

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÖZEL TUĞLALARDAN
YAPILMIŞ DUVARLARDA KAYMA DAYANIMI**

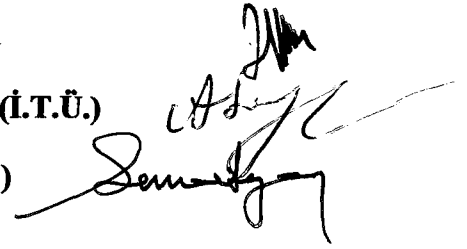
**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Gülseren EROL
(501981042)**

101323

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09 Ağustos 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Ağustos 2001**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Ahmet Işın SAYGUN (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Semih TEZCAN (B.Ü.)**



AĞUSTOS 2001

ÖNSÖZ

Çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma sırasında bana her konuda yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL'e ve tüm İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca destek ve yardımlarından dolayı aileme, İnşaat Mühendisi Serdar GEÇİLİ'ye, Araş. Gör. Nilüfer ÖZYURT'a ve kaynak araştırmama katkıları için Araş. Gör. Haluk SESİĞÜR'e teşekkür ederim.

Ağustos, 2001

Gülseren EROL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Kapsamı ve Önceki Çalışmalar	1
1.2. Yapısal Davranış	7
1.2.1. Yatay ve Düşey Yük Taşıyıcı Yığma Duvarlar	7
1.2.2. Yatay Yükün Duvarlara Dağılımı	7
1.2.2.1. Diyaframların Rijitliği	8
1.2.2.2. Duvarların Rölatif Rijitlikleri	9
1.2.2.3. Duvarların Plandaki Yerleşimi	11
1.2.3. Yatay ve Düşey Yük Taşıyıcı Yığma Duvarların Göçme Şekilleri	11
1.2.3.1. Dönmeden Yatay Ötelenme Göçmesi	12
1.2.3.2. Eğilme Göçmesi	12
1.2.3.3. Kayma Göçmesi	12
1.2.4. Donatılı Yatay ve Düşey Yük Taşıyıcı Yığma Duvarlar	14
1.2.5. Yığma Dolgu Duvarlar	15
2. KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	18
2.1. Tuğlanın Malzeme Özellikleri	18
2.2. Donatının Malzeme Özellikleri	21
2.3. Harçların Malzeme Özellikleri	22
3. YARDIMCI DENEYLER	29
3.1. Deneysel Çalışma	29
3.2. Ölçüm ve Yükleme Sistemi	30
3.3. Gerilme ve Yerdeğiştirmeler	31
3.4. Düşey yüklenen Elemanların Davranışı	32

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34
4.1. Numunelerin Şekli ve Hazırlanması	34
4.1.1. Numunelerin Boyutları ve Çeşitleri	34
4.1.2. Numunelerin Üretimi	35
4.2. Deney Tekniği ve Programı	37
4.2.1. Numunelerin Deneye Hazırlanması	37
4.2.2. Yükleme	38
4.2.3. Yerdeğiştirme Okumaları	39
4.2.4. Deney Verilerinin Toplanması ve Ölçüm sistemi	39
4.3. Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi	41
4.3.1. Taşıma Kapasitelerine Göre Değerlendirme	43
4.3.2. Kayma Gerilmesi- Kayma Şekil Değiştirmesi İlişkisi	45
4.3.3. Göçme Şekillerine Göre Değerlendirme	47
5.3. Deney Tekniğinin Değerlendirilmesi	47
5. KURAMSAL ÇALIŞMALAR	49
5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Geliştirilen Deney Modeli	49
5.1.1. Parça Sayısı, Yükleme ve Mesnetlenme Koşulları	49
5.1.2. Poisson Oranı ve Sonuçların Karşılaştırılması	51
5.2. Yaklaşık Taşıma Kapasitesi ve Eşdeğer Çubuk Rijitliği	53
6.SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	67
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	113

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Akkonak1 tuğlası numunelerinin basınç deneyleri sonuçları..... 19
Tablo 2.2	Akkonak2 tuğlası numunelerinin basınç deneyleri sonuçları..... 20
Tablo 2.3	Gavurpınarı tuğlası numunelerinin basınç deneyleri sonuçları..... 20
Tablo 2.4	Donatı1'in malzeme özellikleri..... 21
Tablo 2.5	Donatı2'nin malzeme özellikleri..... 21
Tablo 2.6	Donatı3'ün malzeme özellikleri..... 22
Tablo 2.7	Çeşitli harç karışımlarından alınan numune miktarları..... 23
Tablo 2.8	Karışım1 küp basınç deneyi sonuçları..... 24
Tablo 2.9	Karışım2 küp basınç deneyi sonuçları..... 25
Tablo 2.10	Özel harç BL07 küp basınç deneyi sonuçları..... 26
Tablo 2.11	BL07 harcı silindir numuneleri basınç deneyi sonuçları..... 27
Tablo 2.12	Eğilme deneyi sonuçları..... 28
Tablo 3.1	Üç ve dört sıralı eleman deneylerinde kullanılan numuneler..... 31
Tablo 3.2	Küçük duvar numunelerinin E ve E _u değerleri 33
Tablo 4.1	Numune grupları ve malzeme özellikleri..... 36
Tablo 4.2	Duvar numunelerinin taşıdıkları en büyük kayma gerilmeleri..... 43
Tablo 4.3	S40, S55, S56 ve S58'in G _e ve G _u değerleri..... 46
Tablo 5.1	Model sonuçları ve deney verilerinin karşılaştırılması..... 53
Tablo 5.2	Donatısız numunelerin yaklaşık taşıma kapasitesi..... 57
Tablo 5.3	İki donatılı numunelerin yaklaşık taşıma kapasitesi..... 57
Tablo 5.4	Dört donatılı numunelerin yaklaşık taşıma kapasitesi..... 58
Tablo 5.5	Altı donatılı numunelerin yaklaşık taşıma kapasitesi..... 58
Tablo 5.6	Donatısız numunelerin α katsayıları kullanılarak hesaplanmış yaklaşık taşıma kapasiteleri..... 61
Tablo 5.7	İki donatılı numunelerin α katsayıları kullanılarak hesaplanmış yaklaşık taşıma kapasiteleri..... 61
Tablo 5.8	Dört donatılı numunelerin α katsayıları kullanılarak hesaplanmış yaklaşık taşıma kapasiteleri..... 62
Tablo 5.9	Altı donatılı numunelerin α katsayıları kullanılarak hesaplanmış yaklaşık taşıma kapasiteleri..... 62

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Taşıyıcı delikli tuğlanın τ - σ bağıntısı.....	3
Şekil 1.2 : Püskürtme beton paneller deney düzeneği.....	4
Şekil 1.3 : Betonarme paneller deney düzeneği ve yükün uygulanma şeması.....	5
Şekil 1.4 : Yatay yükün duvarlara dağılımı.....	8
Şekil 1.5 : Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların moment ve kayma kuvvetleri etkisinde yaptıkları yerdeğiştirme.....	10
Şekil 1.6 : Duvar başlık şekilleri.....	11
Şekil 1.7 : Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri.....	12
Şekil 1.8 : Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlar deney teknikleri.....	15
Şekil 1.9 : Yığma dolgu duvarların ve çerçevelerin yatay yük altında davranışları.....	16
Şekil 2.1 : Boşluklu blok tuğlaların boyutları.....	18
Şekil 2.2 : Akkonak1, Akkonak2 ve Gavurpınarı boşluklu blok tuğlaları.....	19
Şekil 3.1 : Küçük duvar numuneleri yükleme şekilleri.....	29
Şekil 4.1 : Duvar numunesinin boyutları.....	34
Şekil 4.2 : Altı donatılı numunelerde donatı yerleşimi.....	35
Şekil 4.3 : Dört donatılı numunelerde donatı yerleşimi.....	35
Şekil 4.4 : İki donatılı numunelerde donatı yerleşimi.....	35
Şekil 4.5 : Deney düzeneği.....	38
Şekil 4.6 : Yerdeğiştirme ölçerlerin numune üzerindeki yerleşim şeması.....	40
Şekil 4.7 : Yerdeğiştirme ölçerlerin ölçüm noktasına yerleşim şeması.....	41
Şekil 4.8 : Deney numunelerinin yüklenme şekli.....	42
Şekil 4.9 : Grup 2 τ - γ ilişkisi.....	45
Şekil 4.10 : Numune 55'in τ - γ diyagramı.....	46
Şekil 4.11 : Yükün uniform dağılımının sağlanması.....	48
Şekil 5.1 : Yatay ve tekil yük etkileyen modelin yükleme ve mesnetleme şekli.....	50
Şekil 5.2 : Yatay ve düşey üçgen yayılı yük etkileyen modelin yükleme şekli.....	50
Şekil 5.3 : Her iki yükleme durumuna göre çizilen δ_y -parça sayısı eğrileri.....	51
Şekil 5.4 : Orta düğüm noktası ankastre mesnetli model.....	51
Şekil 5.5 : S63'ün yük yerdeğiştirme eğrisi.....	52
Şekil 5.6 : S59'un yük yerdeğiştirme eğrisi.....	53
Şekil 5.7 : S63'ün yük yerdeğiştirme eğrisi ve modelden elde edilen sonuçlar...	54
Şekil 5.8 : S59'un yük yerdeğiştirme eğrisi ve modelden elde edilen sonuçlar...	54
Şekil 5.9 : Örnek bir kırılma yüzeyi rölevesi.....	56
Şekil 5.10 : Donatısız numunelerde harç cinslerine göre hesaplanmış α katsayıları.....	56
Şekil 5.11 : Tüm numunelerin α katsayısı-harç basınç dayanımı grafiği.....	59
Şekil 5.12 : Altı ve dört donatılı numunelerin ortak α katsayısı-harç dayanımı eğrisi.....	60

Şekil 5.13	: İki donatılı ve donatısız numunelerin ortak α katsayısı-harc dayanımı eğrisi.....	60
Şekil A.1	: Numuneler S 40-41-42-43'ün τ - γ diyagramları.....	70
Şekil A.2	: Numuneler S 44-45-46-47'nin τ - γ diyagramları.....	71
Şekil A.3	: Numuneler S 48-49-50-51'in τ - γ diyagramları.....	72
Şekil A.4	: Numuneler S 52-53-54-55'in τ - γ diyagramları.....	73
Şekil A.5	: Numuneler S 56-57-58-59'un τ - γ diyagramları.....	74
Şekil A.6	: Numuneler S 60-61-62-63'ün τ - γ diyagramları.....	75
Şekil A.7	: Numuneler S 64-65-66-67'nin τ - γ diyagramları.....	76
Şekil A.8	: Numuneler S 68-69-70-71'in τ - γ diyagramları.....	77
Şekil A.9	: Donatısız numunelerin τ - γ diyagramları.....	78
Şekil A.10	: İki donatılı numunelerin τ - γ diyagramları.....	79
Şekil A.11	: Dört donatılı numunelerin τ - γ diyagramları.....	80
Şekil A.12	: Altı donatılı numunelerin τ - γ diyagramları.....	81
Şekil A.13	: Numune S 40'ın τ - γ diyagramı.....	82
Şekil A.14	: Numune S 56'nın τ - γ diyagramı.....	83
Şekil A.15	: Numune S 58'in τ - γ diyagramı.....	84
Şekil A.16	: Numune S 55'in P- δ diyagramı.....	85
Şekil A.17	: Numune S 56'in P- δ diyagramı.....	86
Şekil B.1	: Numunelerin yerleşimi.....	88
Şekil B.2	: Yerdeğiştirme ölçerlerin, ölçüm noktalarını teşkil eden korniyerlere yerleşimi.....	89
Şekil B.3	: İki donatılı numune S 50'nin göçme şekli	90
Şekil B.4	: Dört donatılı numune S 45'in göçme şekli.....	91
Şekil B.5	: Numune S 45'in kırılma detayı.....	92
Şekil B.6	: Altı donatılı bir numunenin göçme şekli.....	93
Şekil B.7	: Düşey ve yatay derzler boyunca devam eden çatlaklar.....	94
Şekil B.8	: Donatılı bir numunenin kırılma detayı.....	95
Şekil B.9	: Donatı yerleştirilen boşlukların yüzeyindeki tuğlaların dökülmesi....	96
Şekil B.10	: Altı donatılı bir numunenin kırılma detayı.....	97
Şekil B.11	: Altı donatılı bir numunede yüzeydeki tuğlaların dökülmesi.....	98
Şekil B.12	: Bir numunenin kırılma detayı.....	99
Şekil B.13	: Dört donatılı numune S 48'in göçme şekli.....	100
Şekil B.14	: Altı donatılı bir numunenin göçme şekli.....	101
Şekil C.1	: Numuneler S 40-41-42-43'ün çatlak rölöveleri.....	103
Şekil C.2	: Numuneler S 44-45-46-47'nin çatlak rölöveleri.....	104
Şekil C.3	: Numuneler S 48-49-50-51'in çatlak rölöveleri.....	105
Şekil C.4	: Numuneler S 52-53-54-55'in çatlak rölöveleri.....	106
Şekil C.5	: Numuneler S 56-57-58-59'un çatlak rölöveleri.....	107
Şekil C.6	: Numuneler S 60-61-62-63'ün çatlak rölöveleri.....	108
Şekil C.7	: Numuneler S 64-65-66-67'nin çatlak rölöveleri.....	109
Şekil C.8	: Numuneler S 68-69-70-71'in çatlak rölöveleri.....	110
Şekil C.9	: Numuneler S 72-73-74-75'in çatlak rölöveleri.....	111
Şekil C.10	: Referans numunesi S 76'nın çatlak rölöveleri.....	112

SEMBOL LİSTESİ

A	: Duvar kesit alanı
A_b	: Brüt kesit alanı
a	: Bir yığma duvarın moment ve kayma kuvvetleri etkisinde yapacağı toplam yerdeğiştirme
a_k	: Bir yığma duvarın kayma kuvveti etkisinde yapacağı yerdeğiştirme
a_m	: Bir yığma duvarın moment kuvveti etkisinde yapacağı yerdeğiştirme
D	: Nervürlü tip donatılar için gerçek çap
D₀	: Düşey yerdeğiştirme ölçüm noktaları arasındaki mesafe
E, E_m	: Elastisite modülü
E_u	: Sünek davranışı ifade eden elastisite modülü
F	: Eşdeğer çubuk kesit alanı
f_{hk}	: Harç basınç dayanımı
f_{htk}	: Harç çekme dayanımı
f_{v,m}	: Yığma duvarın ortalama kayma dayanımı
f₂	: Harç basınç dayanımı
G_e, G_m	: Kayma modülü
G_u	: Sünek davranışı ifade eden kayma modülü
h	: Duvar yüksekliği
I	: Yığma duvarın ilgili eksene göre atalet momenti
k, k₁, k₂	: 150x150x150 mm boyutlarındaki küp dayanımlarına geçiş katsayıları
k₅	: Yığma yapı elemanının cinsine bağlı katsayı
k₃₃	: Eşdeğer çubuk rijitliği
l	: Duvarın genişliği
l₀	: İlk boy
N	: Düşey basınç kuvvetinin duvar numunesinin yatay derzlerine dik bileşeni
P	: Basınç kuvveti
P_{max}	: Taşman en büyük basınç kuvveti
Q	: Düşey basınç kuvvetinin duvar numunesinin yatay derzlerine paralel bileşini
t	: Kalınlık
V	: Kayma kuvveti
W	: Mukavemet momenti
α	: Harç cinsine göre katsayı
α_s	: Kayma şekil değiştirmesi katsayısı
ΔH	: Yüklemeye dik doğrultudaki uzamalar
Δl	: Boydaki değişim miktarı
ΔV	: Yükleme doğrultusundaki kısalmalar
δ_x, δ_y	: Yüklemeye dik ve yükleme doğrultusundaki yerdeğiştirme değerleri
ε	: Şekil değiştirme
θ	: Çap

γ	: Kayma açısı
μ	: Sürtünme katsayısı
ν	: Poisson oranı
τ	: Kayma gerilmesi
$\tau_{\max}$	: Taşınan en büyük kayma gerilmesi
τ_0	: Düşey eksenel basıncın olmaması durumunda kesme aderans taşıma gücü
σ	: Normal gerilme
$\sigma_{\max}$	: Taşınan en büyük normal gerilme
σ_0	: Düşey eksenel yükten dolayı oluşan basınç gerilmesi



YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÖZEL TUĞLALARDAN YAPILMIŞ DUVARLARDA KAYMA DAYANIMI

ÖZET

Ülkemizde, gerek kırsal kesimlerde gerekse kentlerde inşaa edilen yapıların önemli bir kısmı yığma yapılardan meydana gelmektedir. Yığma yapıların davranışlarının incelenmesi üzerine daha çok araştırma yapılması gereklidir. Türkiye'nin sismik olarak aktif bir bölgede bulunması dolayısı ile bu araştırmaların, yığma yapıların yatay yükler altındaki davranışlarının anlaşılması konusunda yoğunlaşmasının önemli olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada yüksek mukavemetli özel tuğlalardan üretilmiş duvarların, düzlemleri içerisindeki yatay yükler altında kayma dayanımları incelenmiştir. İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda, 755 mm x 755 mm x 120 mm boyutlarında 40 adet duvar numunesi, ASTM C 1391-81 standartında tanımlanan deney tekniği kullanılarak denenmiştir. Duvar numuneleri göçmeye kadar zorlanmış ve doğrusal olmayan bölgede kayma dayanımlarının ve duvar kesitlerinin kayma rijitliklerinin değişimi saptanmıştır. Tuğla duvar numunelerinin kayma rijitliklerinin bilinmesi, yığma duvarların ve dolgu duvarların, iki eksenli gerilme halindeki davranışlarının modellenmesi açısından gereklidir. Bu tezin konusu olan deney çalışması, İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar ve yığma dolgu duvarlar üzerine sürdürülmekte olan araştırmaların bir parçasıdır ve amaçlanan hedef, bunların yatay yük altındaki davranışlarının modellenmesi ve taşıyıcı sistemlerin yatay yükler altında çözümlerinde yığma dolgu duvarlarının katkısının da gözönüne alındığı bir hesap yöntemi geliştirilmesidir.

