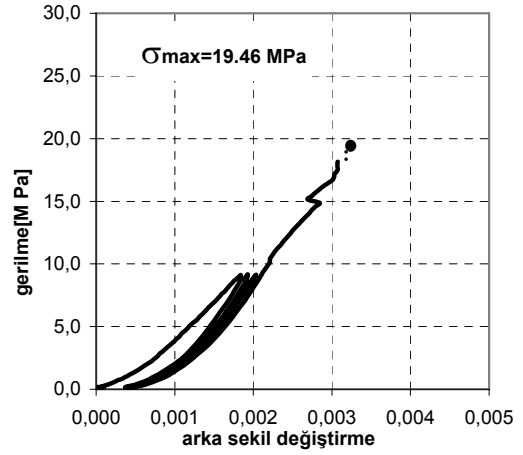
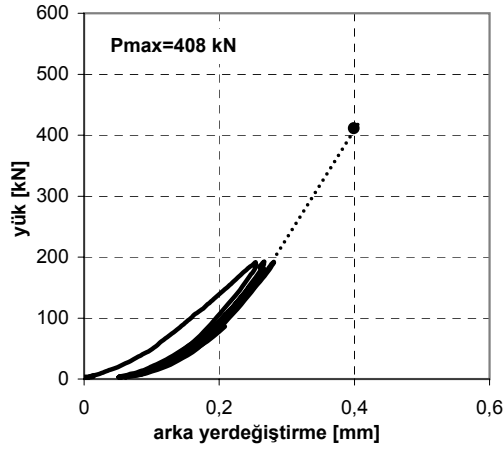
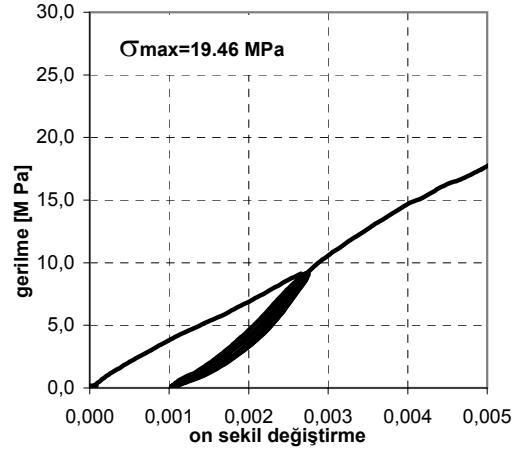
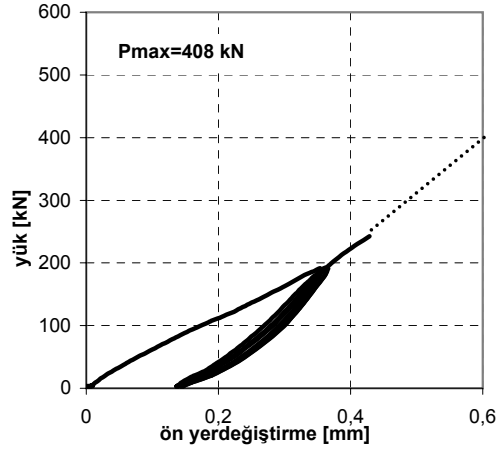
3 ve 4 SIRALI TUĞLA DENEYİ ŞEKİLLERİ



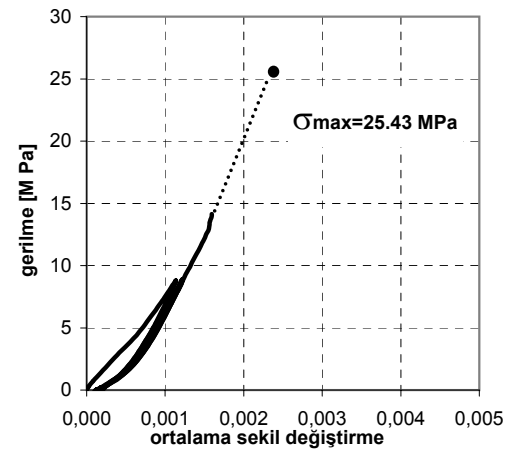
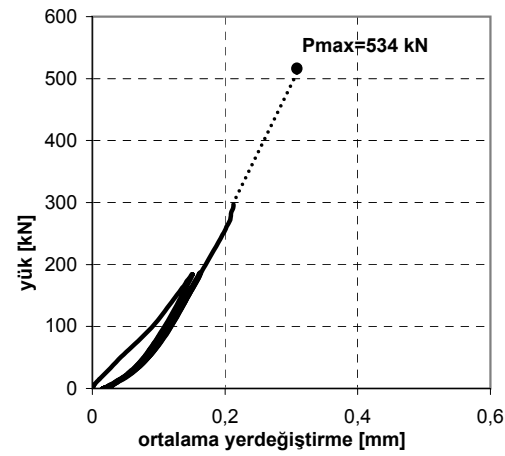
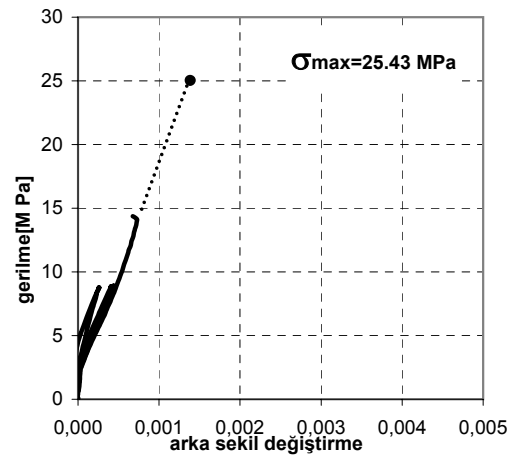
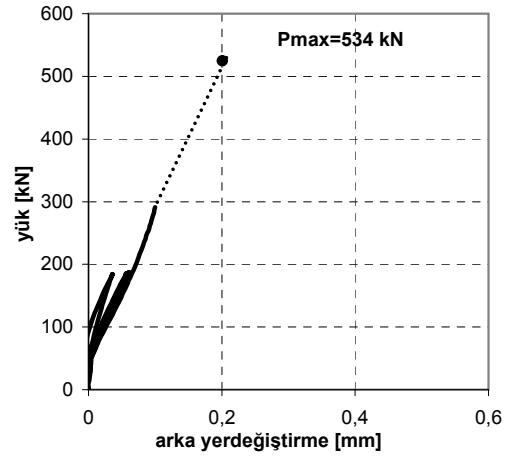
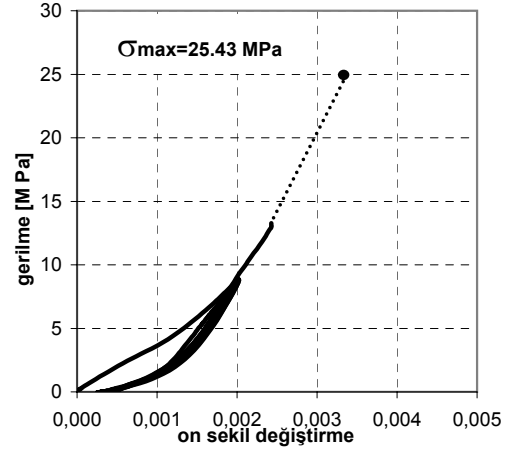
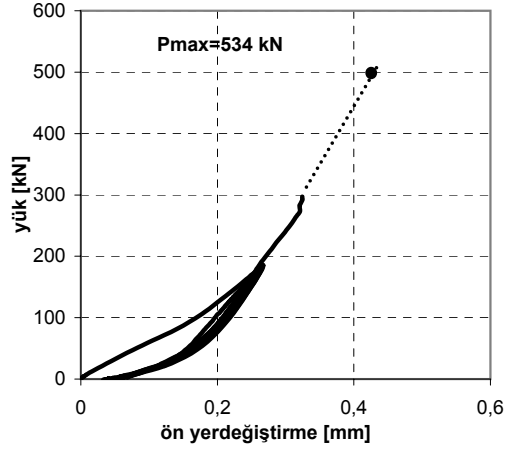
Şekil A.1 PT 3S 02'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekil değiştirme grafikleri