Deneysel çalışmada, ASTM 1391-81'de önerilen, yığma duvar numuneleri için standart kayma gerilmesi deney tekniği kullanılmıştır. Dört adet numuneden oluşan seriler halinde üretilmiş olan kırk adet duvar numunesinin donatı oranları, tuğla ve harç cinsleri farklılık göstermektedir. Numunelere, yatay derzleri yükleme ile 45°'lik açı yapacak şekilde düşey basınç kuvveti uygulanmış ve kırılma yükleri, kırılma şekilleri, çatlak rölöveleri ve artan yük kademelerinde yerdeğiştirme okumaları kayıt edilmiştir. Bu kayıtlardan elde edilen veriler taşıma kapasitelerine, kayma gerilmesi-kayma açısı ilişkilerine ve göçme şekillerine göre değerlendirilmiş ve çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır. Değerlendirmeler sırasında, eleman deneyleri ile üç ve dört sıralı küçük duvar numuneleri deneylerinin verilerinden yararlanılmıştır.

Kuramsal çalışmada, duvar numuneleri homojen kabulü yapılarak modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Hesaplar SAP 2000 bilgisayar programı ile yapılmış ve bulunan değerler ile deneysel çalışmadan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, harç dayanımının taşıma kapasitelerini etkileyen önemli bir faktör olduğu gözönüne alınarak, harç basınç dayanımı ve duvar numunesi yük taşıma kapasitesi arasında bir ilişki tayin edilmeye çalışılmıştır. Köşegeni doğrultusunda basınca maruz kalan deney numunesinin, eşdeğer bir çubuk ile ifade edilmesi istendiğinde, deney verileri kullanılarak hesaplanabilen bir eşdeğer çubuk rijitliği değeri önerilmiştir.

Deneysel ve kuramsal çalıřmalardan elde edilen sonuçlar maddeler halinde özetlenmiştir.



THE SHEAR STRENGTH OF WALLS MADE OF SPECIAL HIGH-STRENGTH MASONRY UNITS

SUMMARY

The vast majority of buildings constructed both in rural and urban areas of Turkey are masonry structures. Therefore, more studies should be carried out on masonry structures especially for having better understanding of the behavior of masonry walls subjected to horizontal loads, as well.

In this study, the shear strength of walls made of special high-strength masonry units under in-plane horizontal loads is examined. Forty wall specimens, having the dimensions of 755 mm x 755 mm x 120 mm, were tested using the test method proposed in ASTM Standards C 1391-81 at Istanbul Technical University Structural and Earthquake Engineering Laboratory. The wall specimens were forced to collapse and the change of shear strengths and shear stiffness of the wall sections were determined. The experimental study mentioned in this thesis is the part of the comprehensive experimental studies on masonry shear walls and infill walls, which have being conducted at I.T.U. Structural and Earthquake Engineering Laboratory, in the aim of modeling their behavior under horizontal loads and determining a design method for load-bearing systems under horizontal loads which takes into consideration of the effects of masonry infill walls.

In experimental studies, three different types of mortar and masonry units were used. Wall specimens separated into series of four specimens made of with the same type of mortar and masonry unit but having different amount of reinforcement. Vertical compressive force was applied to the wall specimens with an angle of 45° between the direction of the load and horizontal mortar beds of the specimens. The displacement values with the increasing loads, failure loads and crack patterns were recorded. The experimental data were evaluated according to three parameters, which are ultimate shear capacities, shear stress-shear strain relations and failure modes.

In theoretical studies, the wall specimens were modeled with two assumptions. These assumptions are plain stress and homogeneous material. The model was solved using the finite elements method. SAP 2000 computer program was used to make these calculations and the findings were compared with the experimental data. Furthermore, a relation between the mortar compressive strength and the load bearing capacity of the wall specimens were determined and an equivalent strut member stiffness, which can be calculated through the experimental data, for the wall specimen subjected to compressive force in diagonal direction were suggested.

The results reached by the experimental and theoretical studies are listed in the conclusion part of this study.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Kapsamı ve Önceki Çalışmalar

Ülkemizde, gerek kırsal kesimlerde gerekse kentlerde inşaa edilen yapıların önemli bir kısmı yığma yapılardan meydana gelmektedir. Bu durum, 2000 yılı bina sayımı sonuçları incelendiğinde daha iyi anlaşılabilir.

2000 yılı bina sayımı, belediyelerin mücavir alanlarına da uygulanmış ve bu bölgede toplam 224.971 bina tespit edilmiştir. Taşıyıcı sisteme göre, binaların %51,1'i yığma, %48,4'ü iskelet olarak inşaa edilmişlerdir. İnşaatların dolgu maddesi cinslerine göre ise en fazla payı %59,6 ile tuğla almaktadır. Bunu %18,0 ile briket, %9,8 ile taş ve %7,9 ile kerpiç izlemektedir.[1] Bu veriler dikkate alındığında, yığma yapıların davranışlarının incelenmesi üzerine daha çok araştırma yapılmasının önemi anlaşılmaktadır. Türkiye'nin sismik olarak aktif bir bölgede bulunması dolayısı ile bu araştırmaların, yığma yapıların yatay yükler altındaki davranışlarının anlaşılması konusunda yoğunlaşması gerekliliği açıkça görülmektedir.

Yığma yapıların düşey taşıyıcı elemanları duvarlardır. Duvarlara düşey yüklerin yanı sıra, deprem, rüzgar veya başka nedenlerle yatay yükler de etki edebilir. Düşey ve yatay yüklerin birlikte etkimesi halinde duvarlarda iki eksenli yükleme hali meydana gelmektedir. Kompozit bir malzeme olan duvarın, iki eksenli gerilme altındaki davranışının bilinmesi, yapının üzerine gelen yükleri emniyetle taşımasını sağlamak açısından büyük önem taşır.

Bu çalışmada yüksek mukavemetli özel tuğlalardan üretilmiş duvarların, düzlemleri içerisindeki yatay yükler altında kayma dayanımları incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda duvar numunelerinin göçmeye kadar zorlandığı deneyler yapılmış ve doğrusal olmayan bölgede tuğla duvar numunelerinin kayma dayanımının ve duvar kesitlerinin kayma rijitliklerinin değişimi saptanmıştır. Tuğla duvar numunelerinin kayma rijitliklerinin bilinmesi, yığma duvarların ve dolgu duvarların, iki eksenli gerilme halindeki davranışlarının modellenmesi açısından gereklidir. Bu tezin konusu olan deney çalışması, İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda yatay ve düşey

yük taşıyıcı yığma duvarlar ve yığma dolgu duvarlar üzerine sürdürülmekte olan araştırmaların bir parçasıdır ve amaçlanan hedef, bunların yatay yük altındaki davranışlarının modellenmesi ve taşıyıcı sistemlerin yatay yükler altında çözümlerinde yığma dolgu duvarlarının katkısının da gözönüne alındığı bir hesap yöntemi geliştirilmesidir.

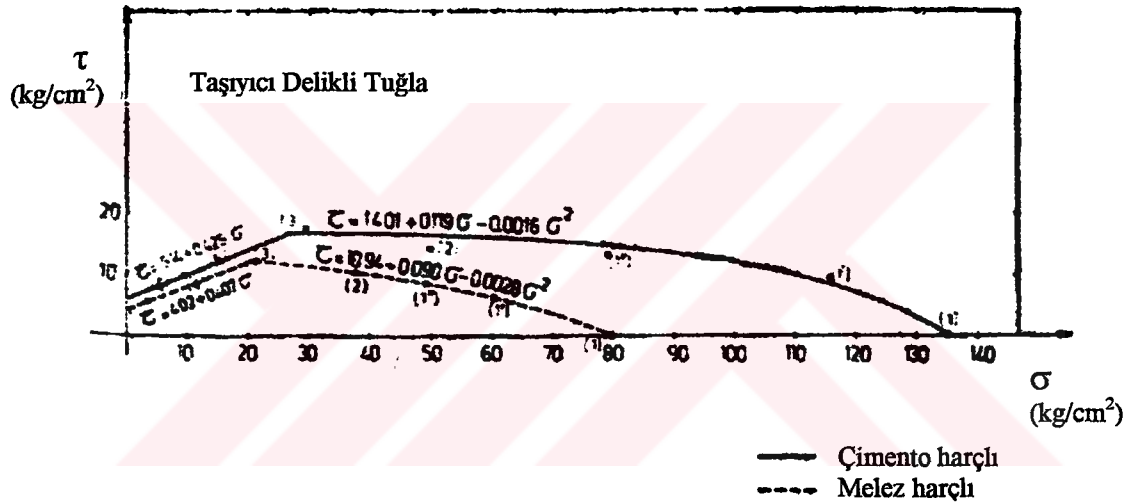
Deneysel çalışmada, ASTM 1391-81'de [2] önerilen, yığma duvar numuneleri için standart kayma gerilmesi deney tekniği kullanılmıştır. Bu deney tekniğine göre, 1200 mm x 1200 mm boyutlarındaki duvar numunelerinin kayma mukavemetlerini tesbit edilmesi için diyagonalleri doğrultusunda basınç kuvveti uygulanır. Numuneler, kuvvet kontrollü ve yükü sürekli tatbik edebilen bir veren kullanılarak yüklenmelidir. Basınç kuvvetinin numunelere aktarımı için iki adet çelik başlık imal edilir ve numuneler bu başlıklara şakülünde yerleştirilir. Yükleme doğrultusundaki kısalmaların ve yüklemeye dik doğrultudaki uzamaların ölçülmesi için iki metot önerilmektedir. Bu ölçümlerden elde edilen veriler ve verilen formüller ile numunelerin kayma gerilmeleri, kayma şekil değiştirmeleri ve kayma modülü hesaplanabilir.

Dört adet numuneden oluşan seriler halinde üretilmiş olan kırk adet duvar numunesinin tuğla ve harç cinsleri, donatı oranları farklılık göstermektedir. Numunelere, yatay derzleri yükleme ile 45°'lik açı yapacak şekilde düşey basınç kuvveti uygulanmış ve kırılma yükleri, kırılma şekilleri, çatlak rölöveleri ve artan yük kademelerinde yerdeğiştirme okumaları kayıt edilmiştir. Bu kayıtlardan elde edilen veriler düzenlenmiş ve sonuçlar çıkarılmıştır. Farklı donatı oranlarında üretilmiş numunelerden elde edilen veriler ile numunenin donatı oranının, duvar kayma dayanımına olan katkısı da araştırılmıştır.

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar ve yığma dolgu duvarların kayma davranışlarını araştırmak amaçlı birçok çalışma yapılmıştır.

Yorulmaz, M. ve Altan, Y., yapı taşı olarak taşıyıcı delikli tuğla, Ytong ve karkas dolgu tuğlası (boşluklu tuğla), harç olarak da çimento harcı ve melez harç kullanarak üretilen model duvar numunelerinin iki istikametli yükleme altındaki davranışlarını incelemişlerdir. [3] Numunelerde iki istikametli yükleme hali, yatay derzleri ile çeşitli açılar yapan basınç kuvvetleri uygulanarak elde edilmiştir. Numunelerin taşıma gücünü kaybetmesinin , derz boyunca harç ve yapı taşı arasındaki bağın sona

ermesiyle meydana gelen kayma kırılmaları veya duvar basınç mukavemetine erişilmesiyle meydana gelen basınç kırılmaları şeklinde olduğu gözlenmiştir. Kırılma hali için kayma gerilmesi-normal gerilme (τ - σ) bağıntısının, iyi bir yaklaşımla, kayma kırılmaları bölgesinde bir doğru ve basınç kırılmaları bölgesinde bir ikinci derece parabolü olarak ifade edilebileceği saptanmıştır. Şekil 1.1'de örnek bir τ - σ diyagramı verilmiştir. Kayma kırılmaları bölgesindeki doğrunun eğimi yapı taşı ile harç arasındaki sürtünme katsayısını, sabit terim ise yapı taşı ile harç arasındaki aderans mukavemetini göstermektedir. Bu tezin konusu olan çalışmada, duvar numunelerinin yatay derzleri ile 45° yapan basınç kuvvetleri uygulanarak yüklendikleri de gözönüne alınırsa, τ - σ diyagramının kayma kırılması bölgesinde sadece bir nokta ile ifade edilen değer tanımlanmıştır.

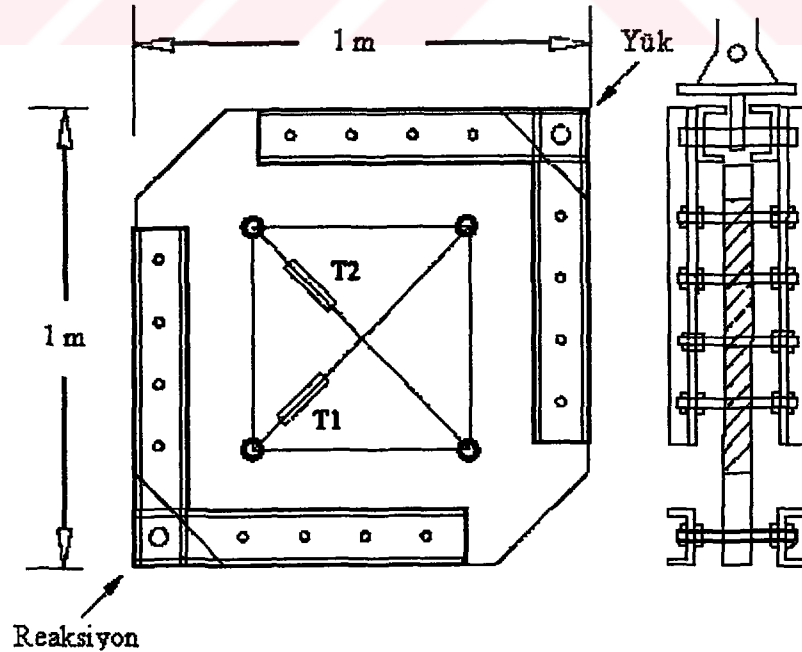


Şekil 1.1 Taşıyıcı delikli tuğlanın τ - σ bağıntısı

Begimgil, M. model tuğlalarla örülmüş duvar numunelerinin harçlarına çeşitli katkı maddeleri koyarak, tuğla ile harcın arasındaki aderansın iyileştirilmesi ve tuğla duvarın çekme dayanımını artırılması amaçlı deney çalışması yapmıştır. [4] Numunelerde iki eksenli gerilme hali oluşacak şekilde yükleme yapılmıştır. İki tip matematik model sonlu elemanlarla çözülerek, deney sonuçları kıyaslanmıştır.

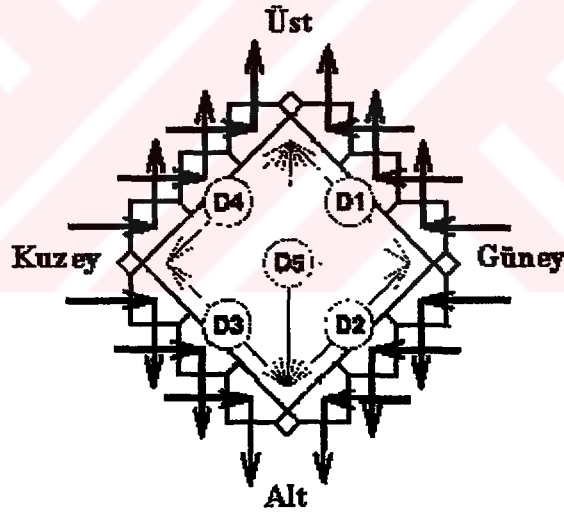
Mourtaja, W., yapısal eleman olarak veya betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi amaçlı kullanılan, püskürtme beton panellerinin lineer olmayan davranışlarını incelemiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak betonarme duvarlar ve püskürtme beton paneller için bir lineer olmayan analiz tekniği geliştirmiştir. [5] Püskürtme beton panellerle inşaa edilmiş az katlı binaların lineer olmayan davranışlarını

anlayabilmek için panellerin kayma gerilmeleri-kayma şekil değiştirmeleri arasındaki ilişkinin bilinmesi çok önemlidir çünkü bu tür yapılarda bütün yatay yük, püskürtme beton panellerden oluşan duvarlar tarafından taşınır ve bu duvarlarda kayma şekil değiştirmeleri, eğilme şekil değiştirmelerinden daha baskındır. Çalışmada, püskürtme beton panellerin kayma kuvvetleri etkisinde davranışlarının anlaşılması ve geliştirilen lineer olmayan analiz tekniğindeki rijitlik matrisinde yer alan malzemenin kayma modülünün tesbiti amaçlı bir seri deney yapılmıştır. Deneylerde, numune yatay düzlemde, altında kayıcı mesnet teşkil edilerek denenmiştir. Yük, otomatik kontrollü veren ile bir noktadan etkililmiş ve dört adet rijit yükleme koluna yerleştirilmiş dikey çubuklar vasıtasıyla numuneye uniform olarak dağıtılmıştır ve böylece numunede basit kayma hali oluşturulmuştur. Şekil değiştirmeler ise iki adet yerdeğiştirme ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Deney düzeneği Şekil 1.2’de görülmektedir. Bu deney tekniği, yükün numuneye uniform olarak dağıtılabilmesi, bu şekilde basit kayma halinin yeter yaklaşıklıkta sağlanabilmesi açısından uygun bir tekniktir fakat numuneye yükü dağıtan çubukların lineer olmayan şekil değiştirmeleri başladığı aşamada, herbir çubuk eşit şekil değiştirme yapacağı garantilenemez ve yükün numuneye dağılımı uniformluktan uzaklaşabilir. Numunenin yüklendiği ve ağırlığının etkidiği düzlemlerin farklı olması, ağırlık kuvvetlerinin deney sonuçlarını etkilememesi açısından bir avantajdır.



Şekil 1.2 Püskürtme beton paneller deney düzeneği

Itoh, M., Katoh, Y., Kanakubo, T. betonarme panellerin kayma dayanımları üzerine yaptıkları çalışmada, Collins M.P. ve Vecchio F.J.'nin bu konuda bir çeşit malzeme kullanarak yaptığı deney çalışmalarını, sınıfı ve dayanımı farklı birkaç çeşit beton ile tekrarlamış ve aynı metottan yararlanarak analiz etmiş ve önerilen metodun uygunluğu araştırmışlardır. [6] Kullanılan deney düzeneği Şekil 1.3'te görülmektedir. Farklı beton ve donatı sınıflarına ve donatı oranlarına sahip numuneler düşey düzlemde denenmiştir. Numunelerde basit kayma hali yaratılması amacıyla, yirmidört adet yük veren ile, numunenin diyagonalleri doğrultusunda çekme ve basınç kuvvetleri uygulanmıştır ve şekil değiştirmeler, yerdeğiştirme ölçerler ve şekil değiştirme ölçerler yardımıyla ölçülmüştür. Deneysel ve teorik çalışmaların değerlendirilmesi ile, farklı dayanımlardaki betonlar kullanılmasına rağmen, önerilen metodun yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Uygulanan deney tekniğinde yükün çok sayıda yük veren tarafından uygulanması nedeniyle, yük dağılımının uniformluktan uzaklaşması sözkonusu olabilir. Ayrıca, numunenin ağırlığının yüklerin etkidiği düzlemde olması bir dezavantaj yaratabilir.



Şekil 1.3 Betonarme paneller deney düzeneği ve yükün uygulanma şeması

Yorulmaz, M. ve Sözen, M.A., yaptıkları deney çalışması ile yedi adet yığma dolgu duvarlı ve üç adet dolgu duvarsız, küçük ölçekli, tek açıklıklı tek katlı betonarme çerçevelerin, yatay yükler altında göçme mekanizmalarını, yük taşıma ve enerji yutma kapasitelerini araştırmışlardır. [7] Dolgu duvarsız çerçevelerin analizi için bilinen metotlar kullanmış ve deney sonuçları ile teorik hesap yöntemlerinden elde edilen değerlerin uyumlu olduğunu gösterilmiştir. Yığma dolgu duvarlı çerçevelerin

çatlak oluşmadan önceki ve sonraki davranışları iki farklı metotla analiz edilmiş ve bu sonuçların da deney sonuçları ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Zarnic, R., betonarme çerçeve ve yığma dolgu duvardan oluşan sistemlerin, monoton artan yatay yükler ve dinamik yatay yükler altında elastik olmayan davranışlarını modelleyen iki matematik hesap yöntemi önermiştir. [8] Birinci hesap yöntemi, şekil değiştirmeler ve taban kesme kuvveti arasında ilişki kurmaktadır ve yığma dolgu duvarlı çerçevenin yük taşıma kapasitesi ve rijitliği hakkında bir fikir edinilebilmesine olanak sağlar. İkinci hesap yöntemi, yapıların dinamik analizi için kullanılan bir bilgisayar programına uygulandığında, dolgu duvarlı çerçevelerin dinamik analizinin yapılmasına imkan verir. Bu yöntemde çerçeve elemanları eğilme yayları, yığma dolgu duvar ise bir çift boyuna basınç yayı olarak modellenmiştir. DRAIN-2D programı kullanılarak elde edilen sonuçlar, otuzdört adet tek açıklıklı tek katlı numuneyle yapılan deneylerin sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen hesap yöntemlerinin uygunluğu görülmüştür. Yığma dolgu duvarın iki adetten fazla boyuna basınç yayı ile modellenmesi halinde, çerçevelerdeki ve özellikle dolgu duvardaki şekil değiştirmeler daha gerçekçi değerler vermektedir.

Lafuente, M., Castilla, E., Genatios, C., standartlarda yer alan basit deney tekniklerinin, gerçek boyutlardaki duvarların davranışlarını doğru olarak yansıtmadıklarını belirtmiş ve yatay yükler etkisindeki yığma duvarlar için deneylerden elde edilen sonuçların, bazı katsayılar kullanılarak düzeltilmesinin önerildiğini söylemişlerdir. [9]

Dajun, D., Çin’de 1378 yığma duvar numunesi ile yapılan deney sonuçları değerlendirilerek, ortalama kayma dayanımlarının hesaplanmasında,

$$f_{v,m} = k_5 \cdot \sqrt{f_2} \quad (1.1)$$

formülünün kullanılmasının önerildiğini belirtmiştir. [10] Burada $f_{v,m}$ yığma duvarın ortalama kayma dayanımını, k_5 yığma yapı elemanının cinsine bağlı katsayıyı, f_2 ise harcın basınç dayanımını ifade etmektedir.

1.2 Yapısal Davranış

1.2.1 Yatay ve Düşey Yük Taşıyıcı Yığma Duvarlar

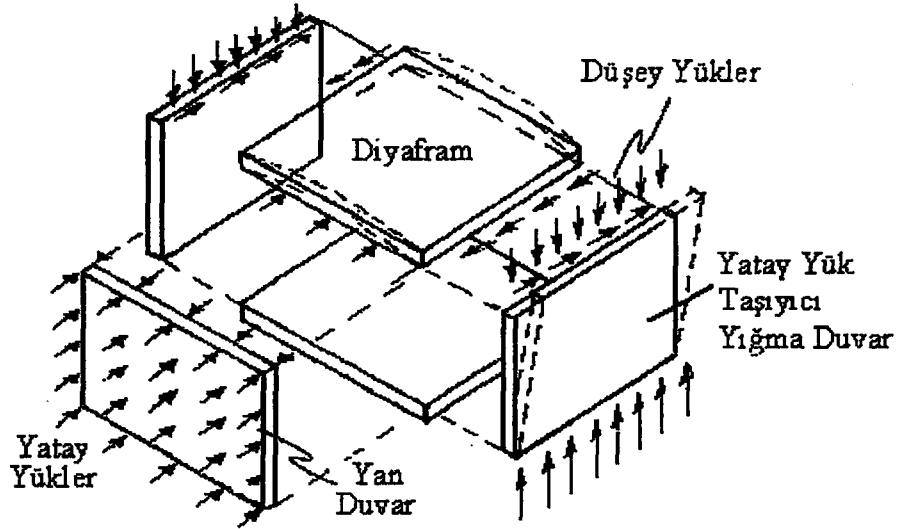
Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar, deprem veya rüzgar etkisiyle meydana gelen ve duvarlara, döşeme veya çatı gibi diyaframlar aracılığı ile iletilen, düzlem içi yatay yükleri taşır. Bunun yanı sıra, üst kattan ve çatı döşemesinden gelen aksel yüklerin de etkisi altındadırlar.

Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlar, donatılı veya donatısız olarak üretilebilirler. Tuğla gibi yığma yapı elemanları gevrek malzemelerdir ve çekme mukavemetleri çok düşüktür. Yapıya sadece düşey yükler etkidiği zaman bu özellik önemli bir dezavantaj oluşturmazsa da, duvarda büyük miktarda çekme gerilmeleri oluşturan yatay yükler etkin olduğunda, malzemenin bu karakteristik özelliği uygulamaya bazı kısıtlamalar getirir. Betonarme de olduğu gibi, yığma duvarlarda da donatı veya öngerilme elemanları kullanılarak bu dezavantajlar ortadan kaldırılabilir. Yığma duvarlarda donatı kullanılması, duvarın sünekliğini arttırdığı gibi göçme durumunda duvarın parçalanmasını önler ve hasarın miktarını azaltıcı etki yaratır. [11,12] Donatı, duvardaki düşey ve/veya yatay boşluklara yerleştirilir ve daha sonra bu boşluklar beton veya harç ile doldurulur. Donatı konulup betonla doldurmuş bu boşluklar, yığma duvarın içinde rijit bir betonarme çerçeve oluşturular. [13]

1.2.2 Yatay Yükün Duvarlara Dağılımı

Yan duvara gelen yatay kuvvet altında duvarın kesidi, uçlarından çatıya ya da kat döşemesine ve zemine oturan bir kiriş gibi davranarak, üzerine gelen yükü bitişik döşemelere veya çatıya aktarır. (Şekil 1.4) Diyafram olarak adlandırılan bu döşemeler yatay yükü, üzerlerine oturdukları kenar duvarlara düzlem içi kuvvet olacak şekilde iletirler. Bu yüklemeler altında kenar duvarlar yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar olarak çalışır. Bu durum çatı ve duvar arasında kuvvet aktarılmasını sağlayacak bir bağlantı olması halinde söz konusudur. [14,15]

Döşemeler tarafından her bir yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarına iletilen yatay yük miktarı üç etkene bağlıdır; bu etkenler diyaframların rijitliği ve duvarların plandaki yerleşimleri ve rölatif rijitlikleridir. [15]



Şekil 1.4 Yatay yükün duvarlara dağılımı

1.2.2.1 Diyaframların Rijitliği

Kuvvet aktarımının yukarıda anlatıldığı şekilde olabilmesi için çatı ya da kat döşemesinin belli bir rijitliği olması yani kendisinin şekil değiştirme yapmaması gerekir. Diyaframlar bu özellikleri dikkate alınarak iki gruba ayrılabilirler; rijit diyaframlar ve esnek diyaframlar. [14,15]

Rijit bir diyafram, düzlem içi şekil değiştirmeleri çok küçük olan diyaframdır öyleki yatay yükleri duvarlara, duvarların rölatif rijitlikleri oranında aktardıkları kabulünü yapmak uygundur. Rijit diyaframlar, planda duvarların ağırlık merkezi ve rijitlik merkezinin üstüste düşmediği zaman oluşan dönme kuvvetlerini de aktarabilirler. Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar gözönüne alındığında, rijit diyafram kabulü sakıncalı değildir çünkü yatay yüklerin elastik dağılımındaki hatalar, duvardaki çatlak oluşumundan ve elastik olmayan şekli değiştirmelerden hemen sonra olan yükün taşıyıcı sisteme yeniden dağılımı özelliği ile telafi edilebilir. Donatısız yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlarda bu özellik olmadığından dolayı diyaframın rijit davranışının sağlanması veya tasarım aşamasında emniyet payı bırakılması çok önemlidir. [15,16]

Esnek diyaframlarda ise yatay yükler altında diyafram önemli çökmeler yapacağından, yatay yükün duvarlara dağılımı sadece duvarların plandaki konumuna ve rölatif rijitliklerine değil aynı zamanda diyaframın da rijitliğine bağlı olacaktır. [15]

Diyaframlar çok çeşitli malzemelerden yapılabilirler. Farklı tip döşemelerin rijit diyafram davranışı gösterme kapasiteleri de farklıdır. Betonarme bir döşeme bu davranışı gösterebilecekken, briket ya da asmolon dolgulu kaset döşemenin bir betonarme plak gibi davranmayacağı açıktır. Döşemenin yaptığı çökmelerin kontrol altında tutulması amacıyla, çeşitli standartlarda maksimum en/boy oranları verilmektedir. Bu oranlar döşemenin yapıldığı malzeme cinsine bağlı olarak değişmektedir. [14,15]

1.2.2.2 Duvarların Rölatif Rijitlikleri

Yatay yüklerin duvarlara rijit diyaframlar tarafından iletilmesi durumunda, yükün duvarlara dağılımı, duvarların rölatif rijitlikleri oranında olmaktadır. Bir yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarın rijitliği, birim yatay yük altında yaptığı yerdeğiştirme ile ters orantılıdır.

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların yaptığı yerdeğiştirme, moment ve kayma kuvvetleri etkisinde yaptıkları yerdeğiştirmelerin toplamıdır. Duvarın moment kuvveti etkisinde yaptığı yerdeğiştirme sınır koşullarına bağlıdır. Şekil 1.5'de duvarın düşey konsol ve alttan ve üstten ankastre olarak bağlı olması durumunda yapacağı yerdeğiştirmeler gösterilmektedir. İki uçtan da ankastre bağlı bir duvarın (Şekil 1.5b) moment kuvveti etkisinde yapacağı yerdeğiştirme a_m ,

$$a_m = (Vh^3)/(12E_m I) \quad (1.2)$$

ve düşey konsol bir duvarın (Şekil 1.5a) moment kuvveti etkisinde yapacağı yerdeğiştirme,

$$a_m = (Vh^3)/(3E_m I) \quad (1.3)$$

olacaktır. İki ucu ankastre ya da düşey konsol duvarların kayma kuvveti etkisinde yapacağı yerdeğiştirme a_k ise

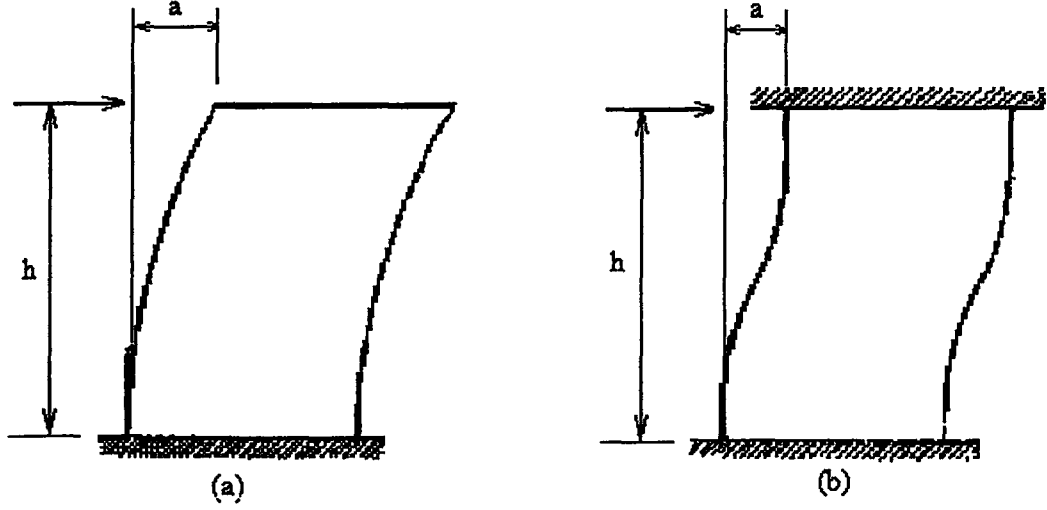
$$a_k = (\alpha_s Vh)/(G_m A) \quad (1.4)$$

olur. Burada V kayma kuvveti, h duvar yüksekliği, A duvar kesit alanı, I duvarın ilgili eksene göre atalet momenti, E_m duvarın elastisite modülü, G_m duvarın kayma modülü ve α_s kayma şekil değıştirmesi katsayısıdır. α_s kayma şekil değıştirmesi katsayısı, dikdörtgen kesitler için 1,2 ve başlıklı kesitler için 1,0 alınmalıdır.

Duvarın yaptığı toplam yerdeğiştirme a ,

$$a = a_m + a_k \quad (1.5)$$

formülü ile hesaplanır ve duvarın rijitliği toplam yerdeğiştirme ile ters orantılıdır.



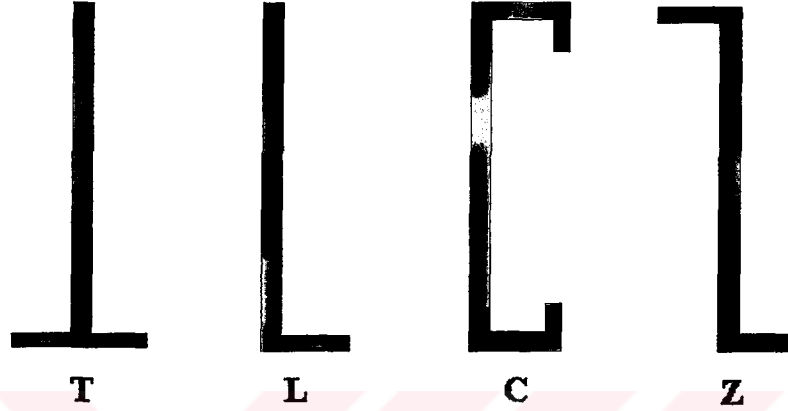
Şekil 1.5 Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların moment ve kayma kuvvetleri etkisinde yaptıkları yerdeğiştirme

Çok katlı binalarda, yapının en tepesinde moment etkisinde oluşan yerdeğiştirme, kesme etkisinde meydana gelen yerdeğiştirmeden çok büyüktür ve birçok durumda duvarın rölatif rijitliği hesaplanırken sadece eğilme rijitliğinin kullanılmasında bir sakınca yoktur.