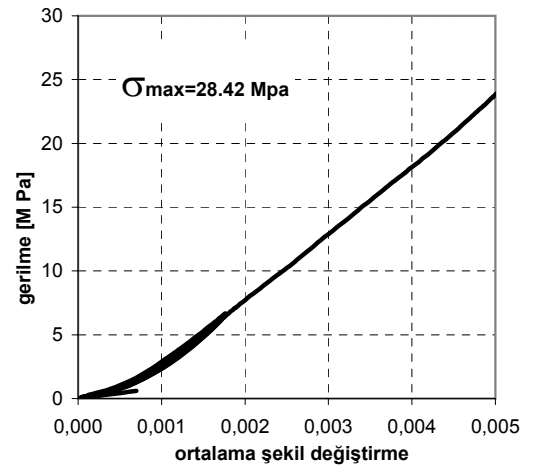
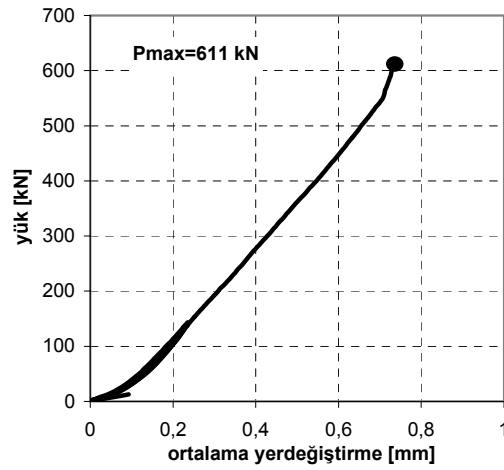
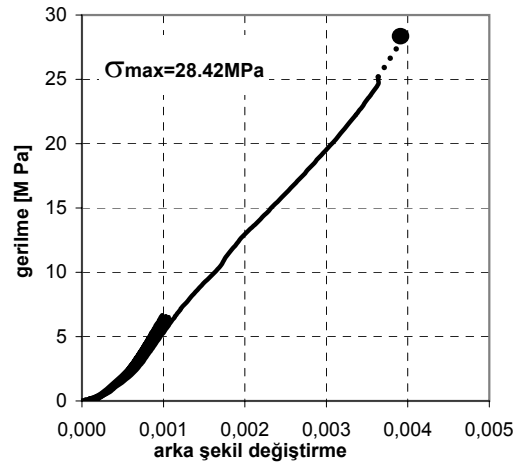
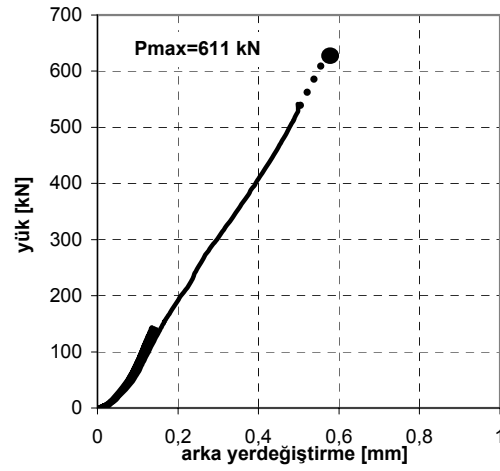
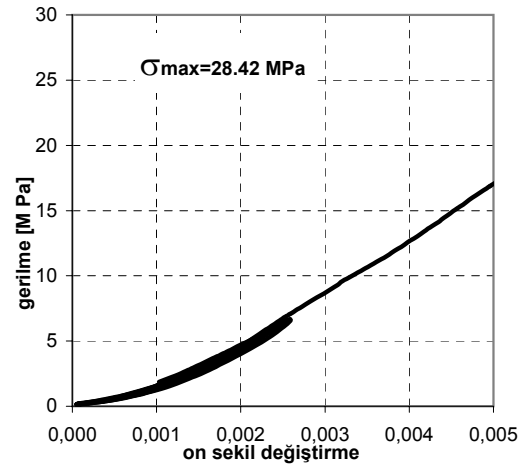
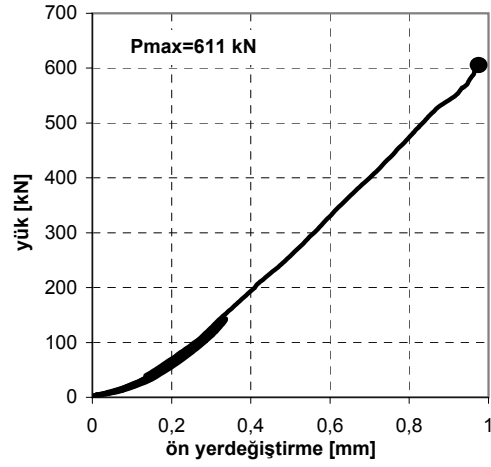
Şekil A.2 PT 3S 03'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri



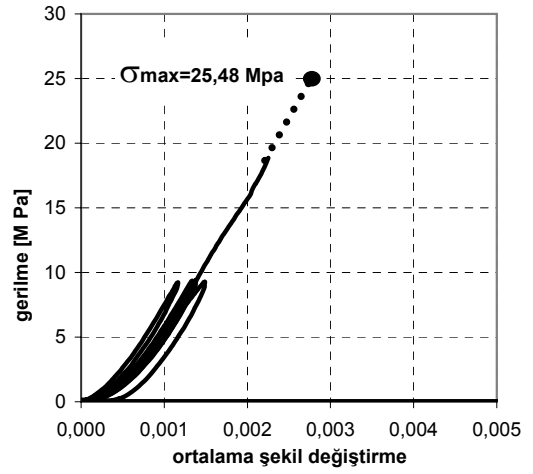
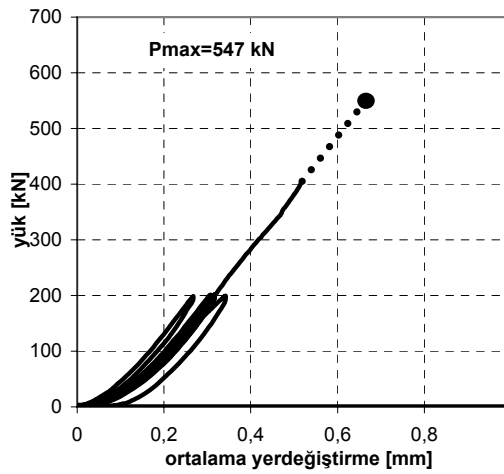
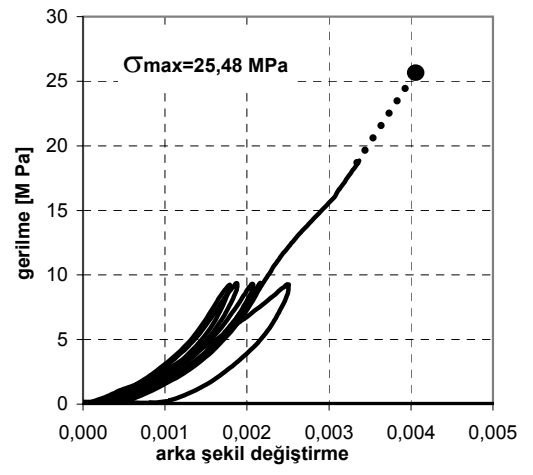
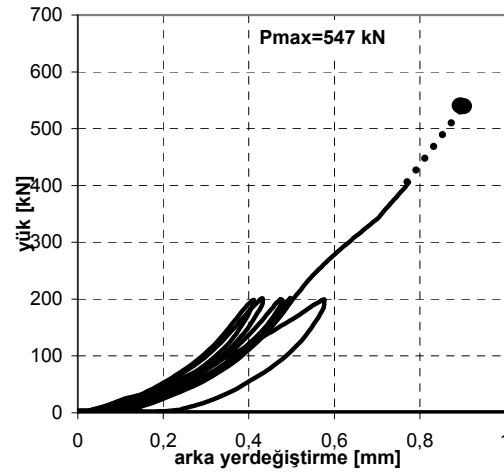
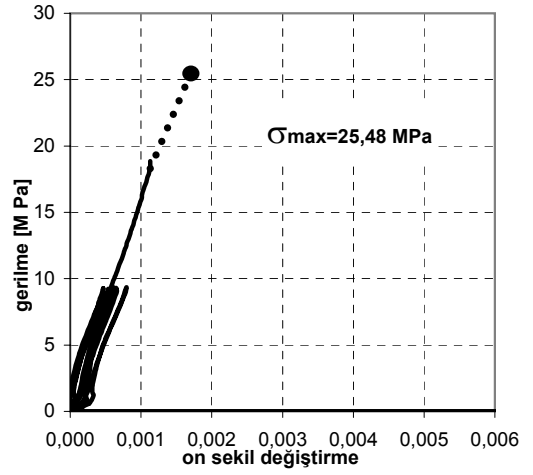
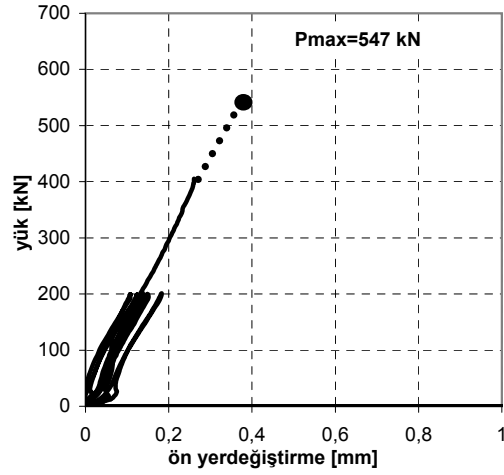
Şekil A.3 PT 3S 04'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekil değiştirme grafikleri