Duvar kesitlerinin başlıklı olması halinde, kesitlerin atalet momentleri artacaktır. Kesitin atalet momentindeki artış ise rijitlik değerinde artışa ve maksimum eğilme ve kayma gerilmelerinde azalmaya sebep olacaktır. Şekil 1.6’te değişik başlık şekilleri gösterilmiştir. Değişik standartlarda ‘T’, ‘L’, ‘C’ ve ‘Z’ şeklindeki başlıklı kesitlerin efektif genişliklerini hesaplanabilmesi için basit formüller verilmektedir. Bu efektif genişlikler kullanılarak artmış atalet momentleri kolayca saptanabilir. Bu artmış atalet momentleri hesaplarda kullanmadan önce, ana duvar ve başlık kısmının birleşiminin, mevcut kayma gerilmelerini aktarabilecek kapasiteye sahip olduğundan emin olunmalıdır. [15] Duvar kesitlerinin başlıklı yapılması, moment ve düşey yük taşıma kapasitelerinde bir artış sağlayacaktır, fakat kayma kuvveti taşıma kapasitesindeki artış bunlara nispeten çok daha az olacaktır. [16]

Başlıklı duvarların burulma dayanımına katkısını gözönünde bulundurmamak, yatay yükü dağıtma hesaplarında hata yapılmasına yol açmakla birlikte, çatlak oluşumunun

rijitlik üstündeki etkisini gözardı etmek nispeten daha büyük yanlışlara sebep olacaktır. Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki çatlak oluşumu ve elastik olmayan şekil değiştirmelerin, rijitliği önemli ölçüde azaltan etkileri vardır. Çatlak oluşumu potansiyelini ve bunun sonucu olarak rijitlikteki azalmayı, eksenel düşey yükün büyüklüğü etkilemektedir. [16]



Şekil 1.6 Duvar başlık şekilleri

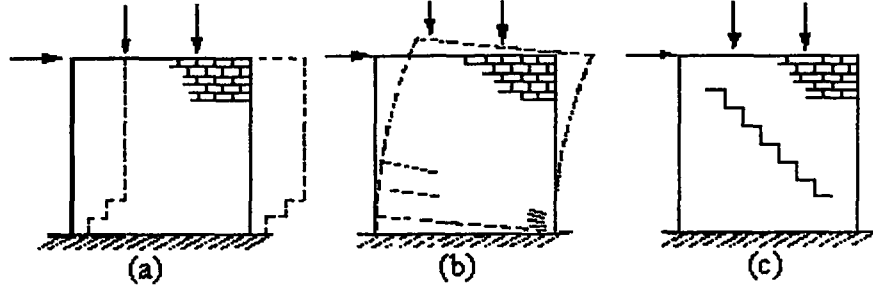
1.2.2.3 Duvarların Plandaki Yerleşimi

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların plandaki yerleşimleri tamamen simetrik olduğu zaman, sistemin ağırlık ve rijitlik merkezleri üstüste düşer ve yatay yük duvarlara, daha önce anlatıldığı gibi, doğrudan dağıtılabilir.

Eğer duvarlar planda asimetric olarak yerleştirilmişler ise, sistemin rijitlik merkezi ve ağırlık merkezi üstüste düşmeyeceğinden, sisteme yatay yüklerin yanı sıra bir burulma momenti de etki edecektir ve duvarlar, bu momentin dengelenebilmesi için oluşan ilave kayma kuvvetlerini de taşımak zorunda kalacaklardır. Bu ilave kayma kuvvetleri, yatay yüklerden meydana gelen kayma kuvvetiyle aynı veya ters yönde etkiyebilirler.

1.2.3 Yatay ve Düşey Yük Taşıyıcı Yığma Duvarların Göçme Şekilleri

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlarda göçme şekli üç farklı tipte olabilir. Şekil 1.7’te üç tip göçme şekli de görülmektedir.



Şekil 1.7 Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri

1.2.3.1 Dönmeden Yatay Ötelenme Göçmesi

Dönmeden yatay ötelenme göçmesi, duvarın tüm kısımlarının taban veya harç yüzeyi boyunca toptan yatay ötelenmesi ile olur. (Şekil 1.7a) Duvar bu göçme şekline, tabandaki ankrajların veya duvar içinde bulunan düşey donatının dübel etkisi yapması ile veya harç yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvveti ile karşı koyar. Genellikle bu göçme şekli donatılı duvarlar için büyük bir tehlike olmamakla birlikte, donatısız yatay yük taşıyıcı duvarlarda ve buhar kesici, rutubet önleyici kullanılan duvarlarda, sürtünme kuvvetinin, dönmeden yatay ötelenme göçmesine engel olacak büyüklükte olup olmadığı kontrol edilmelidir. [15]

1.2.3.2 Eğilme Göçmesi

Eğilme göçmesinde duvar düşey bir konsol gibi davranır. (Şekil 1.7b) Duvarın topuk bölgesindeki çekme donatılarının akması ya da uç bölgesindeki malzemenin ezilmesi bu tip göçme şeklinde duvarın taşıma kapasitesini belirleyen etkenlerdir. [15] Duvarın içinde bulunan tüm düşey donatıların aktığı ve basınç bölgesinin, duvarın uç kısmında olacağı kabulü yapılarak, duvarın mukavemeti yeterli yaklaşıklıkta hesaplanabilir. [11]

1.2.3.3 Kayma Göçmesi

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların kayma göçme şeklini anlayabilmek için öncelikle bu duvarların kayma ve basınç kuvvetleri etkisindeki davranışlarını incelemek gerekir.

Yığma duvarların kayma kuvvetlerine dayanımı, yığma yapı elemanı ve harç arasındaki bağ kuvvetlerine bağlıdır. Yığma yapı elemanı ve harç arasındaki aderansın mekanizması tamamen anlaşılamamış olmasına rağmen, aderansı etkileyen, harç dayanımı gibi, birçok faktörün bulunduğu bilinmektedir. Bu

faktörlerin içinde en önemlilerinden biri, yığma duvar elemanının su emme kapasitesidir. Yüksek su emme kapasitesine sahip yığma duvar elemanları, harcın içindeki suyu kapiler olarak çekeceğinden, harçtaki çimentonun prizini alabilmesi için yeterli miktarda su bulunmayacak ve yığma yapı elemanı ve harcı arasında birkaç milimetrelik kötü dayanımlı tabaka oluşacaktır. Bu tabaka yığma yapı elemanı ve derz arasındaki aderansın mukavemetini düşüreceğinden dolayı, yığma duvarın kayma dayanımını kötü yönde etkileyecektir. Çimento:kireç:kum harçlarının su tutma özelliği çimento:kum harçlarından daha yüksektir ve bu tür harçlardan yapılmış derzlerde bu etki daha az olmaktadır.

Yatay ve düşey yükler etkisi altında kalan yığma duvarlarda iki eksenli gerilme hali meydana gelir. Bu yükleme durumunda duvarlarda oluşan gerilmeler, genellikle, yatay ve düşey yüklerin duvar kesit alanına bölünerek hesaplanan, sırasıyla, ortalama kayma gerilmesi ve ortalama normal gerilme cinsinden ifade edilir. Duvarın kayma dayanımı Coulomb formülü kullanılarak hesaplanabilir.

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_0 \quad (1.6)$$

Burada τ , σ_0 değerindeki eksenel basınç gerilmesi altında oluşan kayma gerilmesi, τ_0 sıfır düşey eksenel basınç durumunda yalnız harcın aderans dayanımından oluşan kesme aderans taşıma gücü, μ yığma yapı elemanı ve harç arasındaki sürtünme katsayısı, σ_0 ise düşey eksenel yükten dolayı oluşan basınç gerilmesidir. σ_0 'ın değeri yapının toplam kaç katlı olduğuna ve duvarın yapının kaçınıcı katında yer aldığına bağlıdır. τ_0 ve μ 'nün değerleri ise malzeme özellikleri ile yükleme şekline bağlıdır. Çeşitli kaynaklarda, τ_0 'nun $0,2-1 \text{ N/mm}^2$ ve μ 'nün $0,4-0,88$ büyüklükleri arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarın taşıdığı kayma kuvveti,

$$T = \tau \cdot A \quad (1.7)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. A, duvarın kesit alanıdır. [11,14,15]

Yığma duvara etki eden düşey ve yatay yükler altında oluşan gerilmeler duvarın kayma dayanımını aştığı zaman, duvarda birbirini izleyen düşey ve yatay derzler boyunca oluşan diyagonal çatlaklarla duvar göçer. (Şekil 1.7c) Donatısız yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların kayma mukavemeti, denklem (1.6)'te de

görüldüğü gibi, sürtünmeyi arttırıcı etkisi olan düşey eksenel yüke (σ_0) önemli ölçüde bağlıdır. Başlıklı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlarda, duvarın kayma mukavemeti hesaplanırken, başlıkların alanı ihmal edilir. [11,16]

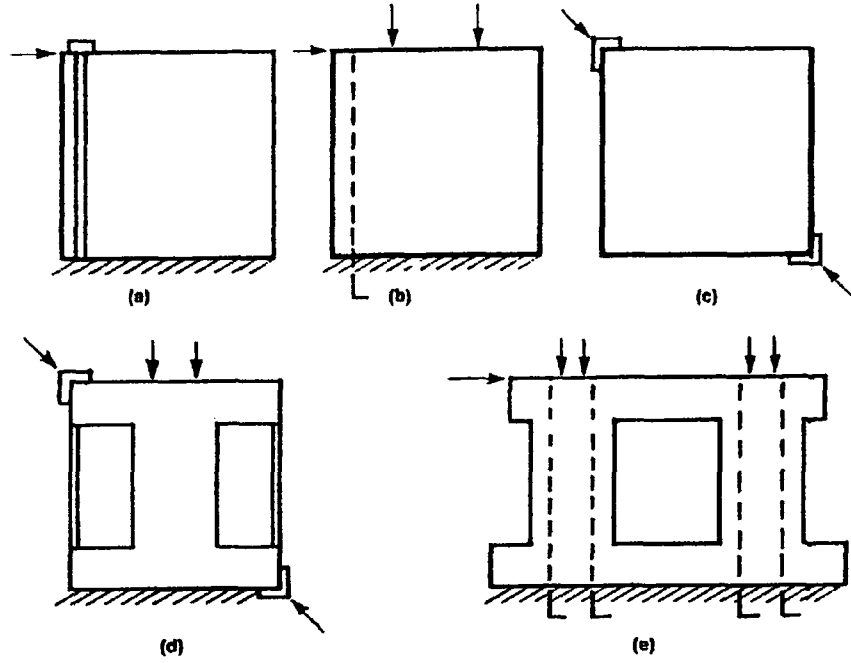
1.2.4 Donatılı Yatay ve Düşey Yük Taşıyıcı Yığma Duvarlar

Yığma yapı elemanlarının demir ile birlikte kullanılması 1770'lere kadar gitmektedir. Bilinen ilk donatılı yığma yapılardan biri 1825'te yapılmış olan, Thames Nehri'nin altından geçen Blackwall Tüneli'dir. Modern anlamdaki donatılı yığma yapıların kullanımı ise bundan yaklaşık bir yüzyıl sonraya rastlar. Donatı kullanımının gevrek karakterdeki yığma yapıya bir miktar süneklik kazandırması, sismik olarak aktif bölgelerde donatılı yığma yapıların inşaa edilebilmesine olanak vermiş ve yığma yapı elemanlarının diğer yapı elemanlarına göre nispeten ucuz olması da donatılı yığma yapıları cazip kılmıştır. Böylece bu yapı türü, 1940'lardan itibaren Amerika Birleşik Devletleri, Yeni Zelanda ve Japonya gibi ülkelerde tercih edilmeye başlanmıştır ve yapısal davranışının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla araştırmalar başlatılmış, çeşitli deney teknikleri geliştirilmiştir. [15,16]

Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarların, yatay yükler altında davranışını belirleyebilmek amaçlı yapılan deneylerin en sık tercih edilenleri Şekil 1.8'te görülmektedir. [15] Bu tezin konusu olan deneysel çalışmada Şekil 1.8c'deki deney tekniğine benzer bir deney tekniği kullanılmıştır.

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlarda donatı kullanılması birçok avantaj sağlar. Daha önce de açıklandığı gibi, gevrek malzeme olan yığma yapı elemanlarının çekme mukavemetleri çok düşüktür ve bu özellik büyük miktarda çekme gerilmeleri oluşturan yatay yükler etkin olduğu hallerde uygulamaya kısıtlamalar getirir. Yığma duvarlarda donatı kullanılması, duvarın sünekliğini arttırdığı gibi göçme durumunda duvarın parçalanmasını önler, hasarın miktarını azaltıcı etki yaratır ve kayma göçmesini, dübel etkisi yaparak, engeller, fakat duvarın kayma taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemez. [11,12]

Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların kayma dayanımlarını etkileyen faktörler, duvarın yüksekliğinin enine oranı (h/l), donatının miktarı ve dağılımı ve yığma yapı elemanının malzeme özellikleridir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, duvarın kayma dayanımı, duvarın yükseklik/en (h/l) oranındaki düşüş, düşey eksenel



Şekil 1.8 Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlar deney teknikleri

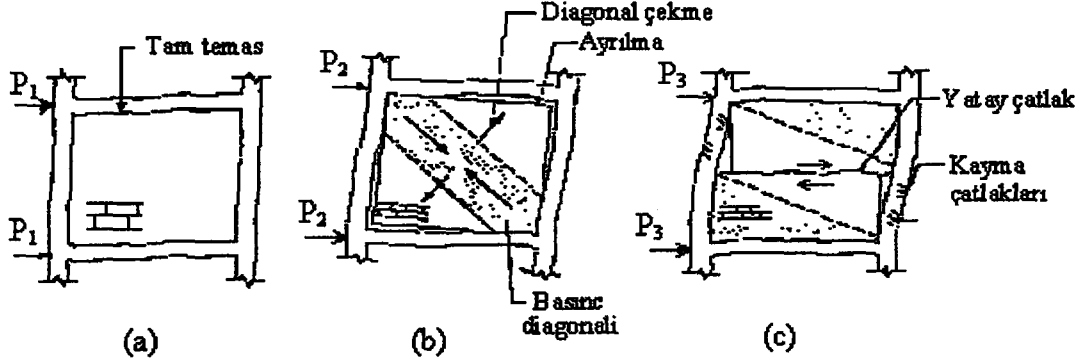
yükteki artış ve duvarın boşluklu blok tuğladan örülmüş olması halinde donatı yerleştirilmemiş boşlukların da harç veya beton ile doldurulması ile artmaktadır. [12] Duvar yüksekliği boyunca düzenli yerleştirilmiş yatay donatılar, yatay yükler altında duvarda diyagonal çatlaklar oluşmasıyla çekme gerilmelerine maruz kalırlar ve böylece duvardaki kayma gerilmelerinin karşılanmasında önemli rol oynarlar. Düşey donatılar ise bu etkileri dübel davranışı ile karşılarlar. [15]

1.2.5 Yığma Dolgu Duvarlar

Taşıyıcı sistemi betonarme veya çelik çerçevelerden oluşan birçok sistemde, bu çerçevelerin içine yığma dolgu duvarlar örülür. Yığma dolgu duvarlar, sistemin rijitliğini önemli ölçüde arttırmasına rağmen, taşıyıcı sistemin yatay yükler altında çözümü esnasında, sistemin kompozit davranışının tam olarak anlaşılammış olması, yığma duvar ve çerçevenin birleşiminin iyi teşkil edilmemiş olma ihtimali ve yapının kullanımı süresince bu duvarların kaldırılabilceği gibi sebeplerden dolayı, çoğu kez bu etki ihmal edilir. Daha önce de değinildiği gibi, birçok araştırmacı çerçevenin ve yığma dolgu duvarın beraber çalışmasını dikkate alan bir hesap yöntemi geliştirilmesi için çalışmalar yapmaktadır.

Birbirine tam olarak bağlı üretilmiş çerçeve ve yığma dolgu duvarlara yatay yük ilk etkidğinde, dolgu duvar ve çerçeve arayüzünde tam temas vardır, dolgu duvar ve

çerçeve kompozit bir davranış gösterirler ve beraber şekil değiştirirler. Sistem, çıplak çerçeveye nazaran daha rijittir ve ilk çatlakların oluşması daha büyük yatay yükler altında olur. Bu aşamanın süresi, çerçeve ve yığma dolgu duvar arasındaki bağlantının kalitesine bağlıdır ve çerçeve ile yığma dolgu duvarı ara yüzeyinde çatlakların oluşmasıyla son bulur. (Şekil 1.9a)



Şekil 1.9 Yığma dolgu duvarların ve çerçevelerin yatay yük altında davranışları

Yatay yük arttıkça şekil değiştirmeler artar ve yığma duvara basınç kuvvetlerinin aktarıldığı iki köşenin civarı dışındaki çerçeve-duvar ara yüzeylerinde ayrılmalar başlar. (Şekil 1.9b) Bu aşamada, yığma dolgu duvar, çerçevenin içerisinde bir basınç diyagonali gibi davranır. Oluşan basınç diyagonalinin efektif genişliği, çerçevenin ve dolgu duvarının rölatif rijitliklerine, dolgu duvarının yüksekliğinin enine oranına (h/l) ve yığma dolgu malzemesinin gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağlıdır. Yığma dolgu duvarında birbirini izleyen yatay ve düşey derzler boyunca diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamasıyla rijitlik azalır.

Yatay yük artmaya devam ettikçe, dolgu duvarda ilk çatlaklara paralel yeni diyagonal çatlaklar oluşur ve bu durum yığma dolgu duvarın kayma kuvvetleri altında ve kolonların eğilme etkisinde göçmesine kadar sürer. Yatay yük etkisindeki yığma dolgu duvar, bu göçme şeklinden farklı olarak iki göçme şekliyle daha taşıma güçlerini kaybedebilirler. Bunlardan biri, dolgu duvarının bir derz yüzeyi boyunca dönmeden yatay ötelenmesi ile ortaya çıkar. (Şekil 1.9c) Bu yatay çatlak, dolgu duvarı iki parçaya böler ve efektif kolon yükseklikleri, yaklaşık olarak yarı değerine düşer. Kolonların kayma ve eğilme kapasiteleri, göçme şeklini belirleyici etken olacaktır. Üçüncü göçme şekli ise basınç diyagonalinin uçlarındaki lokal ezilmeler ile oluşur.