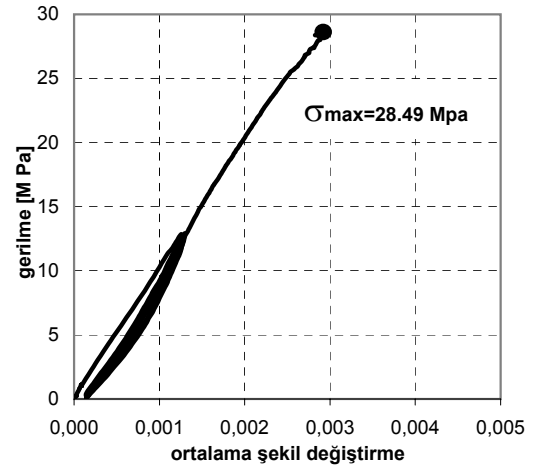
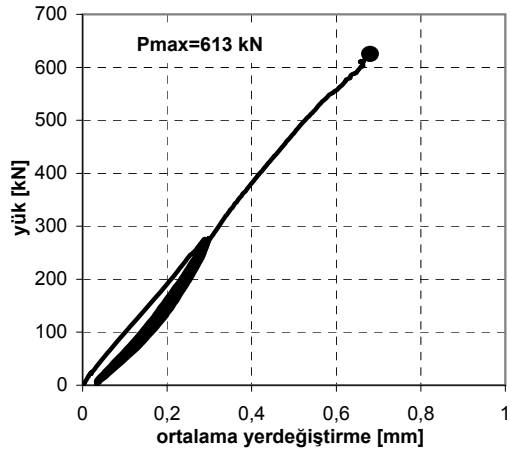
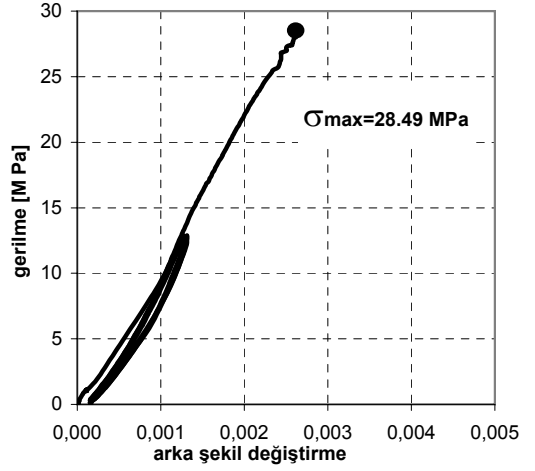
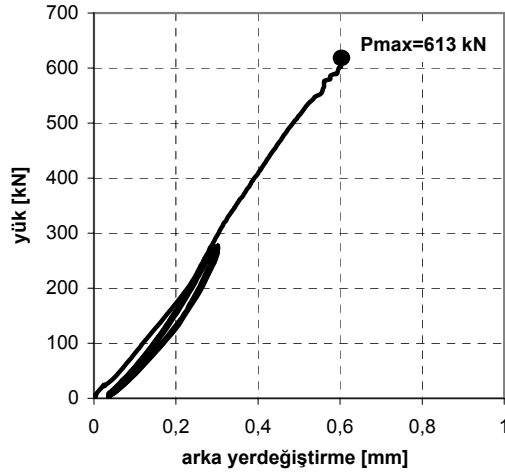
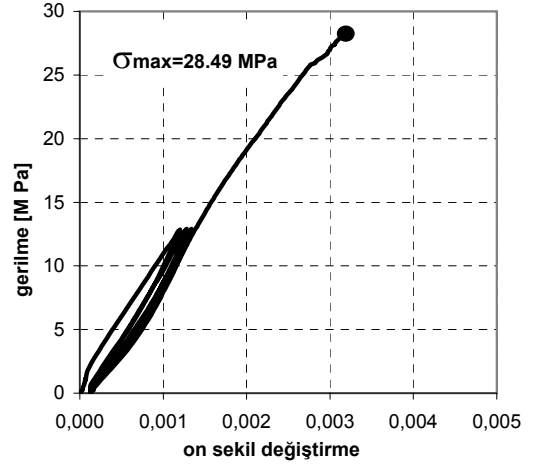
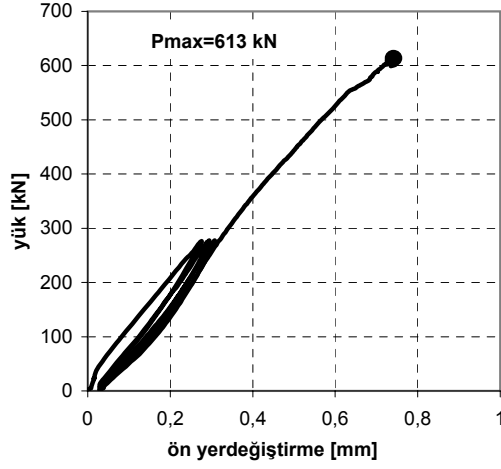
Şekil A.4 PT 3S 05'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri



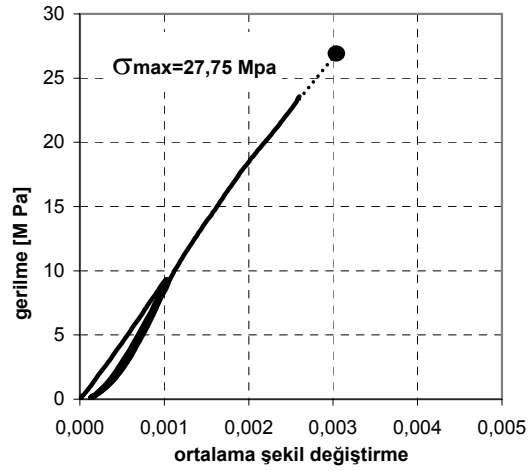
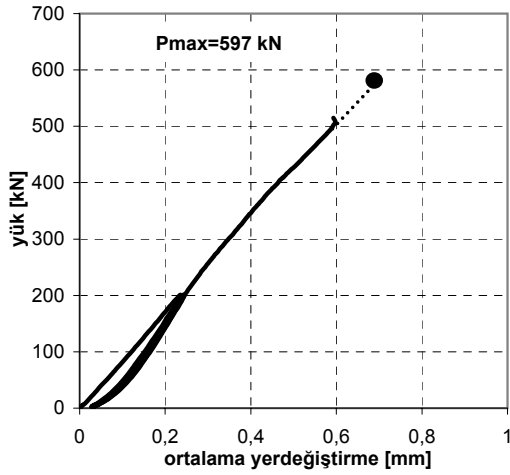
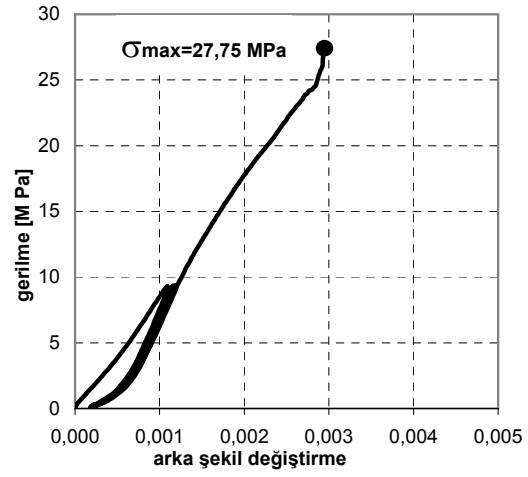
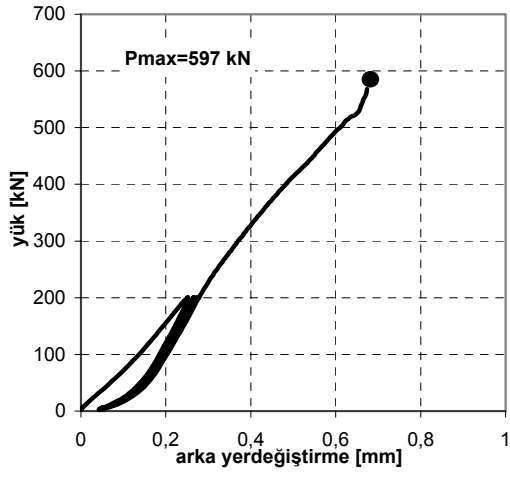
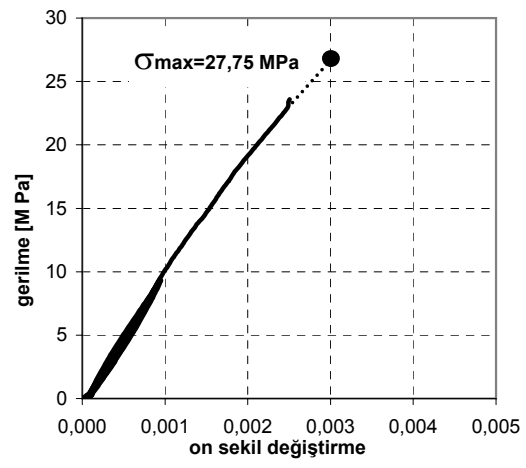
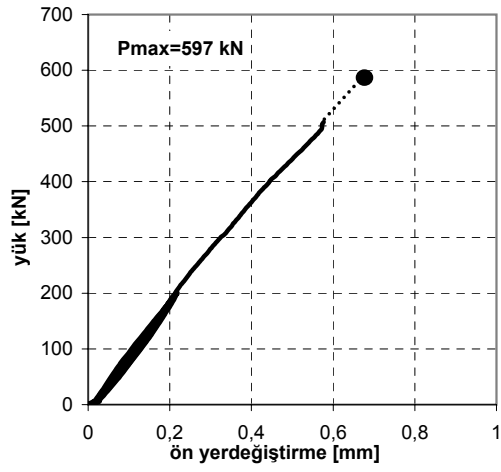
Şekil A.5 PT 4S 02'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri



Şekil A.6 PT 4S 03'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri



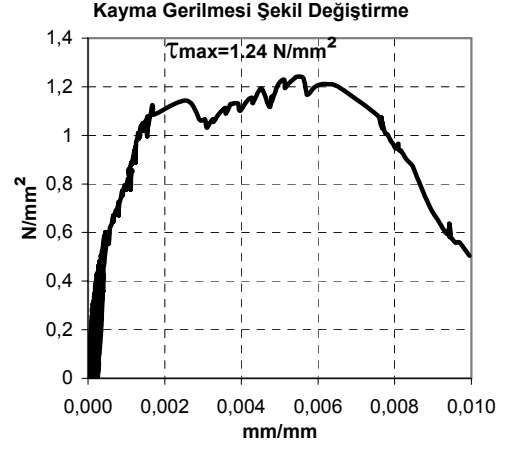
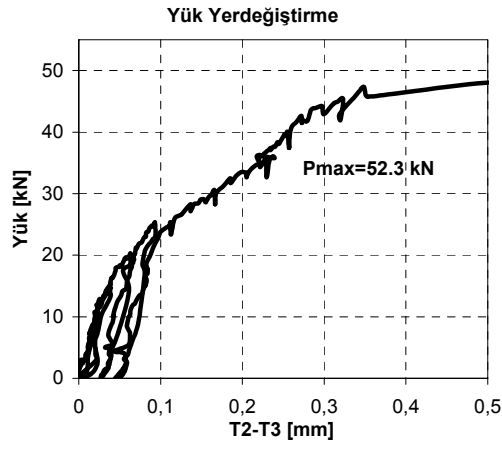
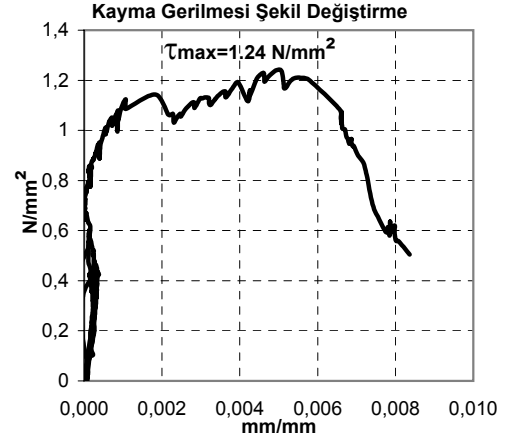
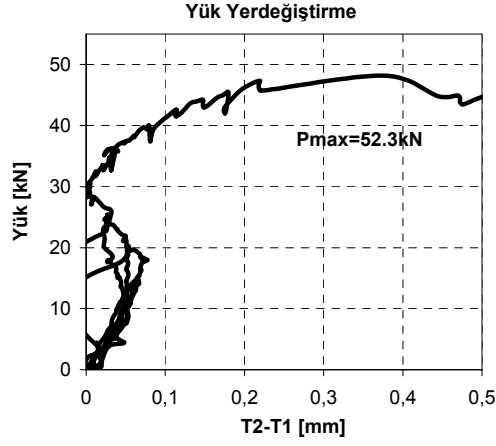
Şekil A.7 PT 4S 04'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri



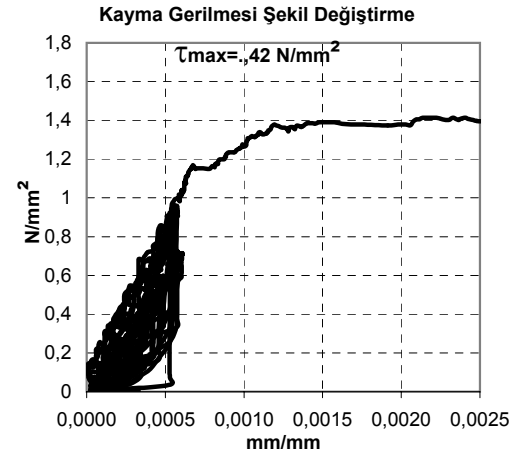
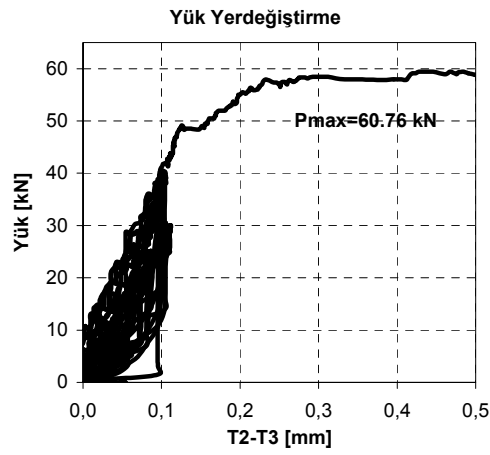
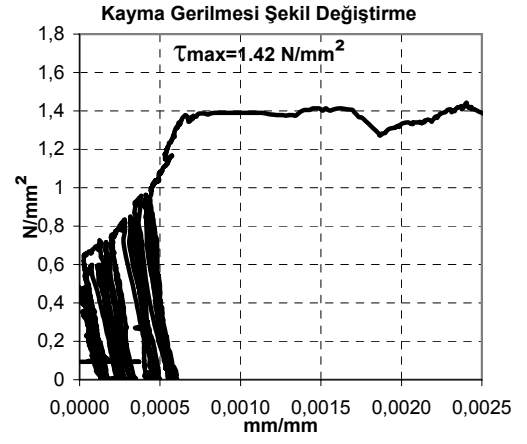
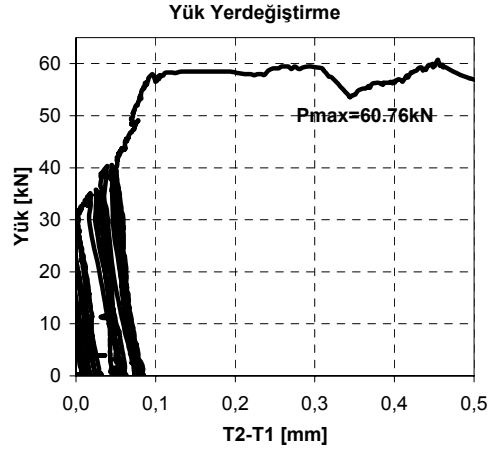
Şekil A.8 PT 4S 05'in yük - yerdeğiştirme ve gerilme - şekildeğiştirme grafikleri

EK B

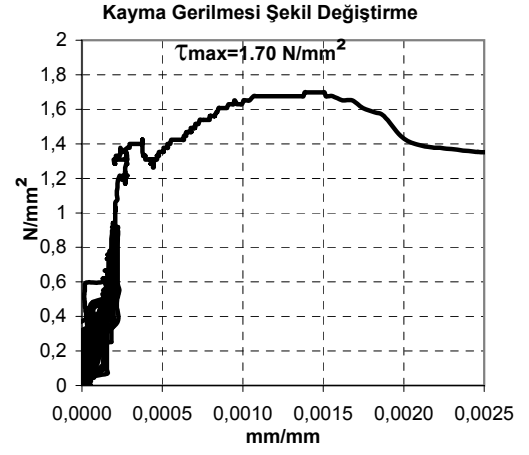
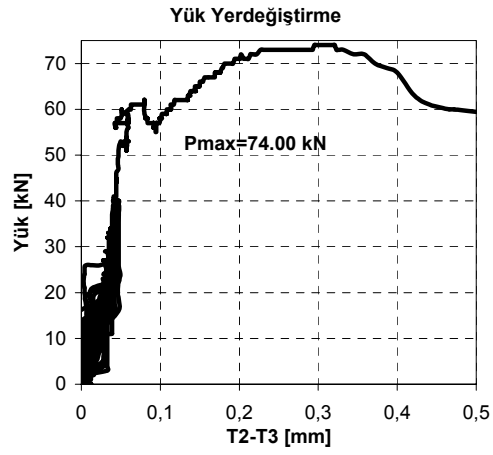
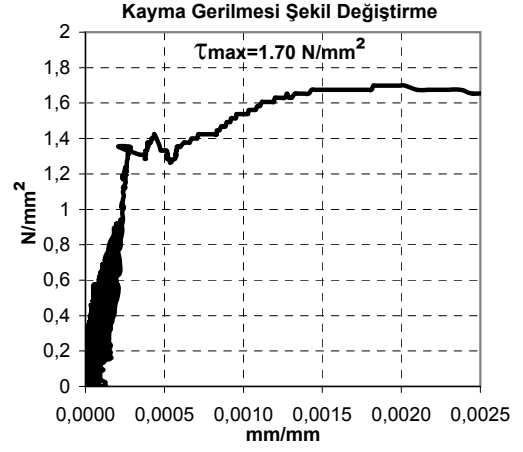
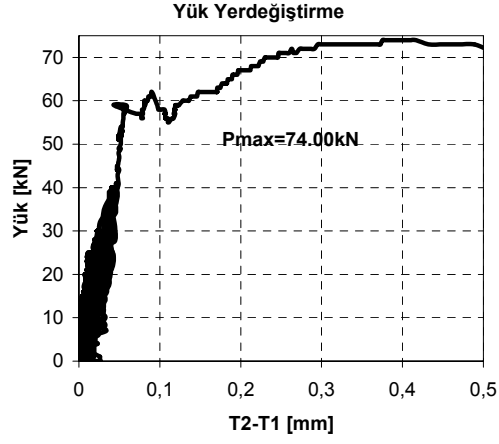
KAYMA DENEYİ ŞEKİLLERİ



Şekil B.1 PTK 020 01 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri



Şekil B.2 PTK 030 02 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri



Şekil 1:65536.3 PTK 030 03 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri



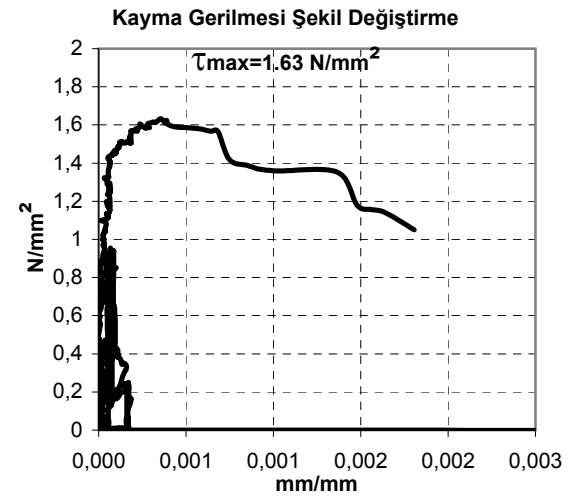
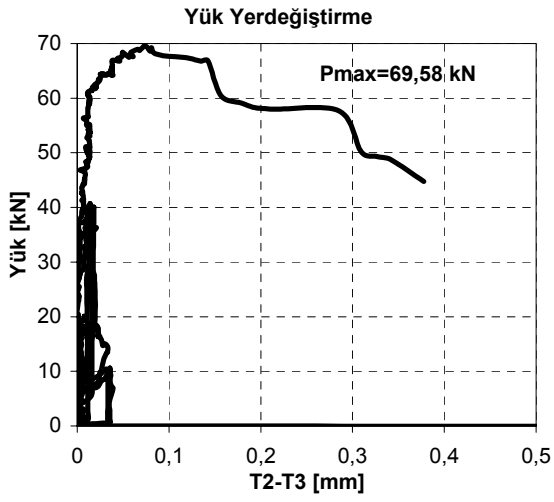
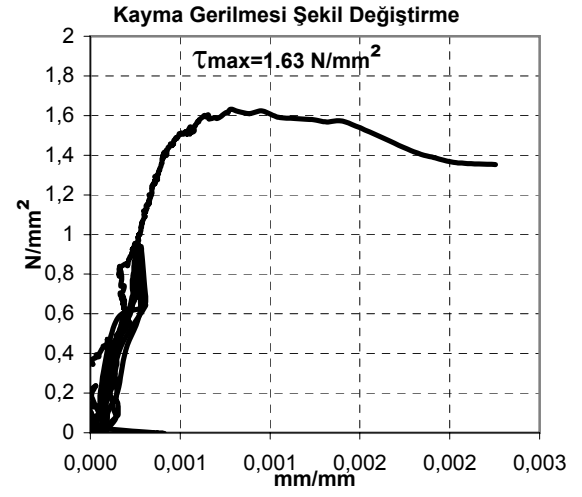
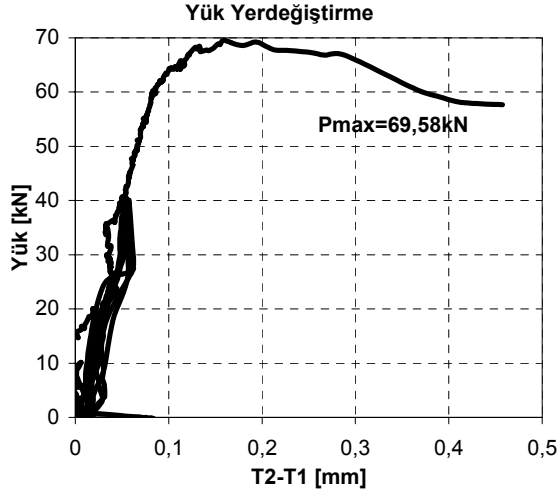
Şekil B.4 PTK 040 01 ve PTK 040 02 Numunelerinin Göçme Biçimleri