Deprem yükleri altında yatay yükler iki farklı yönden de etkileyebileceğinden, yığma dolgu duvarının çerçeveye ankrajlanması, kompozit davranışın sağlanması açısından

iyi bir çözüm olabilmektedir. Yığma dolgu duvarın rijitliğinin, dayanımının ve şekil değiştirebilme özelliğinin iyileştirilmesi için duvar, yatay ve düşey donatılar yerleştirilerek, donatılı üretilir. [12,15,16]

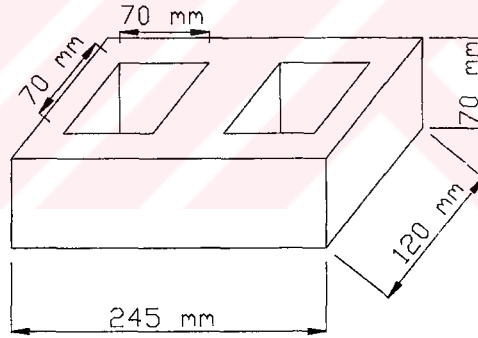


2. KULLANILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Tuğlaların Özellikleri

Deneylerde, Işıklar Tuğla Fabrikasının, iki farklı ocaktan temin edilen kaya tozu malzemesi ile üretilmiş ve üç farklı basınç dayanımına sahip, yüksek mukavemetli boşluklu blok tuğlaları kullanılmıştır. Bunlar Akkonak1, Akkonak2 ve Gavurpınarı olarak adlandırılmaktadır. Bu tuğlaların ortalama basınç dayanımları, sırasıyla, 50,88 MPa, 62,93 MPa ve 87,88 MPa'dır. Ortalama basınç dayanımları hesaplanırken, basınç kuvvetinin etki ettiği alan olarak tuğlanın brüt alanı kullanılmıştır ve numunelerin basınç dayanımı değerlerinden, ortalamadan çok düşük ve çok yüksek olanları ihmal edilerek, düzgün bir dağılım olması sağlanmıştır.

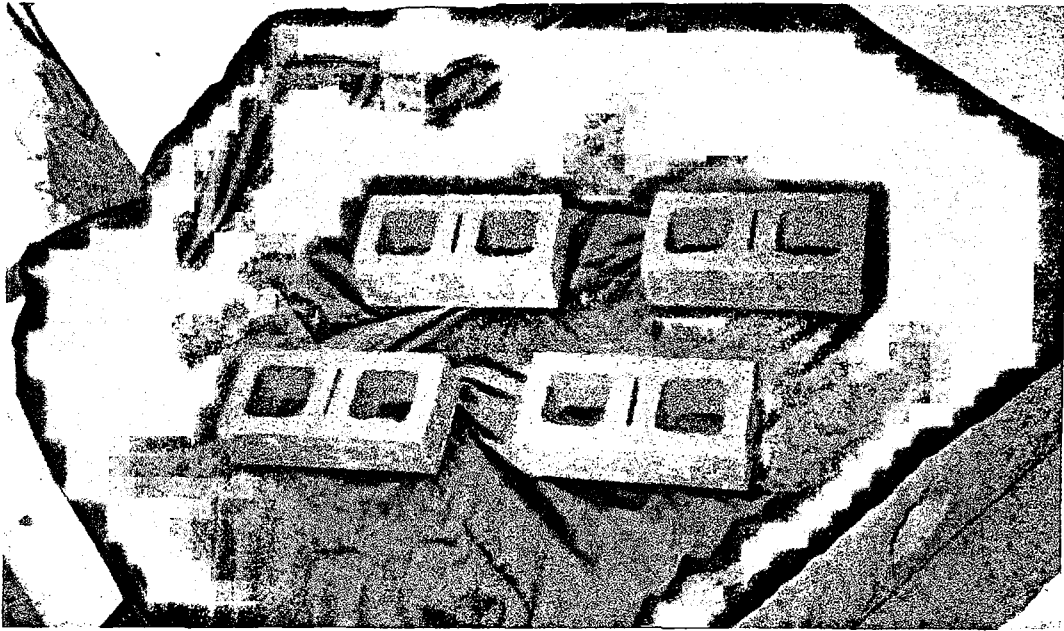
Her üç tip tuğlanın da boyutları 245 mm x 120 mm x 70 mm'dir. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Boşluklu blok tuğlaların boyutları

Şekil 2.2'de Akkonak1, Akkonak2 ve Gavurpınarı tuğlaları görülmektedir.

Akkonak1, Akkonak2 ve Gavurpınarı tuğlalarının yaklaşık birim hacim ağırlıkları, sırasıyla, 2209 kg/m³, 2243 kg/m³ ve 2247 kg/m³'tür.



Şekil 2.2 Akkonak1, Akkonak2 ve Gavurpınarı boşluklu blok tuğlaları

Tuğlaların, yapılan deneyler sonucunda tesbit edilen malzeme özellikleri Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te toplanmıştır.

Tablo 2.1 Akkonak1 tuğlası numunelerinin basınç deneyleri sonuçları

Numune No	P_{max} [kN]	Alan= $a \times b$ [mm ²]	$f_{tug} = P_{max}/A$ [MPa]	f_{tug} [MPa]
S-A1-1	1310,8	29393	44,60	44,60
S-A1-2	1530,4	29393	52,07	52,07
S-A1-3	1559,6	29393	53,06	53,06
S-A1-4	1650,5	30309	54,46	54,46
S-A1-5	1178,8	28794	40,94	-
S-A1-6	1507,3	28864	52,22	52,22
S-A1-7	1154,4	29006	39,80	-
S-A1-8	1573,3	29909	52,60	52,60
S-A1-9	1448,0	28937	50,04	50,04
S-A1-10	1412,2	29422	48,00	48,00
		Ortalama Değer	48,78	50,88
		Standart Sapma	5,27	3,21

Tablo 2.2 Akkonak2 tuğlası numunelerinin basınç deneyleri sonuçları

Numune No	P_{max} [kN]	Alan=a x b [mm²]	f_{tug}=P_{max}/A [MPa]	f_{tug} [MPa]
S-A2-1	1834,47	28800	63,70	63,70
S-A2-2	1446,98	28800	50,24	-
S-A2-3	1790,33	28800	62,16	62,16
		Ortalama Değer	58,70	62,93
		Standart Sapma	7,37	1,08

Tablo 2.3 Gavurpınarı tuğlası numunelerinin basınç deneyleri sonuçları

Numune No	P_{max} [kN]	Alan = a x b [mm²]	f_{tug} = P_{max} / A [MPa]	f_{tug} [MPa]
S-G-1	2481,93	28800	86,18	86,18
S-G-2	2707,56	28800	94,01	94,01
S-G-3	2403,45	28800	83,45	83,45
		Ortalama Değer	87,88	87,88
		Standart Sapma	5,48	5,48

2.2 Donatıların Malzeme Özellikleri

Deneysel çalışmada, değişik sebeplerden dolayı, üç farklı çeşit donatı kullanılmıştır ve bunlar Donatı 1, Donatı 2, Donatı 3 olarak isimlendirilmiştir. Donatı1 ve Donatı 2'den ikişer, Donatı 3'ten ise üç numune alınmış ve bu numuneler çekme deneyine tabii tutularak malzeme özellikleri belirlenmiştir. Donatı1, Donatı2, Donatı3'ün akma dayanımları , sırasıyla, 353 MPa, 273 Mpa ve 542 Mpa'dır. Donatıların çekme deneyi sonuçları Tablo 2.4, Tablo 2.5, Tablo 2.6'da özetlenmiştir.

Tablo 2.4 Donatı 1'in malzeme özellikleri

Numune No	Donatı Tipi	Anma Çapı [mm]	Ölçülen Çap [mm]	Kesit Alanı [mm ²]	Akma Kuvveti [N]	Kopma Kuvveti [N]	Akma Gerilmesi [MPa]	Kopma Gerilmesi [MPa]	Birim Uzama %
D1-N1	Nervürlü	φ10	9,5	70,85	22563	31392	318	443	0,38
D1-N2	Nervürlü	φ10	9,5	70,85	27468	40221	388	568	0,28
					Ortalama Değer		353	505	0,33
					Standart Sapma		49	88	0,07

Tablo 2.5 Donatı 2'nin malzeme özellikleri

Numune No	Donatı Tipi	Anma Çapı [mm]	Gerçek Çap ¹ [mm]	Kesit Alanı [mm ²]	Akma Kuvveti [N]	Kopma Kuvveti [N]	Akma Gerilmesi [MPa]	Kopma Gerilmesi [MPa]	Birim Uzama %
D2-N1	Nervürlü	φ10	9,8	74,72	18639	26487	249	354	0,33
D2-N2	Nervürlü	φ10	10,5	86,12	25506	34335	296	399	0,23
					Ortalama Değer		273	377	0,28
					Standart Sapma		33	31	0,07

¹ Nervürlü tip donatılar için gerçek çap, $D = (\sqrt{\text{ağırlık} / \text{uzunluk}}) \times 12,74$ formülü ile hesaplanmıştır.

Tablo 2.6 Donatı 3'ün malzeme özellikleri

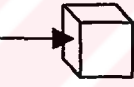
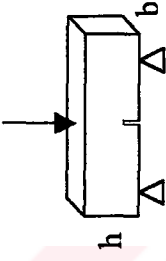
	Donatı Tipi	Anma Çapı [mm]	Gerçek Çap [mm]	Kesit Alanı [mm ²]	Akma Kuvveti [N]	Kopma Kuvveti [N]	Akma Gerilmesi [MPa]	Kopma Gerilmesi [MPa]	Birim Uzama %
D3-N1	Nervürlü	φ10	10,3	82,80	54936	60822	663	735	0,14
D3-N2	Nervürlü	φ10	10,2	81,53	31883	47088	391	578	0,25
D3-N3	Nervürlü	φ10	10,3	84,06	48069	56898	572	677	0,17
					Ortalama Değer		542	663	0,19
					Standart Sapma		139	79	0,06

2.3 Harçların Özellikleri

Duvar numunelerinin üretiminde, hacimsel birleşim oranları farklı iki tür harç ve BL07 özel harcı kullanılmıştır. Bunlar Karışım1, Karışım2 ve BL07 olarak adlandırılmışlardır. Numune üretiminde üç çeşit harç kullanılmasının amacı, farklı basınç dayanımlarındaki harçların, duvar kayma dayanımına etkisini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, çimento:kum:su hacimsel birleşim oranı 1,5:4,5:1,5 olan düşük dayanımlı Karışım1 ve çimento:kum:su hacimsel birleşim oranı 1,5:4,5:1 olan orta dayanımlı Karışım2 üretilmiştir. Özel harç BLO7, yüksek mukavemetli tuğlalar ile yüksek dayanımlı harcın beraber kullanılarak daha iyi bir aderans sağlanması düşüncesiyle özel olarak geliştirilmiş, BLO7:su hacimsel birleşim oranı 4:1 olan yüksek dayanımlı bir tür harçtır.

Karışım1, Karışım2 ve BL07 harçlarının mekanik özelliklerinin saptanması için, herbirinden, 50x50x50 mm ve 70x70x70 mm boyutlarında küp numuneler ile çapı 150 mm, yüksekliği 300 mm olan silindir numuneler alınmıştır ve basınç deneyine tabii tutulmuşlardır. Ayrıca, eğilme deneyi uygulanacak, ortası çentikli prizmatik numuneler üretilmiştir. Farklı özelliklerdeki harç karışımlarından alınan numune miktarları Tablo 2.7'de yer almaktadır.

Tablo 2.7 Çeşitli harç karışımlarından alınan numune miktarları

Karışım No	Deney Tipi ve Sayısı			
	 (50x50x50 mm)	 (70x70x70 mm)	 h b	 (ϕ 150 mm, h=300mm)
1	5	—	—	—
2	—	30	—	—
BL07	—	60	6	12

Küçük boyutlardaki küp ve prizma dayanımlarından, 150x150x150 mm boyutlarındaki küp dayanımlarına,

$$k_1 = 0,56 + 0,697 / (0,00656.a + (h/b)) , \quad k = k_1 \quad k_1 > k_2$$

$$k_2 = 0,56 + 0,697 / (0,00656.b + (h/a)) , \quad k = k_2 \quad k_2 > k_1 \quad (2.1)$$

$$f_{hk(150 \times 150 \times 150)} = f_{hk(\text{küp veya prizma})} / k \quad (2.2)$$

bağıntıları kullanılarak geçilmiştir. [17,18] Burada, h (mm) numunenin yüksekliği, a (mm) uzunluğu ve b (mm) genişliğidir.

Karışım1, Karışım2 ve BL07 harçlarının, bu bağıntılar yardımıyla hesaplanan basınç dayanımları, sırasıyla, 2,42 MPa, 6,86 MPa, 38,58 MPa'dır. Basınç deneylerinin sonuçları, Tablo 2.8, Tablo 2.9 ve Tablo 2.10'da özetlenmiştir.

Tablo 2.8 Karışım1 küp basınç deneyi sonuçları

Numune No	h [mm]	a [mm]	b [mm]	P _{max} [Kn]	Prizma Basınç Dayanımı [Mpa]	k ₁	k ₂	k	f _{hk(150x150x150)} Basınç Dayanımı [Mpa]
S-1-1	53	50	60	10,0	3,33	1,14	1,04	1,14	2,94
S-1-2	51	52	50	8,2	3,15	1,07	1,09	1,09	2,89
S-1-3	50	54	51	8,0	2,90	1,08	1,11	1,11	2,61
S-1-4	50	55	50	5,0	1,82	1,07	1,12	1,12	1,62
S-1-5	49	51	45	5,2	2,27	1,05	1,11	1,11	2,03
						Ortalama Değer			2,42
						Standart Sapma			0,57

Tablo 2.9 Karışım2 küp basınç deneyi sonuçları

Numune No	h [mm]	a [mm]	b [mm]	P _{max} [Kn]	Prizma Basınç Dayanımı [Mpa]	k ₁	k ₂	k	f _{hk(150x150x150)} Basınç Dayanımı [Mpa]
S-2-1	72	71	71	38	7,54	1,03	1,03	1,03	7,31
S-2-2	71	70	71	34	6,84	1,04	1,03	1,04	6,59
S-2-3	70	70	70	36	7,35	1,04	1,04	1,04	7,08
S-2-4	71	70	70	34	6,94	1,03	1,03	1,03	6,72
S-2-5	70	71	71	32	6,35	1,04	1,04	1,04	6,10
S-2-6	70	70	71	35	7,04	1,04	1,04	1,04	6,76
S-2-7	71	70	70	40	8,16	1,03	1,03	1,03	7,90
S-2-8	70	70	70	45	9,18	1,04	1,04	1,04	8,85
S-2-9	70	70	70	41	8,37	1,04	1,04	1,04	8,06
S-2-10	70	70	70	42	8,57	1,04	1,04	1,04	8,26
S-2-11	70	70	70	42	8,57	1,04	1,04	1,04	8,26
S-2-12	70	70	71	43	8,65	1,04	1,04	1,04	8,30
S-2-13	70	72	71	35	6,85	1,04	1,04	1,04	6,55
S-2-14	71	72	70	31	6,15	1,03	1,04	1,04	5,90
S-2-15	70	70	71	29	5,84	1,04	1,04	1,04	5,60
S-2-16	70	70	70	34	6,94	1,04	1,04	1,04	6,69
S-2-17	70	71	72	29	5,67	1,04	1,04	1,04	5,43
S-2-18	70	70	70	32	6,53	1,04	1,04	1,04	6,29
S-2-19	70	73	72	37	7,04	1,04	1,05	1,05	6,72
S-2-20	70	72	72	35	6,75	1,04	1,04	1,04	6,48
S-2-21	71	72	71	34	6,65	1,03	1,04	1,04	6,39
S-2-22	72	73	71	44	8,49	1,03	1,04	1,04	8,16
S-2-23	71	72	71	42	8,22	1,03	1,04	1,04	7,90
S-2-24	71	72	71	46	9,00	1,03	1,04	1,04	8,65
S-2-25	72	73	71	22	4,24	1,03	1,04	1,04	4,08
S-2-26	72	73	71	28	5,40	1,03	1,04	1,04	5,19
S-2-27	73	72	71	26	5,09	1,02	1,03	1,03	4,93
S-2-28	71	72	71	37	7,24	1,03	1,04	1,04	6,96
S-2-29	71	71	71	37	7,34	1,04	1,04	1,04	7,09
S-2-30	71	72	71	35	6,85	1,03	1,04	1,04	6,58
						Ortalama Değer			6,86
						Standart Sapma			1,16

Tablo 2.10 Özel harç BL07 küp basınç deneyi sonuçları

Numune No	h [mm]	a [mm]	b [mm]	P _{max} [Kn]	Prizma Basınç Dayanımı [Mpa]	k ₁	k ₂	k	f _{hk(150x150x150)} Basınç Dayanımı [Mpa]
S-Ö-1	71	70	71	189	38,03	1,04	1,03	1,04	36,65
S-Ö-2	72	71	72	169	33,06	1,04	1,03	1,04	31,93
S-Ö-3	71	70	71	189	38,03	1,04	1,03	1,04	36,65
S-Ö-4	71	71	70	183	36,82	1,03	1,04	1,04	35,48
S-Ö-5	70	70	69	181	37,47	1,03	1,04	1,04	36,04
S-Ö-6	70	70	69	164	33,95	1,03	1,04	1,04	32,65
S-Ö-7	71	75	71	136	25,54	1,03	1,05	1,05	24,24
S-Ö-8	71	71	70	186	37,42	1,03	1,04	1,04	36,07
S-Ö-9	70	72	69	170	34,22	1,03	1,05	1,05	32,62
S-Ö-10	70	72	70	208	41,27	1,03	1,05	1,05	39,42
S-Ö-11	70	70	72	224	44,44	1,05	1,03	1,05	42,45
S-Ö-12	69	74	71	232	44,16	1,04	1,06	1,06	41,72
S-Ö-13	70	70	70	244	49,80	1,04	1,04	1,04	47,99
S-Ö-14	71	71	69	252	51,44	1,03	1,04	1,04	49,47
S-Ö-15	71	70	70	250	51,02	1,03	1,03	1,03	49,39
S-Ö-16	69	71	71	229	45,43	1,04	1,04	1,04	43,48
S-Ö-17	71	71	70	220	44,27	1,03	1,04	1,04	42,66
S-Ö-18	72	72	70	225	44,64	1,02	1,04	1,04	43,02
S-Ö-19	70	72	71	192	37,56	1,04	1,04	1,04	35,95
S-Ö-20	69	72	70	180	35,71	1,04	1,05	1,05	33,96
S-Ö-21	70	72	70	196	38,89	1,03	1,05	1,05	37,15
S-Ö-22	69	73	70	179	35,03	1,04	1,06	1,06	33,16
S-Ö-23	69	73	72	196	37,29	1,04	1,05	1,05	35,46
S-Ö-24	69	72	72	191	36,84	1,05	1,05	1,05	35,18
S-Ö-25	70	70	70	199	40,61	1,04	1,04	1,04	39,14
S-Ö-26	70	72	70	196	38,89	1,03	1,05	1,05	37,15
S-Ö-27	70	71	70	193	38,83	1,04	1,04	1,04	37,26
S-Ö-28	71	70	70	240	48,98	1,03	1,03	1,03	47,41
S-Ö-29	70	71	69	194	39,60	1,03	1,04	1,04	37,91
S-Ö-30	70	72	72	220	42,44	1,04	1,04	1,04	40,71
S-Ö-31	70	72	72	215	41,47	1,04	1,04	1,04	39,78
S-Ö-32	71	72	70	198	39,29	1,03	1,04	1,04	37,69
S-Ö-33	70	72	70	204	40,48	1,03	1,05	1,05	38,66
S-Ö-34	70	70	70	168	34,29	1,04	1,04	1,04	33,04
S-Ö-35	70	72	71	196	38,34	1,04	1,04	1,04	36,70
S-Ö-36	70	71	72	220	43,04	1,04	1,04	1,04	41,19
S-Ö-37	70	71	71	175	34,72	1,04	1,04	1,04	33,38
S-Ö-38	70	71	70	182	36,62	1,04	1,04	1,04	35,13
S-Ö-39	70	72	72	188	36,27	1,04	1,04	1,04	34,79
S-Ö-40	70	71	72	188	36,78	1,04	1,04	1,04	35,20
S-Ö-41	70	70	71	188	37,83	1,04	1,04	1,04	36,29
S-Ö-42	70	71	72	184	35,99	1,04	1,04	1,04	34,45
S-Ö-43	72	70	74	188	36,29	1,05	1,02	1,05	34,68
S-Ö-44	70	72	70	173	34,33	1,03	1,05	1,05	32,79
S-Ö-45	70	70	73	165	32,29	1,05	1,03	1,05	30,71
S-Ö-46	71	70	74	216	41,70	1,05	1,02	1,05	39,66
S-Ö-47	69	72	74	204	38,29	1,06	1,04	1,06	36,25
S-Ö-48	72	71	74	216	41,11	1,04	1,02	1,04	39,36
S-Ö-49	71	70	75	156	29,62	1,06	1,02	1,06	28,05
S-Ö-50	71	70	75	156	29,71	1,06	1,02	1,06	28,14
S-Ö-51	72	70	73	257	50,29	1,04	1,02	1,04	48,26
S-Ö-52	72	70	73	239	46,77	1,04	1,02	1,04	44,88
S-Ö-53	71	70	71	238	47,89	1,04	1,03	1,04	46,15
S-Ö-54	71	70	71	241	48,49	1,04	1,03	1,04	46,73
S-Ö-55	74	70	75	252	48,00	1,04	1,01	1,04	46,06
S-Ö-56	74	70	75	259	49,33	1,04	1,01	1,04	47,34
S-Ö-57	71	70	72	220	43,65	1,04	1,03	1,04	41,88
S-Ö-58	71	70	72	205	40,67	1,04	1,03	1,04	39,03
S-Ö-59	73	70	70	246	50,20	1,02	1,02	1,02	49,03
S-Ö-60	73	70	70	236	48,16	1,02	1,02	1,02	47,03
						Ortalama Değer			38,58
						Standart Sapma			5,79

Tablo 2.11’de BL07 harcından alınan silindir numunelerinin basınç deneyi sonuçları görülmektedir.

Tablo 2.11 BL07 harcı silindir numuneleri basınç deneyi sonuçları

Numune No	P_{max} [kN]	Alan [mm ²]	$f_{hk}=P_{max}/A$ [MPa]	f_{hk} [MPa]
BL07-1S	617,5	17671	34,94	34,94
BL07-2S	708,4	17671	40,09	-
BL07-3S	661,5	17671	37,43	37,43
BL07-1S	664,8	17671	37,62	37,62
BL07-2S	622,9	17671	35,25	35,25
BL07-3S	696,5	17671	39,41	39,41
BL07-1S	501,9	17671	28,40	-
BL07-2S	605,1	17671	34,24	34,24
BL07-3S	701,4	17671	39,69	39,69
BL07-1S	598,4	17671	33,86	33,86
BL07-2S	500,3	17671	28,31	-
BL07-3S	549,4	17671	31,09	31,09
		Ortalama Değer	35,03	35,95
		Standart Sapma	4,11	2,81

Eğilme deneyleri sonuçları kullanılarak harç çekme dayanımları hesaplanırken TS 500’de [18] yeralan,

$$W = (b.h'^2)/6 \quad (2.3)$$

$$M_{max} = (P.L)/ 4 \quad (2.4)$$

$$f_{hk}^* = M_{max}/ W \quad (2.5)$$

$$h' = h - h_1 \quad (2.6)$$

bağıntılarından yararlanılmıştır. P numuneye etkiyen tekil kuvveti, M_{max} bu kuvvet altında numunede oluşan en büyük moment değerini, f_{hk}^* eğilme deneyinden elde edilen çekme dayanımını, W en büyük moment değerinin etkiği kesitin mukavemet momentini, b yükün uygulandığı noktadaki kesit genişliğini, h numunenin kesit

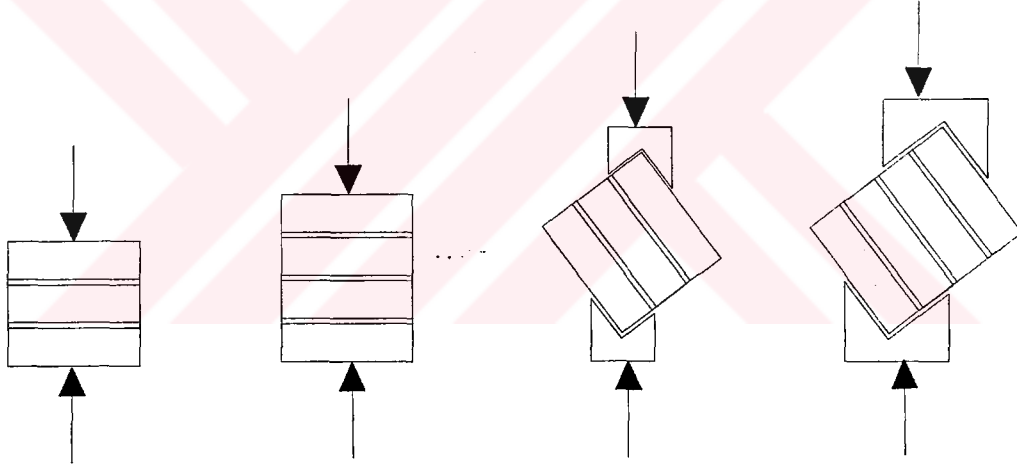
yüksekliğini, h_1 çentik yüksekliğini, h' faydalı kesit yüksekliğini, L ise mesnetler arası uzaklığı ifade etmektedir. Eğilme deneylerinin sonuçlarından hesaplanan ortalama harç çekme dayanımları, harcın kayma dayanımı olarak ilerideki değerlendirmelerde kullanılacaktır. Tablo 2.12'de eğilme deneyleri sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 2.12 Eğilme deneyleri sonuçları

Numune No	t [mm]	h_1 [mm]	h [mm]	h' [mm]	b [mm]	W [mm ³]	P [kg]	P [N]	L [mm]	M_{max} [N.mm]	f_{htk}^* [MPa]
BL07-1	3	15	71	56	75	39200	244	2394	250	149603	3,82
BL07-2	4	15	72	57	73	39530	294	2884	250	180259	4,56
BL07-3	5	16	71	55	71	35796	255	2502	250	156347	4,37
BL07-4	4	14	74	60	75	45000	262	2570	250	160639	3,57
BL07-5	7	14	71	57	72	38988	228	2237	250	139793	3,59
BL07-6	5	16	73	57	70	37905	251	2462	250	153894	4,06
										Ortalama Değer	3,99
										Standart Sapma	0,41

3. YARDIMCI DENEYLER

Tek tuğla eleman üzerinde yapılan basınç deneyleri, birkaç sıra tuğla ve harç fazından meydana gelen küçük duvar numunelerinde tekrarlanarak, duvar numunesinin boyutu, harç dayanımı ve yükleme doğrultusunun davranış üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üç ve dört sıralı duvar numunelerine yük, eksenel doğrultuda ve derzlerle açı yapacak şekilde uygulanmış ve ön ve arka yüzlerde belirlenen ölçüm noktalarının yaptıkları kısaltmalar kayıt edilmiştir. (Şekil 3.1) Elde edilen deney verileri düzenlenerek, Bölüm 5'te açıklanan deney modelinin sonlu elemanlar yöntemi ile hesabında kullanılmıştır. Bu bölümde verilen bilgiler, Özel Tuğla ve Tuğla Duvar Deneyleri-I isimli rapordan yararlanılarak hazırlanmıştır. [19]



Şekil 3.1 Küçük duvar numuneleri yükleme şekilleri

3.1 Deneysel Çalışma

Yüksek mukavemetli tuğla duvarların özelliklerinin belirlenmesi ve yukarıda sıralanan parametlerin davranışa etkisini araştırılması amacı doğrultusunda, üç ve dört sıralı, şaşırtmasız, küçük duvar numuneleri üretilmiştir. Duvar numunelerinde, ortalama basınç dayanımı 50,88 MPa olan, Akkonak1 tuğlası kullanılmıştır. Akkonak1 tuğlasının, yapılan basınç deneyleri sonuçları Tablo 2.1'de özetlenmiştir.

Deneysel çalışmada üç farklı tip harç kullanılmıştır. Bunlar Karışım 3, Karışım 4 ve Karışım5 olarak adlandırılmışlardır. Karışım 3 ve Karışım4'in, çimento:kireç:kum:su hacimsel birleşim oranları, sırasıyla, 1:1:6:3,5 ve 1:0.5:4,5:1'dir. Karışım 5, Yapkim YKS Emacco S88-C lif katkılı tamir harcıdır ve tamir harcı:su hacimsel birleşim oranı 6:1.5'tur.

Herbir tip harçtan, 50x50x50 mm boyutlarında onar adet numune alınmış ve bu numuneler 7. gün, 28. gün ve eleman deneylerinin yapılacağı günlerde olmak üzere üç farklı aşamada basınç deneyine tabii tutulmuşlardır. Bu deneyler sonucunda Karışım 3, Karışım 4 ve Karışım 5'nin ortalama basınç dayanımları, sırasıyla, 6MPa, 9 MPa ve 56 MPa olarak ölçülmüştür.

Numunelere, kum-çimento harcından, ince bir tabaka oluşturacak şekilde, başlık yapılmış ve böylece yükleme aletinin çelik kafasına tam temas etmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Önceden değinildiği gibi, harç cinsi, tuğla sayısı ve yükün numunenin yatay derzi ile yaptığı açı farklı olan otuzaltı adet küçük duvar numunesi denenmiştir. Tablo 3.1'de herbir duvar numunesinin özellikleri görülmektedir.

3.2 Ölçüm ve Yükleme Sistemi

Düşey olarak yüklenen numunelerde, en alt ve en üstteki tuğlaların orta hizalarına bağlanan yerdeğiştirme ölçerler ile ön ve arka yüzdeki kısaltmalar belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın gelişimi sürecinde, yükleme aletinin üst çenesinde gerçekleşen dönmenin de tayin edilebilmesi için, yukarıda belirtilenlere ilaveten, dört adet yerdeğiştirme ölçer ile çenelerin dört köşe noktasından da bağıl hareket ölçülmüştür.

Yerdeğiştirme ölçümlerinde CDP-25 yerdeğiştirme ölçerler ve TDS-302 veri işleyici kullanılmıştır.

Yükleme için İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuar'ında bulunan 500 ton kapasiteli Amsler marka hidrolik pres kullanılmıştır. Hidrolik presin üst çenesi küresel mafsallıdır. [19]

Tablo 3.1 Üç ve dört sıralı eleman deneylerinde kullanılan numuneler

Numune İsmi	Harç Cinsi	Tuğla sayısı	Yükleme Açısı
S1-I3-0	3	3	0
S2-I3-0	3	3	0
S3-I3-0	3	3	0
S4-II3-0	4	3	0
S5-II3-0	4	3	0
S6-II3-0	4	3	0
S7-III3-0	5	3	0
S8-III3-0	5	3	0
S9-III3-0	5	3	0
S10-I4-0	3	4	0
S11-I4-0	3	4	0
S12-I4-0	3	4	0
S13-II4-0	4	4	0
S14-II4-0	4	4	0
S15-II4-0	4	4	0
S16-III4-0	5	4	0
S17-III4-0	5	4	0
S18-III4-0	5	4	0
S19-I3-45	3	3	44
S20-I3-45	3	3	44
S21-I3-45	3	3	44
S22-II3-45	4	3	44
S23-II3-45	4	3	44
S24-II3-45	4	3	44
S25-III3-45	5	3	44
S26-III3-45	5	3	44
S27-III3-45	5	3	44
S28-I4-45	3	4	53
S29-I4-45	3	4	53
S30-I4-45	3	4	53
S31-II4-45	4	4	53
S32-II4-45	4	4	53
S33-II4-45	4	4	53
S34-III4-45	5	4	53
S35-III4-45	5	4	53
S36-III4-45	5	4	53

3.3 Gerilme ve Yerdeğiştirmeler

Gerilme hesaplarında,

$$\sigma = P / A_b \quad (3.1)$$

formülü kullanılmıştır. Burada, σ normal gerilmeyi, P numuneye etkiyen basınç kuvvetini, A_b ise tuğlanın brüt alanını ifade etmektedir.

Ortalama şekil değiştirme,

$$\varepsilon = \Delta l / l_0 \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanmıştır. ε ortalama şekil değiştirme, Δl boy değişimi, l_0 ise ilk boydur.

3.4 Düşey Yüklenen Elemanların Davranışı

Deney sonuçlarından elde edilen veriler ile her numune için bir gerilme-şekil değiştirme (σ - ε) eğrisi çizilmiştir. Eksenel doğrultuda yüklenmiş olan onsekiz adet numunenin gerilme-şekil değiştirme (σ - ε) eğrileri kullanılarak hesaplanan elastisite modülleri Tablo 3.2’de toplanmıştır. Burada E, gerilme-şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölgesinin eğimi olarak bulunan elastisite modülünü ifade etmektedir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölgesi, en büyük normal gerilme değerinin (σ_{max}) %5’i ile %35’i arasında kalan doğru olarak seçilmiştir. E_u ise numunenin sünük davranışını ifade eden elastisite modülüdür ve σ - ε eğrisinin başlangıç değeri ile σ_{max} değerini birleştiren doğrunun eğimi olarak hesap edilmiştir. Tuğla ve harç cinsleri aynı olan her üç numunenin E ve E_u değerlerinin ortalaması alınmış ve Bölüm 5’te açıklanan modelin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümünde bu ortalama değerler kullanılmıştır.