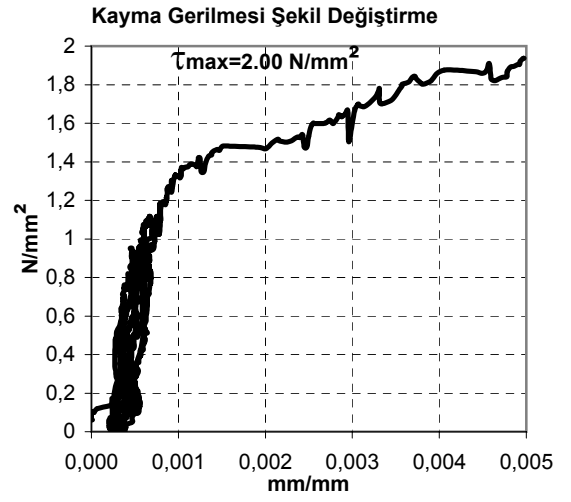
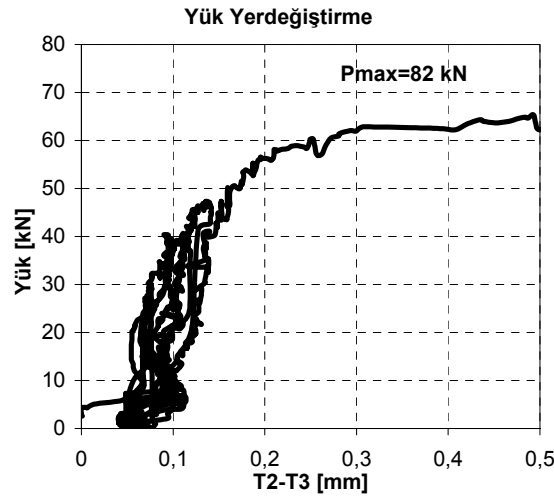
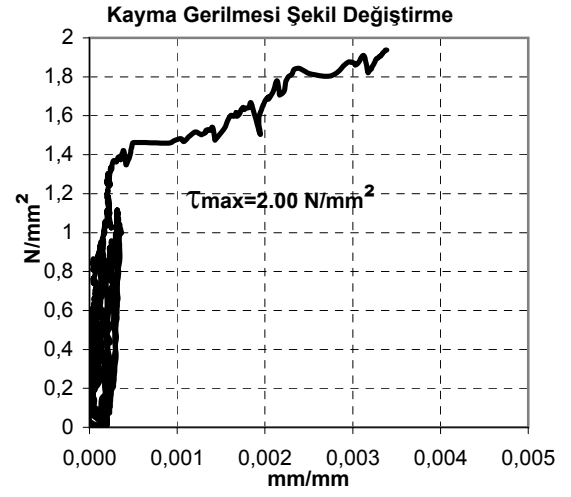
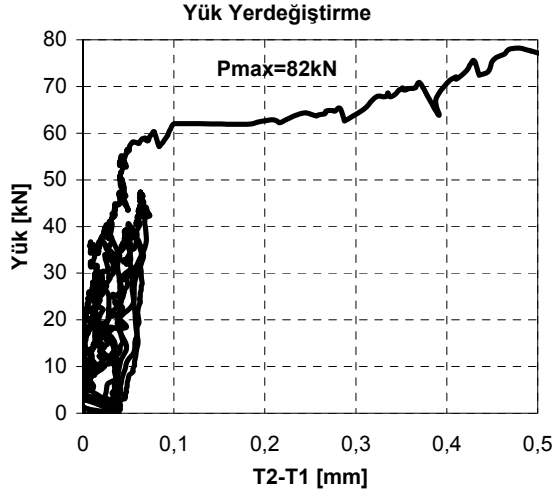
Şekil B.5 PTK 060 01 ve PTK 060 02 Numunelerinin Göçme Biçimleri



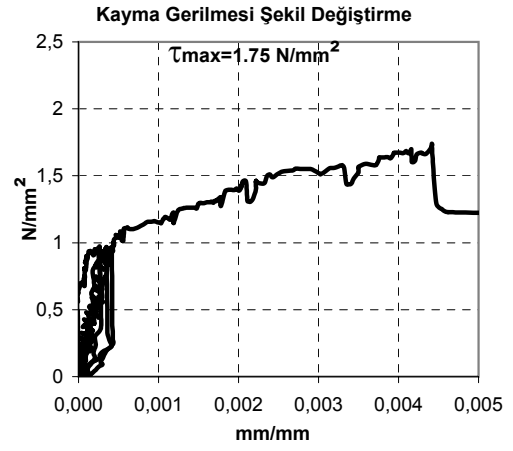
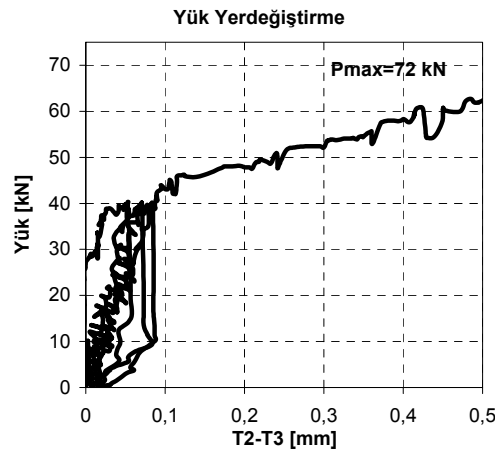
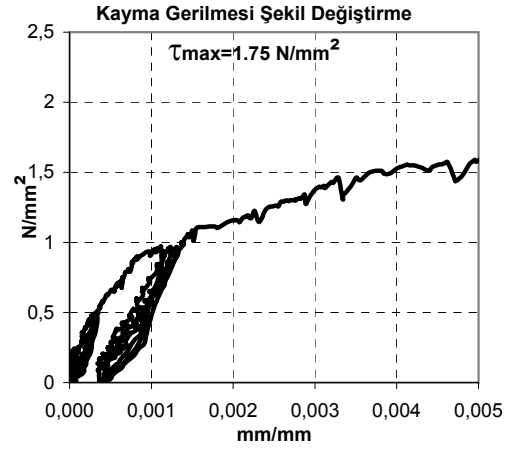
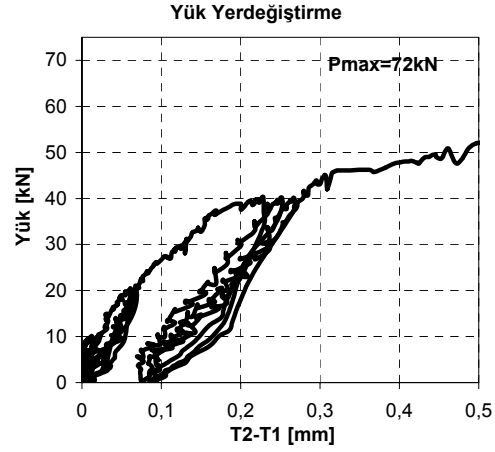
Şekil B.6 PTK 100 01 Numunelerinin Göçme Biçimleri



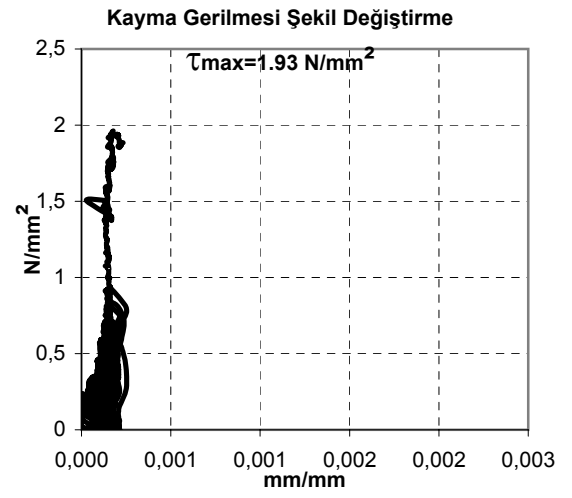
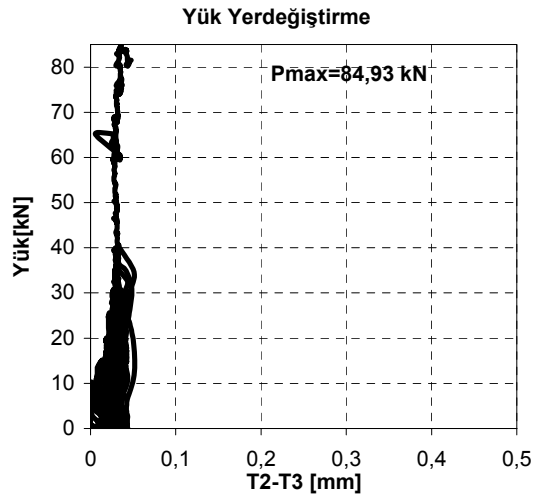
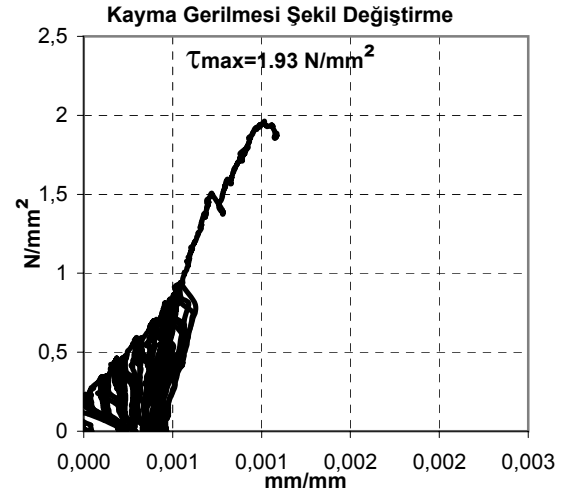
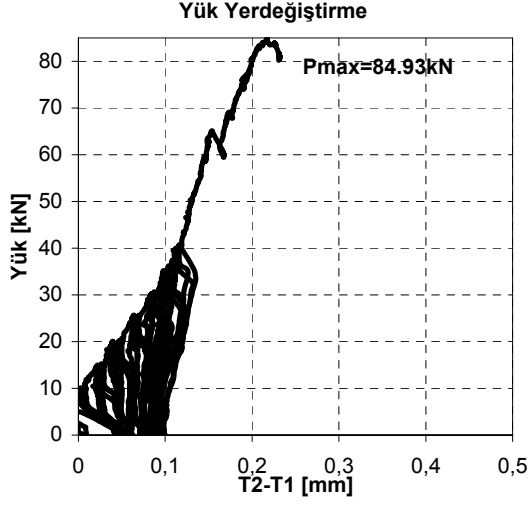
Şekil B.7 PTK 040 01 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri



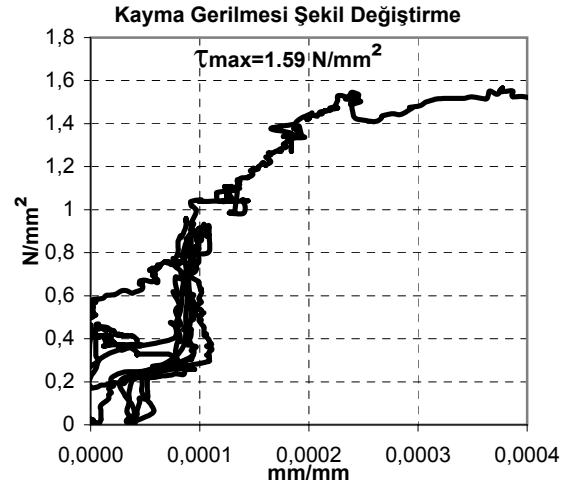
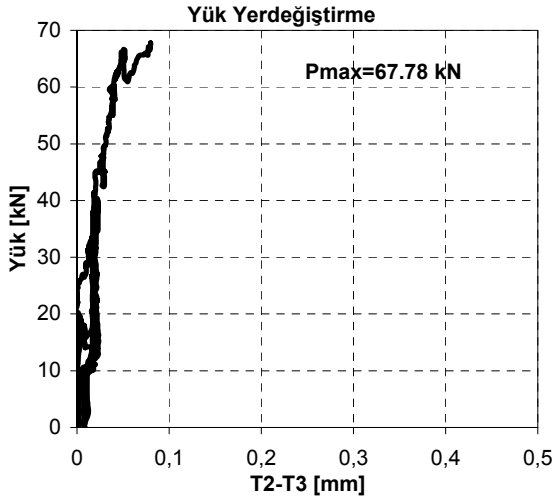
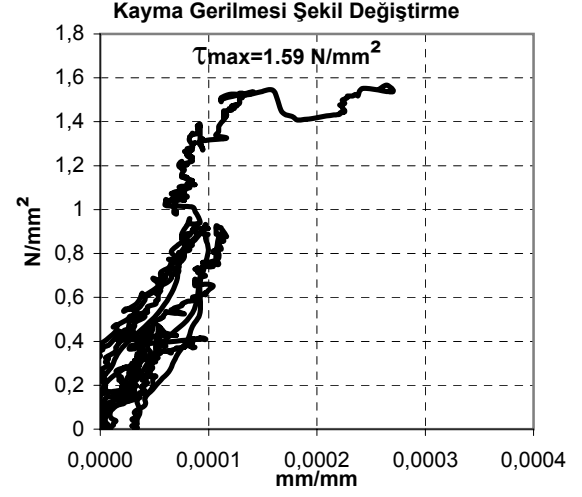
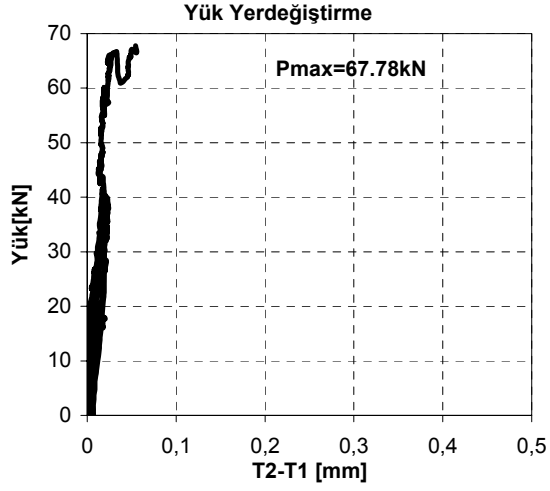
Şekil B.8 PTK 040 02 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri



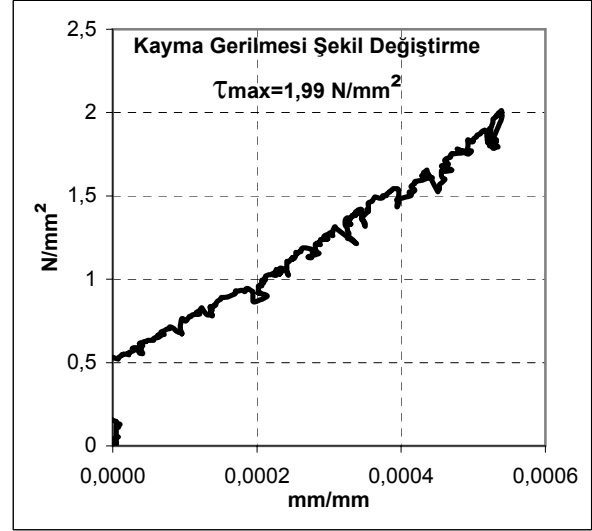
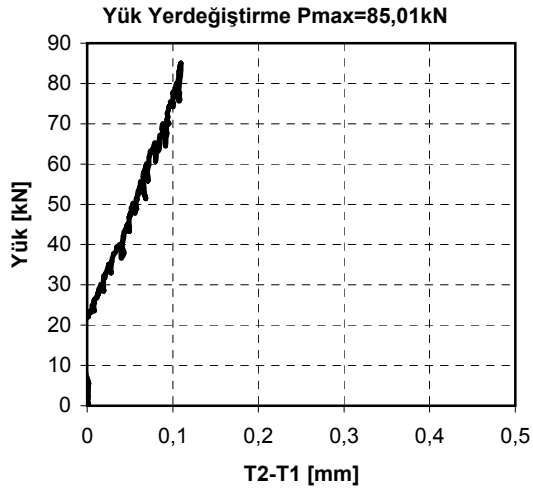
Şekil B.9 PTK 060 01 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri



Şekil B.10 PTK 060 03 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri



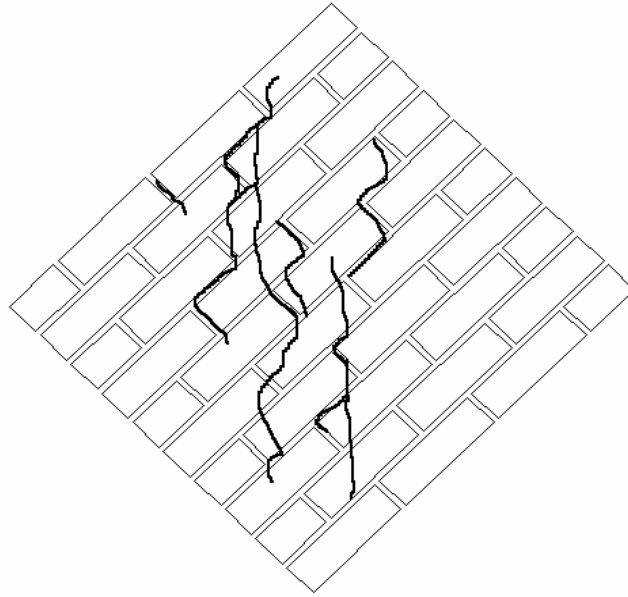
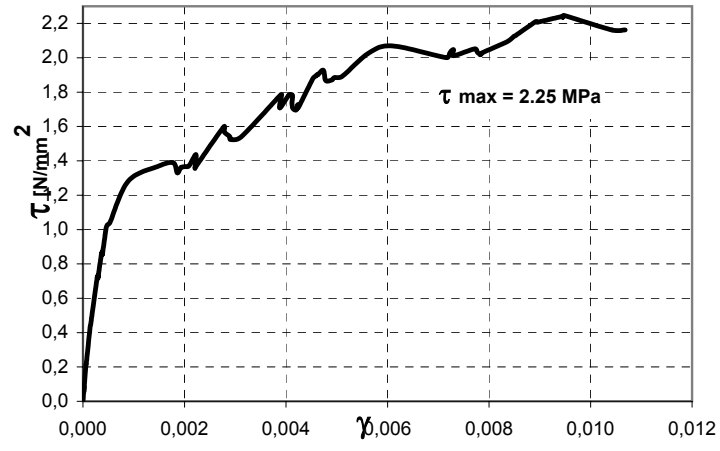
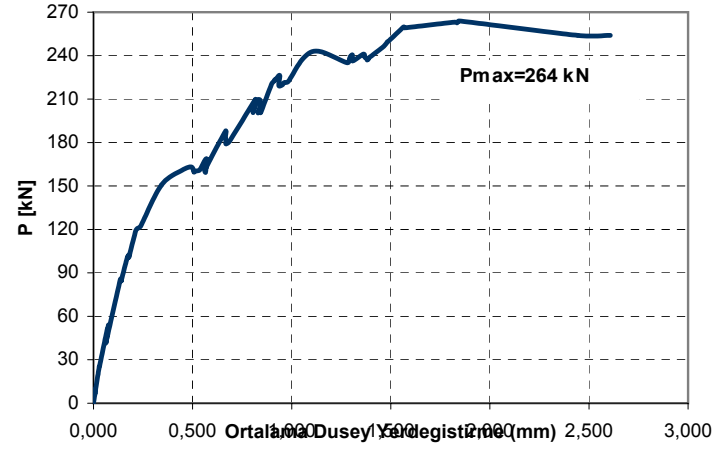
Şekil B.11 PTK 100 01 numnesinin yük-yerdeğiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri



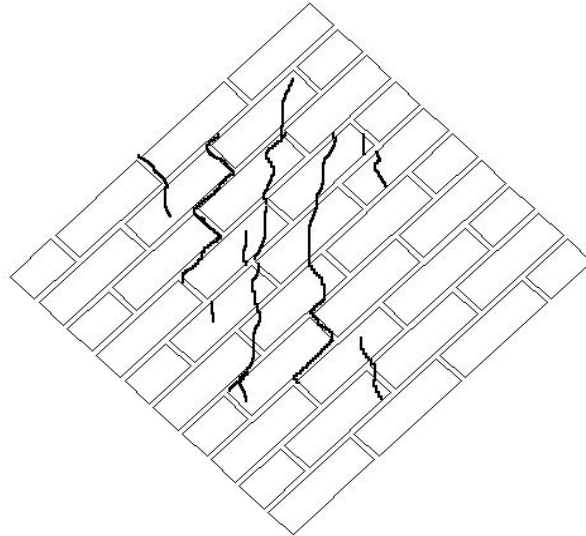
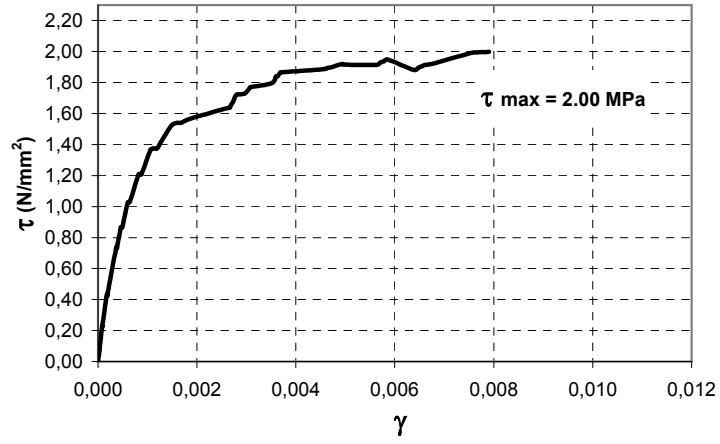
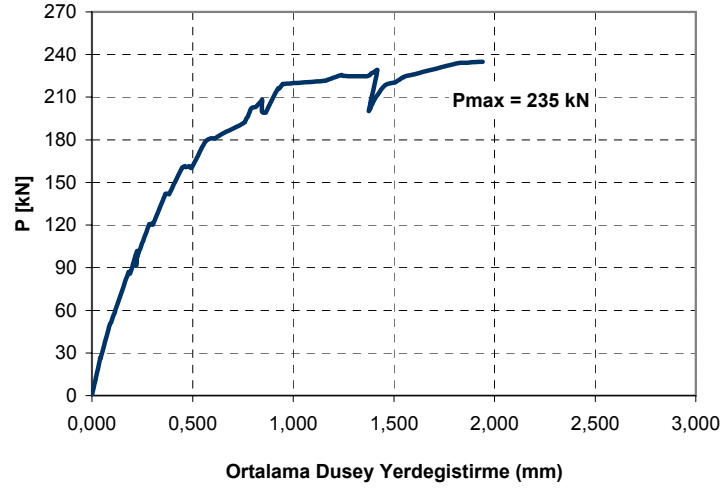
Şekil 5.19 PTK 200 01 numnesinin gerilme şekil değiştirme grafikleri

EK C

DİYAGONAL BASINÇ DENEYİ ŞEKİLLERİ



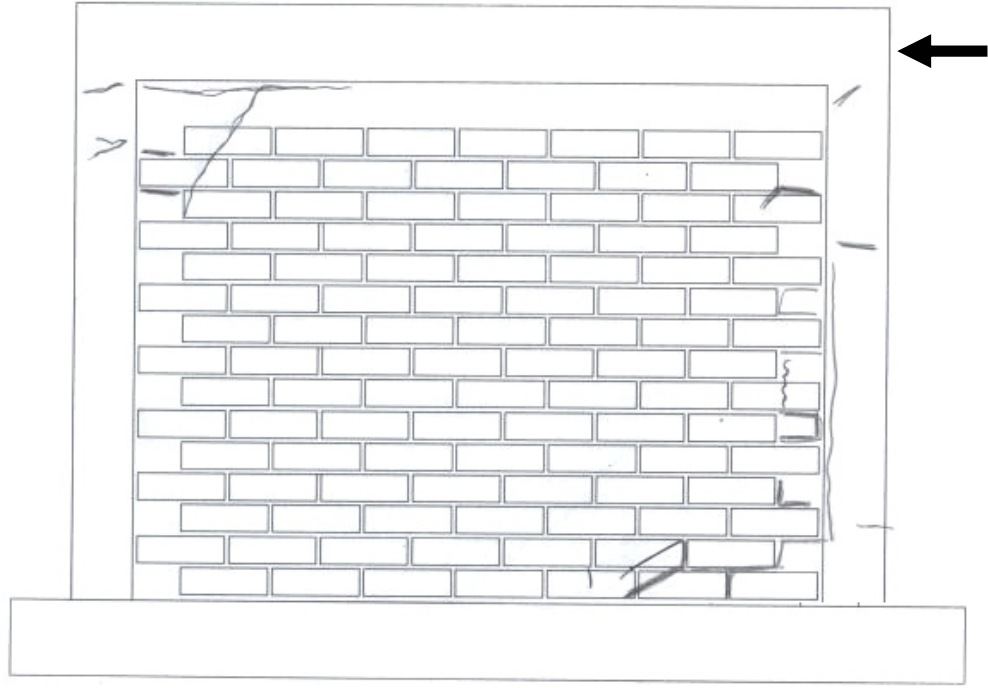
Şekil C.1 PT 1 20 yük yerdeğiştirme, gerilme kayma açısı ve göçme anından hemen önceki hasar durumu



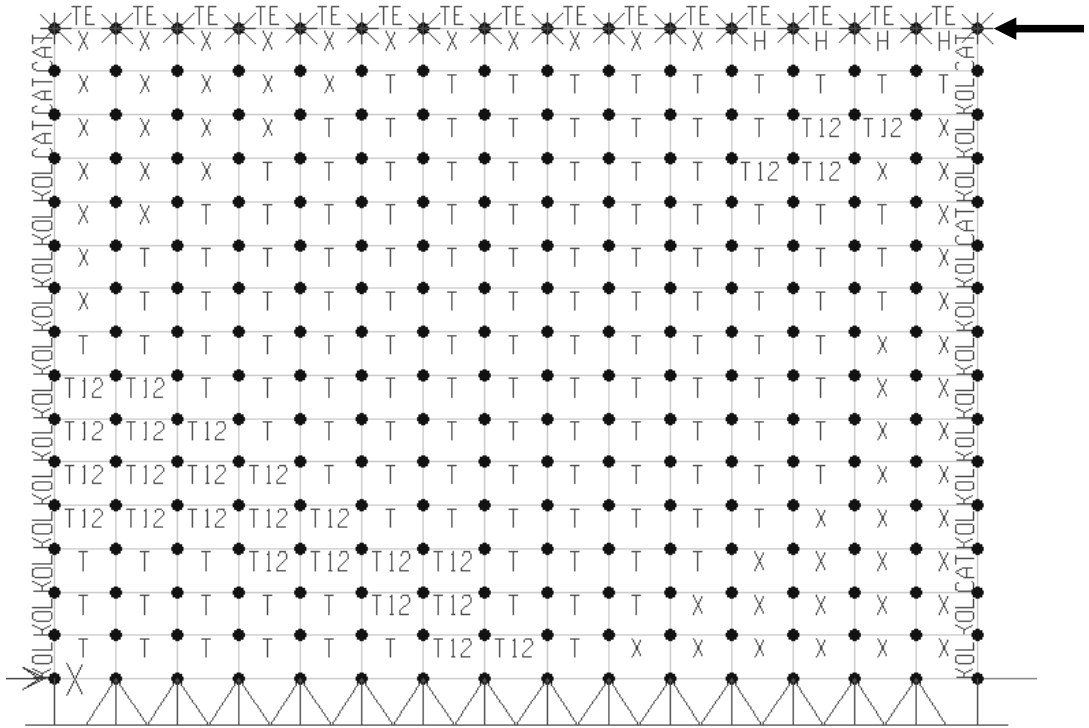
Şekil C.2 PT 20 yük yerdeğiştirme ve gerilme kayma açısı göçme anından hemen önceki hasar durumu