Tablo 3.2 Küçük duvar numunelerinin E ve E_u değerleri

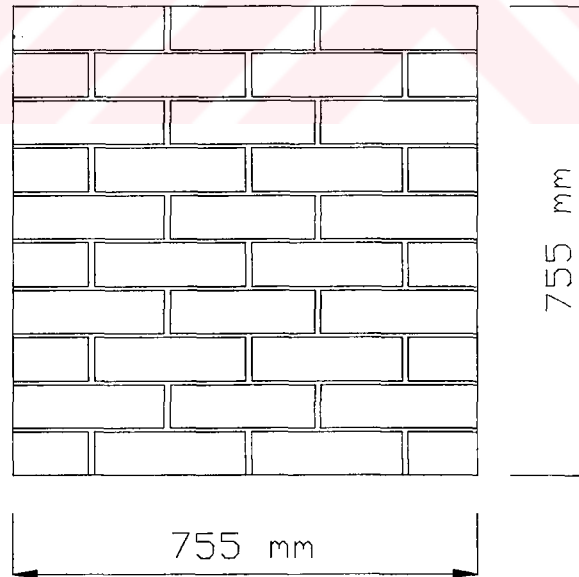
#	Harç cinsi	σ_{maks} (MPa)	ϵ_{maks}	$\sigma_{\%5}$ (MPa)	$\epsilon_{\%5}$	$\sigma_{\%35}$ (MPa)	$\epsilon_{\%35}$	E (MPa)	E _{ort} (MPa)	E _u (MPa)	E _{uort} (MPa)
S1	3	14,00	0,00382	0,70	0,00001	4,93	0,00031	14007,03		3666,49	
S2	3	14,83	0,00337	0,67	0,00003	5,33	0,00038	13341,61	13943,60	4405,90	4051,48
S3	3	14,06	0,00344	0,70	0,00001	4,88	0,00030	14482,18		4082,04	
S4	4	25,29	0,00214	1,40	0,00002	9,07	0,00055	14282,76		11832,50	
S5	4	23,29	0,00115	1,40	0,00009	8,41	0,00055	15215,79	14232,15	20282,40	13719,08
S6	4	24,02	0,00266	1,41	0,00008	8,44	0,00061	13197,90		9042,34	
S7	5	30,53	0,00197	2,02	0,00016	11,13	0,00101	10652,56		15472,91	
S8	5	40,12	0,00272	1,74	0,00001	13,95	0,00079	15671,38	13414,38	14752,05	15641,31
S9	5	29,40	0,00176	1,73	0,00010	10,38	0,00072	13919,20		16698,98	
S10	3	15,65	0,00416	0,85	0,00013	5,10	0,00068	7708,12		3758,68	
S11	3	18,43	0,00189	0,82	0,00002	6,58	0,00041	14783,96	14300,08	9760,53	7785,08
S12	3	21,09	0,00214	1,36	0,00000	7,48	0,00030	20408,16		9836,02	
S13	4	14,24	0,00166	0,69	0,00002	4,86	0,00027	16532,37		8601,87	
S14	4	8,70	0,00216	0,84	0,00003	3,35	0,00036	7443,77	12730,14	4022,16	6882,92
S15	4	13,05	0,00163	0,67	0,00000	4,68	0,00029	14214,28		8024,73	
S16	5	19,81	0,00364	1,06	0,00049	6,95	0,00145	6130,83		5435,92	
S17	5	17,40	0,00115	0,84	0,00001	5,86	0,00044	11726,41	9201,32	15155,81	11677,53
S18	5	22,75	0,00158	1,34	0,00006	8,03	0,00074	9746,72		14440,86	

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Numunelerin Şekli ve Hazırlanması

4.1.1 Numunelerin Boyutları ve Çeşitleri

Üç adet pilot numune, otuzaltı adet esas numune ve bir adet referans numunesi olmak üzere, 755 mm x 755 mm x 120 mm boyutlarında, toplam kırk adet numune üretilmiştir. Numunelerin düşey ve yatay derz kalınlıkları yaklaşık 10 mm'dir. Bölüm 1'de de değinildiği gibi, duvar numunelerinin kayma gerilmeleri ve kayma modüllerinin hesaplanmasında ASTM C 1391-81'de yer alan hesap yöntemleri kullanılmış olmasına rağmen, bu standartta önerilen numune boyutu 1200 mm yerine, boşluklu blok tuğlaların boyutları, deney düzeneğinin izin verdiği ölçüler ve laboratuarda mevcut olan çelik kalıpların boyutları dikkate alınarak, numune boyutu olarak 755 mm seçilmiştir. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Duvar numunesinin boyutları

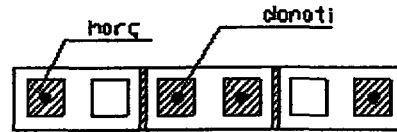
Duvar numuneleri, tuğla, harç ve donatı cinsleri aynı altı, dört, iki donatılı ve donatısız dört numuneden oluşan seriler halinde üretilmiştir. Bu seriler tuğla, harç ve donatı cinsleri gözönünde tutularak üç gruba ayrılmışlardır. Referans numune, deney sonuçlarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla, piyasada bulunabilecek ince cidarlı delikli tuğla ile donatısız olarak üretilmiştir. Numunelerin serileri, grupları, tuğla, harç, donatı cinsleri ve donatı miktarları Tablo 4.1’de toplu halde gösterilmiştir.

4.1.2 Numunelerin Üretimi

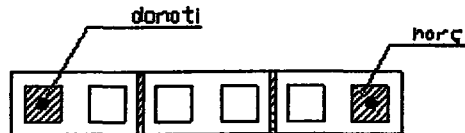
Duvar numuneleri özel olarak yaptırılmış çelik kalıplar üzerinde örülmüşlerdir. Donatılı olan numuneler, örüldükten sonra donatıları boşluklara yerleştirilmiş ve sonra bu boşluklar harç ile doldurulmuştur. İmallerinden yedi gün sonra kalıptan alınmış ve deneye tabii tutulacakları güne kadar normal laboratuvar şartlarında, özel olarak üretilmiş beton başlıklara oturtularak saklanmışlardır. Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te altı, dört ve iki donatılı numunelerin donatı yerleşim planları verilmiştir.



Şekil 4.2 Altı donatılı numunelerde donatı yerleşimi



Şekil 4.3 Dört donatılı numunelerde donatı yerleşimi



Şekil 4.4 İki donatılı numunelerde donatı yerleşimi

Tablo 4.1 Numune grupları ve malzeme özellikleri

Numune ismi	Grup no	Donatı sayısı	Harç cinsi	Tuğla cinsi	tuğla basınç dayanımı (N/mm ²)	Donatı cinsi	Donatı akma gerilmesi (N/mm ²)
S37	Pilot	0	-	AKKONAK1	50,88	-	-
S38	Pilot	0	-	AKKONAK1	50,88	-	-
S39	Pilot	0	-	AKKONAK1	50,88	-	-
S40	G1	6	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S41	G1	4	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S42	G1	2	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S43	G1	0	Karş.1	AKKONAK1	50,88	-	-
S44	G1	6	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S45	G1	4	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S46	G1	2	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S47	G1	0	Karş.1	AKKONAK1	50,88	-	-
S48	G2	6	Karş.1	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S49	G2	4	Karş.1	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S50	G2	2	Karş.1	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S51	G2	0	Karş.1	GAVURPINARI	87,88	-	-
S52	G1	6	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S53	G1	4	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S54	G1	2	Karş.1	AKKONAK1	50,88	D1	353,00
S55	G1	0	Karş.1	AKKONAK1	50,88	-	-
S56	G2	6	Karş.2	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S57	G2	4	Karş.2	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S58	G2	2	Karş.2	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S59	G2	0	Karş.2	GAVURPINARI	87,88	-	-
S60	G2	6	Karş.2	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S61	G2	4	Karş.2	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S62	G2	2	Karş.2	GAVURPINARI	87,88	D2	273,00
S63	G2	0	Karş.2	GAVURPINARI	87,88	-	-
S64	G3	6	Özel Harç	GAVURPINARI	87,88	D3	542,00
S65	G3	4	Özel Harç	GAVURPINARI	87,88	D3	542,00
S66	G3	2	Özel Harç	GAVURPINARI	87,88	D3	542,00
S67	G3	0	Özel Harç	GAVURPINARI	87,88	-	-
S68	G3	6	Özel Harç	GAVURPINARI	87,88	D3	542,00
S69	G3	4	Özel Harç	*	-	D3	542,00
S70	G3	2	Özel Harç	GAVURPINARI	87,88	D3	542,00
S71	G3	0	Özel Harç	GAVURPINARI	87,88	-	-
S72	G3	6	Özel Harç	AKKONAK2	62,93	D3	542,00
S73	G3	4	Özel Harç	AKKONAK2	62,93	D3	542,00
S74	G3	2	Özel Harç	AKKONAK2	62,93	D3	542,00
S75	G3	0	Özel Harç	AKKONAK2	62,93	-	-
S76	Referans	0	Özel Harç	İnce cidarlı delikli tuğla	2,00	-	-

* Gavurpinarı ve Akkonak2 tuğlaları beraber kullanılarak üretilen numune

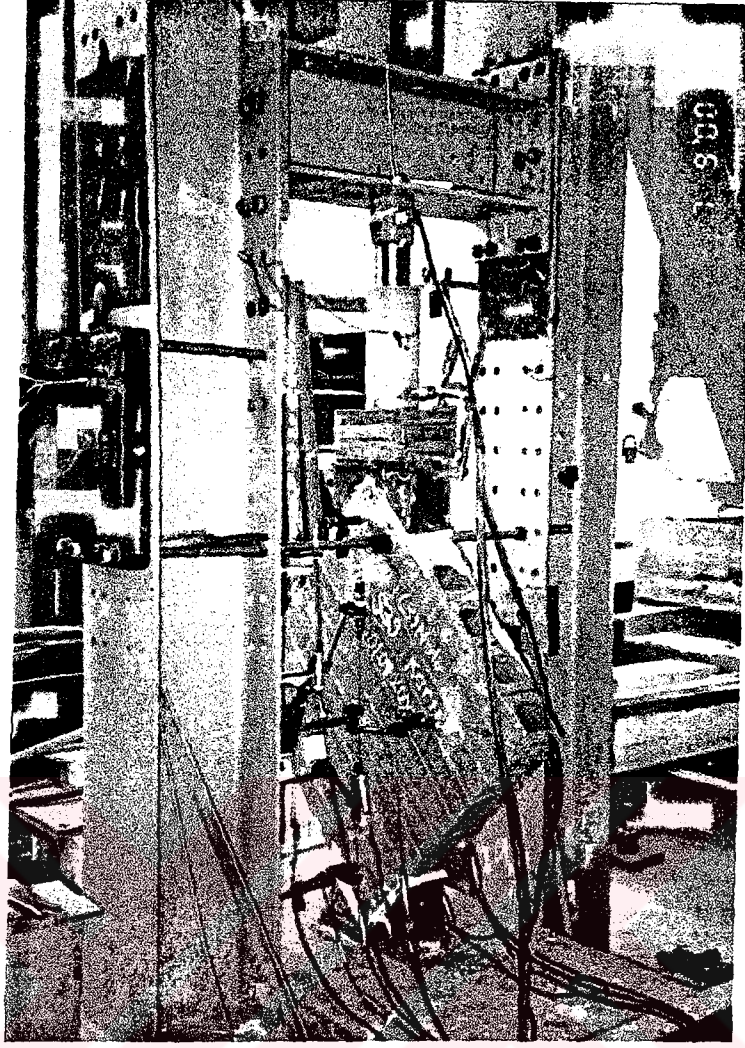
Duvar numunelerine, sekizer adet korniyer epoksi ile yapıştırılarak ölçüm yapılacak noktalar oluşturulmuştur. Bu noktalar numunenin köşegenleri üzerinde, köşelerden 20 cm içeride seçilmiştir. Böylece ölçümlerin sınır koşullarından etkilenmemesi ve aynı doğrultudaki iki ölçüm noktası arasında yeterli miktarda tuğla ve harç fazı geçilmesi sağlanmıştır.

4.2 Deney Tekniği ve Programı

Yüksek mukavemetli özel tuğlalar ile üretilmiş duvar numunelerinin kayma dayanımlarını incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada, kuvvet artım hızı sabit tutulmaya çalışılarak, statik kuvvet kontrollü deney tekniği kullanılmıştır. Deney esnasında numunelerdeki yerdeğiştirmeler on adet yerdeğiştirme ölçer (transducer) ile ölçülmüştür. Yatay derzleri yüklemeye 45°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmiş duvar numunelerine düşey basınç kuvveti uygulanmış ve kırılma yükleri, kırılma şekilleri, çatlak rölöveleri ve artan yük kademelerinde yerdeğiştirme okumaları kayıt edilmiştir. İlk çatlakların gözlenebildiği numunelerde, bunlar da çatlak rölövelerinde işlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

4.2.1 Numunelerin Deneye Hazırlanması

Duvar numunelerinin, düşeyde 45° açı ile durmalarını sağlamak için, iki adet çelik başlık yaptırılmıştır. Klavuzunda duran alt çelik başlığın içine alçıdan bir yüzey hazırlanıp, duvar numunesi şakülünde başlığa yerleştirilmiştir. Üst çelik başlığın da içinde alçı yüzey hazırlandıktan sonra, üst başlık numunenin üstüne oturtulmuştur. Alçı, numune ile çelik başlıklar arasında kalan küçük boşlukların doldurulması ile düşeyde ve yatayda şakülün tam olarak sağlanması amacı ile kullanılmıştır. Numunenin yükleme sırasında düzlemi içerisinde kalması, Şekil 4.5'te görülen, numunenin ön ve arka taraflarına yanaştırılan metal kollar ile temin edilmiştir. Bu metal kollar ve numune arasındaki sürtünme etkilerini azaltmak amacı ile, ara yüzeye yağ sürülerek kayganlığı arttırılmıştır.



Şekil 4.5 Deney düzeneği

4.2.2 Yükleme

Duvar numunelerinin boyutlarının büyük olması sebebiyle, düşey yükün güvenli olarak tatbik edilebilmesi için, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda mevcut çelik reaksiyon çerçevesi içerisindeki bir bölüm düzenlenerek deneysel çalışmanın yapılabileceği ortam oluşturulmuştur.

Numunelere düşey yük, 50 ton kapasiteli hidrolik veren (hydraulic jack) yardımıyla tatbik edilmiştir. Çelik üst başlığının üzerine, yükseklik seviyesini ayarlamak için, çelik bir plaka konulmuş ve üstüne hidrolik veren yerleştirilmiştir. Uygulanan yükün değeri, hidrolik verenin üzerine konulan, 50 ton kapasiteli yük ölçer (load cell) ile ölçülmüştür.

Yükleme, yaklaşık 10 kN'luk yük adımları ile yapılmış ve her yük adımından sonra yerdeğiştirme ölçümleri alınmıştır. Otuzuncu numuneden (S66) itibaren, tahmini

kırılma yükünün $\frac{1}{4}$ 'ü mertebesindeki bir değere kadar yükleme boşaltma yapılması yoluna gidilerek, yerdeğiştirme okumalarında bir kontrol sağlanmıştır.

4.2.3 Yerdeğiştirme Okumaları

Deneylerde yerdeğiştirme okumaları, on adet yerdeğiştirme ölçer (transducer) ile yapılmıştır. Duvar numunelerinin ön ve arka yüzlerine, yükleme ekseninde ikişer yerdeğiştirme ölçer ve yükleme eksenine dik doğrultuda ikişer yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Ayrıca numunenin ön yüzüne de, düzlem dışı hareketi kontrol amacıyla, iki adet yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşim şeması Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu yerleşim şemasında okların yönü yerdeğiştirme ölçerin ölçüm noktasını teşkil eden alüminyum korniyere yaklaşım yönünü göstermektedir.

Yükleme eksenini doğrultusunda ve yükleme eksenine dik doğrultudaki ölçümlerde, 25 mm'lik sekiz adet CDP-25 yerdeğiştirme ölçer, düzlem dışı hareketin ölçümünde ise 10 mm'lik iki adet CDP-10 yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır.

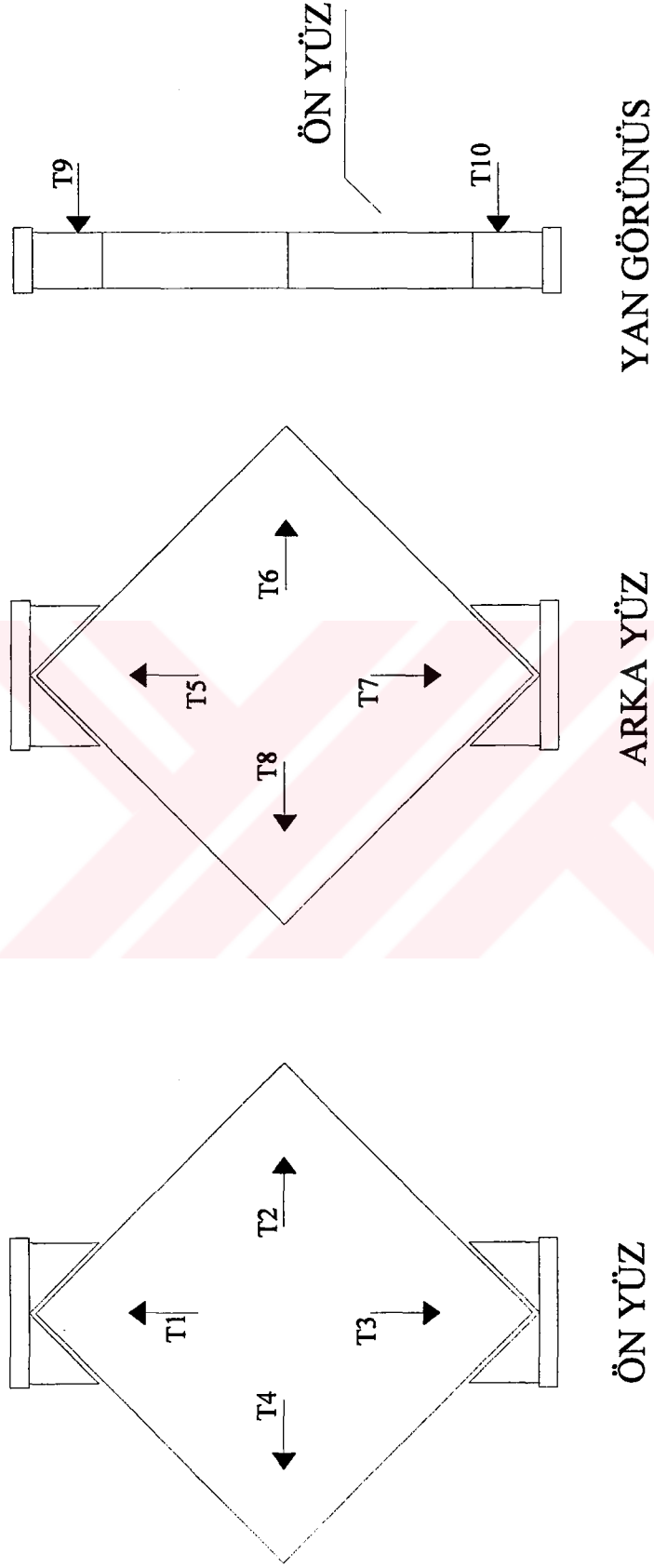
Deney esnasında, düzlem dışı hareketi ölçen T9 ve T10 numaralı yerdeğiştirme ölçerlerin göndermiş olduğu veriler sürekli kontrol edilerek, numunenin düzlem dışı hareketinin belli sınırların içinde kalması sağlanmıştır.