EK D

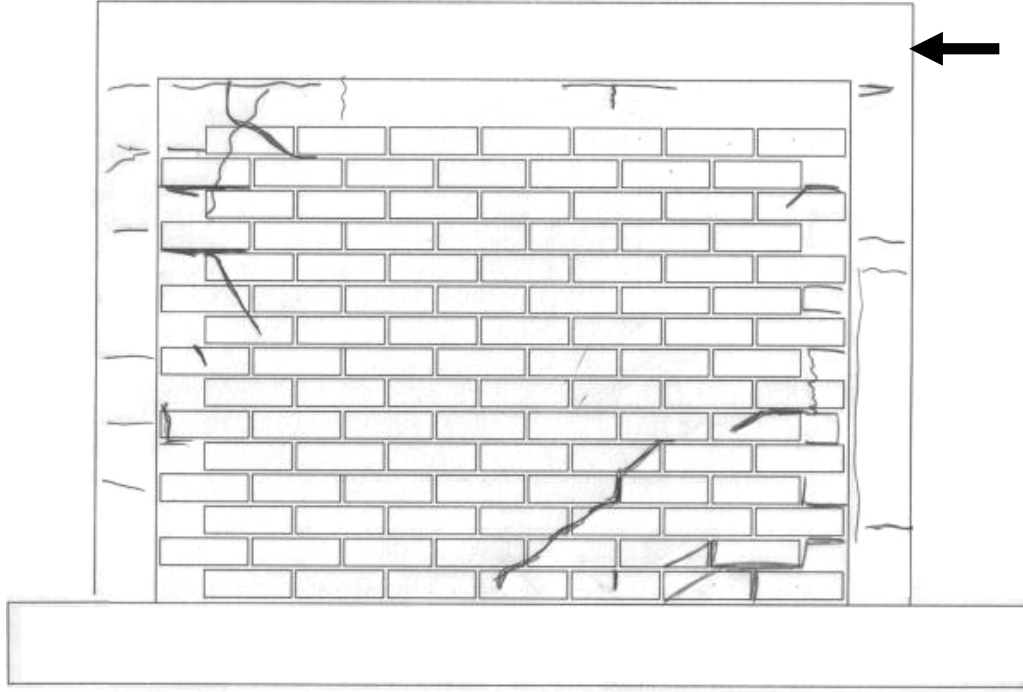
KURAMSAL ÇALIŞMA ŞEKİLLERİ



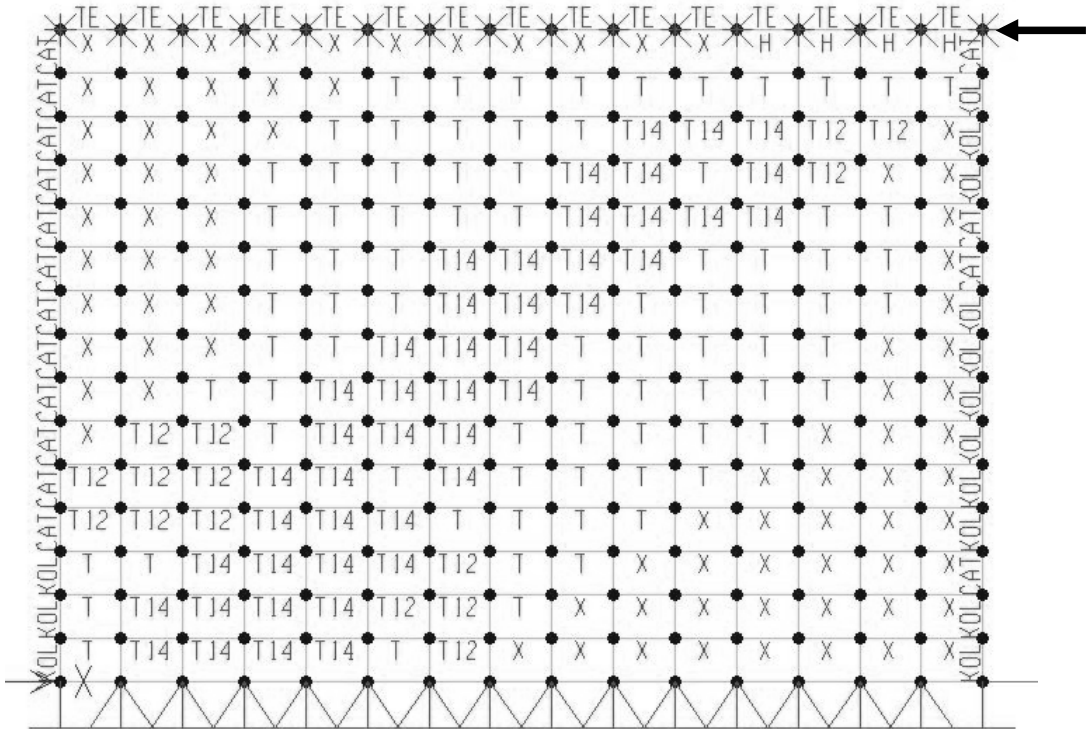
Şekil D.1 $\delta=1.400$ mm. seviyesinde deneyde görülen çatlaklar.



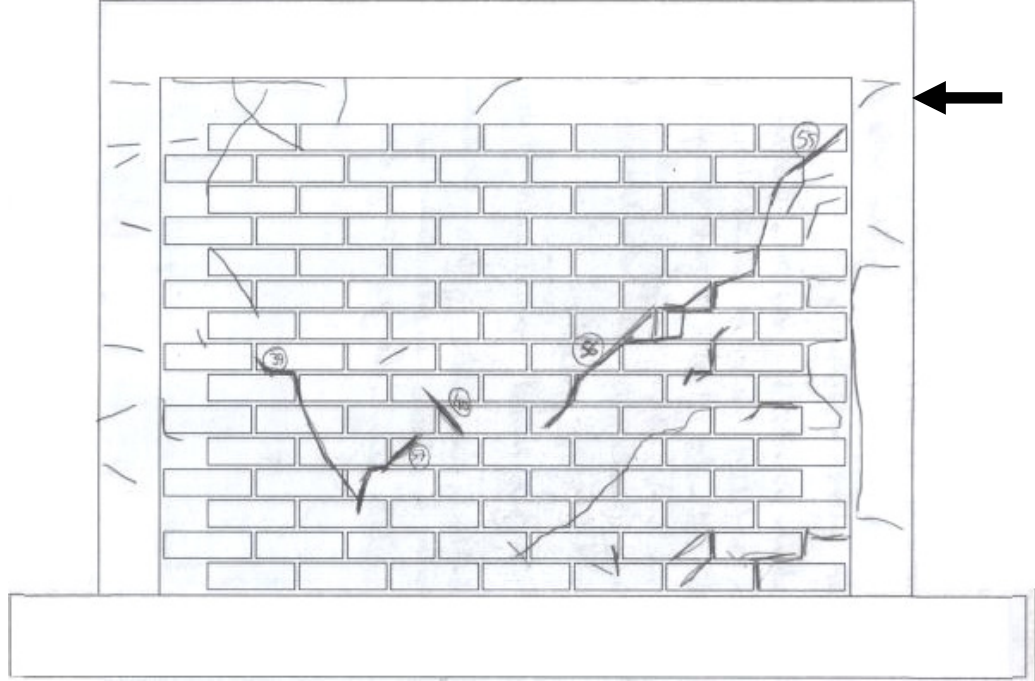
Şekil D.2 1,400 mm. Yer Değiştirme İçin Hazırlanan Matematik Modelde Eleman Tipleri



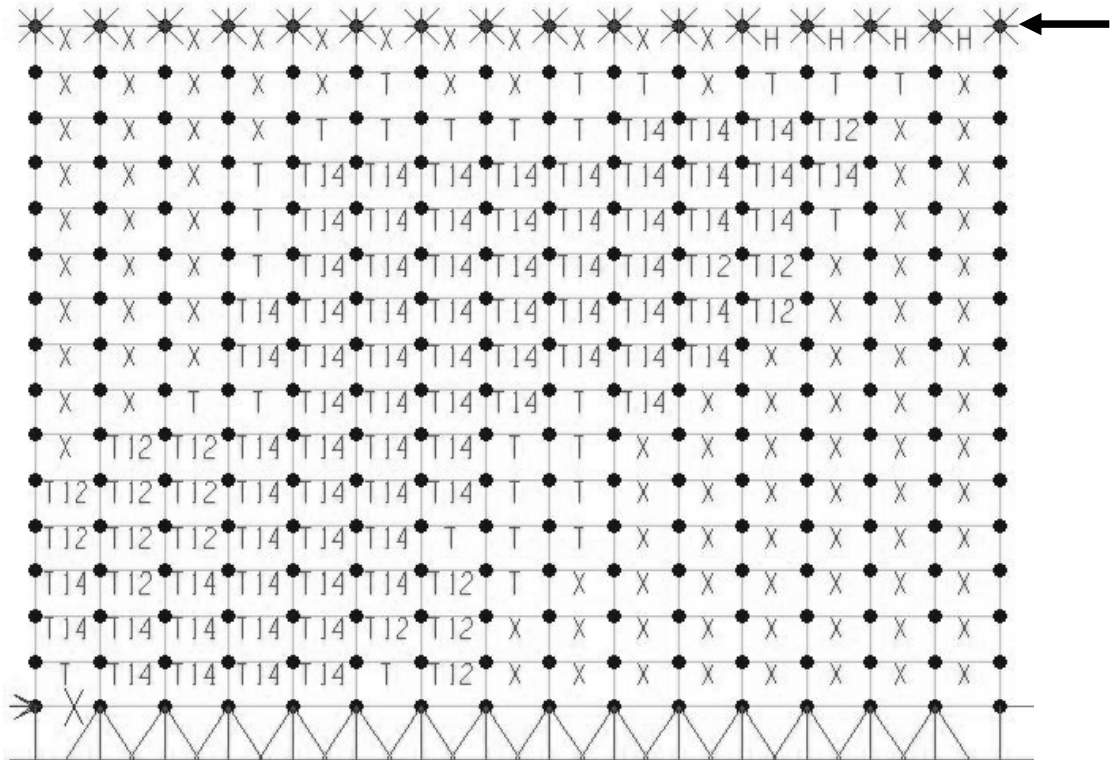
Şekil D.3 $\delta=2.800$ mm. seviyesinde deneyde görülen çatlaklar.



Şekil D.4 2,800 mm. Yer Değiştirme İçin Hazırlanan Matematik Modelde Eleman Tipleri



Şekil D.5 $\delta=5.600$ mm. seviyesinde deneyde görülen çatlaklar.



Şekil D.6 5,600 mm. Yer Değiştirme İçin Hazırlanan Matematik Modelde Eleman Tipleri

ÖZGEÇMİŞ

Batur Yücesan 1979'da İstanbul'da doğdu. İlkokulu İzmit İsmet İnönü İlkokulu'nda okuduktan sonra F.M.V. Özel Nişantaşı Işık Lisesini 1998'de bitirdi. Lisans Eğitimini 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği'nde tamamladı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Tasarımı ve Analiz Programına kabul edildi.