Şekil 4.7'de yerdeğiştirme ölçerlerin ölçüm noktasına yerleşimi şematik olarak gösterilmiştir.

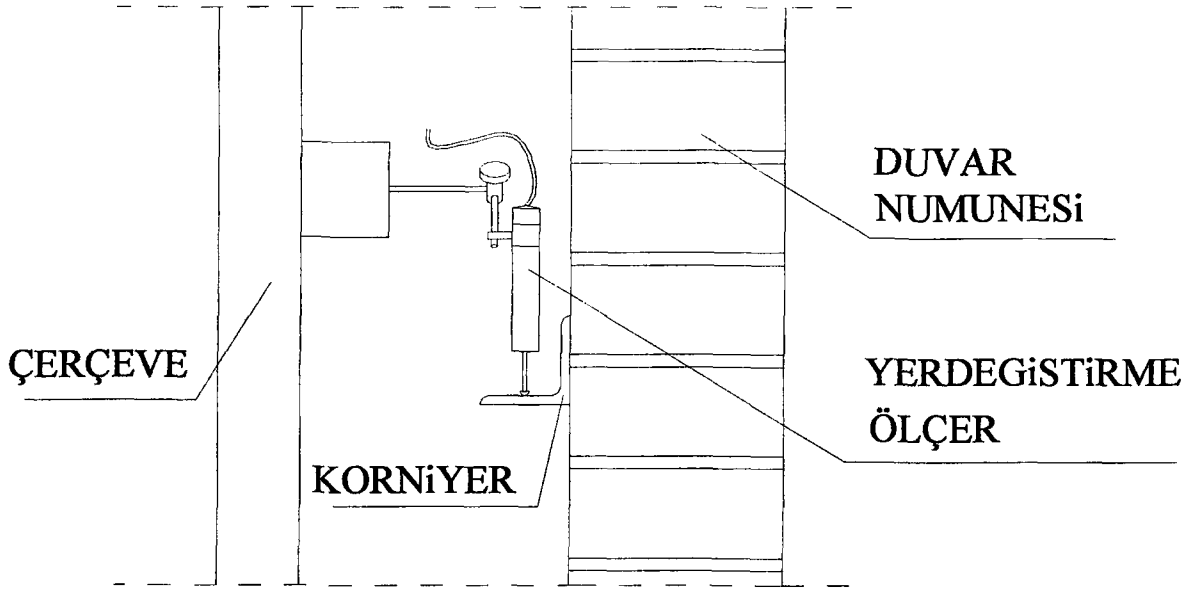
4.2.4 Deney Verilerinin Toplanması ve Ölçüm Sistemi

Deney sırasında yük ölçer ve yerdeğiştirme ölçerlerden alınan bilgiler, çoğaltma kutusu (Switchbox ACV 50 TML) aracılığı ile veri dönüştürücü (Data logger TDS 302) ve buna bağlı bilgisayara iletilmiş ve kaydedilmiştir. Söz konusu bilgisayarda, özel bir yazılım kullanılarak, yük ve yerdeğiştirmeler eş zamanlı görülebilmektedir.

Ayrıca herbir numunenin kırılma şekilleri ve çatlak rölöveleri kayıt edilmiş ve deney sırasında oluşan ilk çatlağın gözlenebildiği numunelerde bunlar da çatlak rölövelerine işlenmiştir. Bütün numunelerin kırılma şekilleri ve çatlak rölöveleri Ek C'de verilmiştir.



Şekil 4.6 Yerdeğiştirme ölçerlerin numune üzerindeki yerleşim şeması



Şekil 4.7 Yerdeğiştirme ölçerlerin ölçüm noktasına yerleşim şeması

4.3 Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Duvar numunelerine, yatay derzleri ile 45°'lik açı yapan düşey basınç kuvveti uygulanmıştır. (Şekil 4.8)

Yükün, numunenin yatay derzlerine paralel ve dik yöndeki bileşenleri,

$$Q = P \cdot \cos 45^\circ \quad (4.1)$$

$$N = P \cdot \sin 45^\circ \quad (4.2)$$

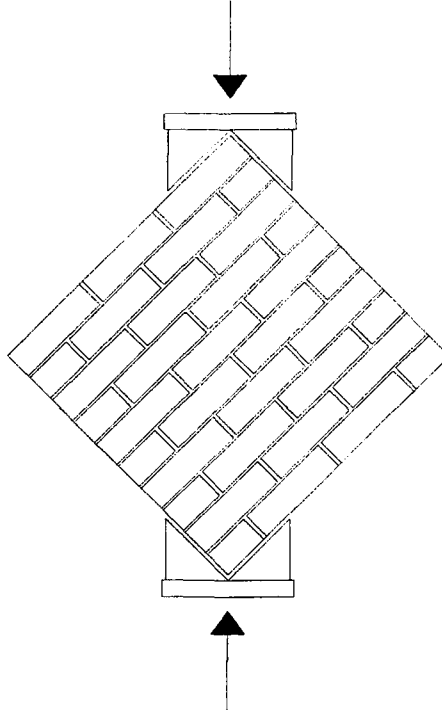
olmaktadır. Burada P düşey basınç kuvvetini, Q basınç kuvvetinin numunenin yatay derzlerine paralel bileşenini, N ise basınç kuvvetinin numunenin yatay derzlerine dik bileşenini göstermektedir. Bu yükleme sonucunda numunelerin kesitlerinde,

$$\sigma = N / A_b \quad (4.3)$$

ortalama normal gerilmeleri ve

$$\tau = Q / A_b \quad (4.4)$$

kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. A_b , numunenin brüt kesit alanını ifade etmektedir.



Şekil 4.8 Deney numunelerinin yüklenme şekli

Deney sırasında, herbir yükleme adımında yük ve yerdeğiştirme okumaları kaydedilmiştir ve bu veriler, Bölüm 2’de açıklanan eleman deneyleri ve Bölüm 3’te açıklanan küçük duvar numuneleri deneylerinden elde edilen veriler ile beraber değerlendirilip, çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır.

Deneyden elde edilen veriler üç farklı açıdan değerlendirilmiştir. Bunlar taşıma kapasiteleri, kayma gerilmesi – kayma açısı ilişkileri ve göçme şekilleridir. Bu değerlendirmeler yapılırken deney sonuçları üzerinde bazı düzeltmeler yapılmıştır. Bunlar arasında üç tanesi önemlidir.

1. Yükün küçük değerlerinde, ölçüm düzeneği nedeniyle ortaya çıkan, beklenin tersi yönünde olan deplasmanlar okuma dışı bırakılmıştır.
2. Büyük yük değerlerinde gevrek davranış dolayısıyla ortaya çıkan ani deplasmanlar, deney düzeneğinin o noktadaki stabilitesini taşımadığı düşünülerek, değerlendirme dışı bırakılmıştır.
3. ASTM C 1391-81’in [2] ΔV ve ΔH esaslı kayma şekil değiştirmeleri ölçümü, gözlemlere dayalı olarak, bazı yerlerde sadece ΔV ile ifade edilmiştir ve her iki hal birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

4.3.1 Taşıma Kapasitelerine Göre Değerlendirme

Deney sonuçlarının taşıma kapasitelerine göre değerlendirilmesi üç parametreye göre yapılmıştır. Bunlar tuğla dayanımı, harç dayanımı ve donatı miktarıdır. Duvar numunelerinin, bu parametreler gözönüne alınarak, taşıdıkları en büyük kayma gerilmeleri (τ_{max}) Tablo 4.2’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.2 Duvar numunelerinin taşıdıkları en büyük kayma gerilmeleri

Donatı Sayısı	Numune İsmi	Harç Cinsi	Tuğla Cinsi	Donatı Akma dayanımı [Mpa]	τ_{max} [Mpa]
0	S43	Karışım1	Akkonak1	-	0,951
	S47	Karışım1	Akkonak1	-	1,066
	S51	Karışım1	Gavurpınarı	-	1,125
	S55	Karışım1	Akkonak1	-	1,132
	S59	Karışım2	Gavurpınarı	-	1,226
	S63	Karışım2	Gavurpınarı	-	1,162
	S67	BL07	Gavurpınarı	-	1,962
	S71	BL07	Gavurpınarı	-	1,861
	S75	BL07	Akkonak2	-	1,895
	referans	BL07	ince cidarlı delikli tuğla	-	0,424
2	S42	Karışım1	Akkonak1	353	0,583
	S46	Karışım1	Akkonak1	353	0,880
	S50	Karışım1	Gavurpınarı	273	1,236
	S54	Karışım1	Akkonak1	353	0,786
	S58	Karışım2	Gavurpınarı	273	1,419
	S62	Karışım2	Gavurpınarı	273	1,534
	S66	BL07	Gavurpınarı	542	1,629
	S70	BL07	Gavurpınarı	542	2,058
	S74	BL07	Akkonak2	542	1,798
4	S41	Karışım1	Akkonak1	353	1,274
	S45	Karışım1	Akkonak1	353	1,437
	S49	Karışım1	Gavurpınarı	273	1,039
	S53	Karışım1	Akkonak1	353	2,434
	S57	Karışım2	Gavurpınarı	273	1,638
	S61	Karışım2	Gavurpınarı	273	1,726
	S65	BL07	Gavurpınarı	542	2,434
	S69	BL07	GP+AK2	542	2,559
	S73	BL07	Akkonak2	542	1,650
6	S40	Karışım1	Akkonak1	353	1,646
	S44	Karışım1	Akkonak1	353	1,366
	S48	Karışım1	Gavurpınarı	273	1,295
	S52	Karışım1	Akkonak1	353	2,082
	S56	Karışım2	Gavurpınarı	273	1,859
	S60	Karışım2	Gavurpınarı	273	1,875
	S64	BL07	Gavurpınarı	542	2,153
	S68	BL07	Gavurpınarı	542	2,393
	S72	BL07	Akkonak2	542	1,959

Donatısız numunelerde, yüksek mukavemetli tuğlalar ile üretilmiş numunelerin tuğla cinsindeki değişim kayma gerilmesi taşıma kapasitesinde önemli farklar yaratmamaktadır. Fakat düşük mukavemetli ince cidarlı delikli tuğlaların taşıdığı en büyük kayma gerilmesi, yüksek mukavemetli tuğlalardan önemli ölçüde düşük

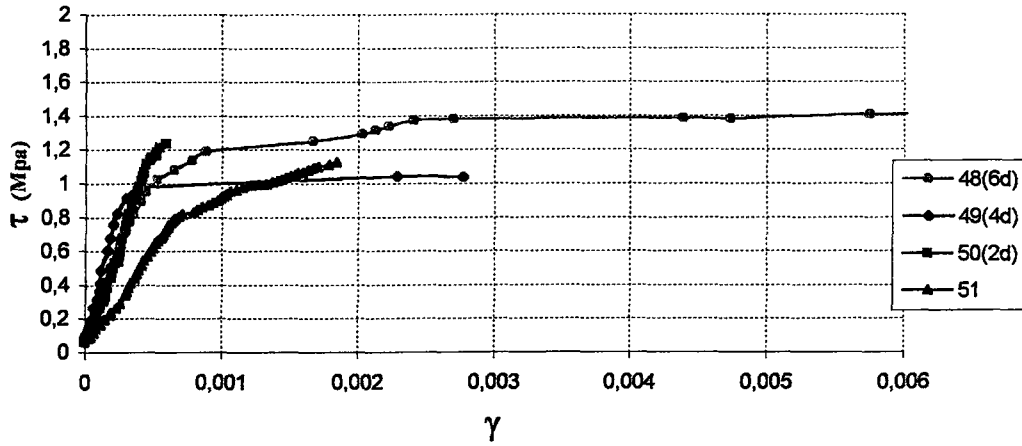
olduğu gözlenmektedir. Donatılı numunelerde ise tuğla dayanımdaki artış, τ_{max} değerini arttırmaktadır.

2,42 MPa basınç dayanımına sahip Karışım 1 ve 6,86 MPa basınç dayanımına sahip Karışım 2'nin kullanıldığı donatısız numunelerde, harçtaki değişim τ_{max} değerinde büyük farklar yaratmamakla beraber, 38,58 MPa basınç dayanımına sahip BL07 özel harcın kullanıldığı numunelerde τ_{max} değerlerinde büyük artış olduğu görülmektedir. Buna rağmen donatılı numunelerde, Karışım 2'nin kullanıldığı numunelerin, Karışım1'in kullanıldığı numunelere göre çok daha yüksek τ_{max} değerine ulaştığı tespit edilmektedir. BL07'nin kullanıldığı numunelerin τ_{max} değeri ise yine diğer karışımlardan yüksektir.

Donatı miktarındaki değişimler dikkate alındığında, her ne kadar altı donatılı numunelerin çoğunlukla daha büyük τ_{max} değerlerine ulaştığı görülse de, iki ve dört donatılı ile donatısız numunelerin τ_{max} değerleri arasında bu yönde bir genelleme yapmak mümkün olamamaktadır. Fakat Şekil 4.9'daki örnek diyagrama bakılarak donatı miktarının artmasının kayma davranışı üzerindeki asıl etkisinin sünekliliği arttırmak olduğu söylenebilir.

Bu bilgiler ışığında, donatısız numunelerde kayma gerilmesi taşıma kapasitesini etkileyen en önemli faktörün harcın basınç dayanımı olduğu, donatılı numunelerde harç ve tuğla dayanımlarındaki artışların τ_{max} değerini yaklaşık olarak aynı miktarda etkilediği, donatının miktarının artmasının ise sünekliliği arttırdığı söylenebilir. Ayrıca çekme dayanımlarının kayma dayanımlarına eşit alınabileceği kabulü ile, duvar numunelerinin 0,424 MPa ve 2,559 MPa arasında değişen τ_{max} değerleri, C20 kalitesindeki betonun TS 500'de [18] verilen çekme dayanımı 1,6 MPa ile karşılaştırıldığında, bu değerlerin çok yüksek olduğu görülmektedir.

Donatısız, iki, dört ve altı donatılı numunelerin toplu τ - γ diyagramları Ek A'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Grup 2 τ - γ ilişkisi

4.3.2 Kayma Gerilmesi-Kayma Şekil Değiştirmesi İlişkisi

Yapılan deneylerden elde edilen veriler denklem (4.1), denklem (4.4) ve ASTM C 1391-81'de önerilen denklemin deney düzeneği dikkate alınarak düzenlenmiş şekli olan,

$$\gamma = (\Delta V / L_v) + (\Delta H / L_h) \quad (4.5)$$

bağıntısı kullanılarak her numune için bir τ - γ ilişkisi bulunmuştur. Burada γ kayma açısı, ΔV yükleme eksenine doğrultusundaki kısaltmalar, ΔH yüklemeye dik doğrultudaki uzamalar, L_v yükleme doğrultusundaki ölçüm noktaları arasındaki mesafe, L_h ise yüklemeye dik doğrultudaki ölçüm noktaları arasındaki mesafedir.

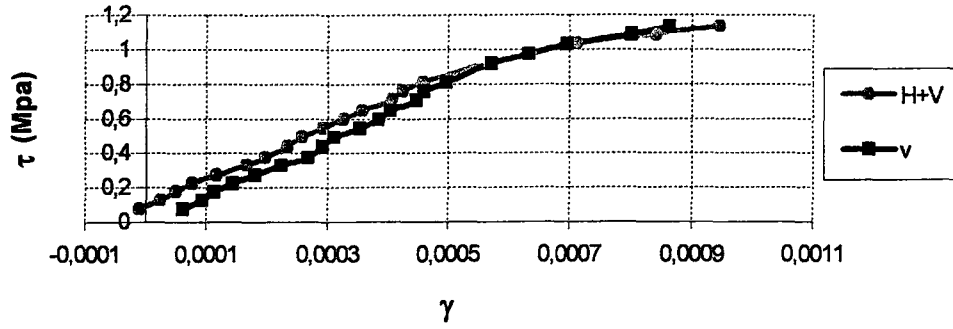
Ayrıca gözlemlere dayanarak, bazı yerlerde kayma açısı,

$$\gamma = (\Delta V / \cos \alpha) \cdot (1 / \Delta_y) \quad (4.6)$$

denklemi ile de hesaplanmış ve (4.5) bağıntısı ile elde edilen γ değerleri ile karşılaştırılmıştır. α , yükleme eksenine numunenin kenarının yaptığı açığı ve Δ_y , numunenin kenarının uzunluğunu ifade etmektedir. Şekil 4.10'da örnek bir τ - γ diyagramı görülmektedir. Burada, 4.5 formülü kullanılarak bulunan τ - γ eğrisi "H+V", 4.6 formülü kullanılarak bulunan τ - γ eğrisi ise "V" olarak adlandırılmıştır.

Diğer numuneler için çizilen τ - γ diyagramları EK A'da verilmiştir.

num 55
(donatısız)



Şekil 4.10 Numune 55'in τ - γ diyagramı

Numunelerin τ - γ diyagramlarının lineer bölgesinin eğimleri hesaplanarak kayma modülleri (G_e) bulunmuştur. Bu hesap sırasında τ - γ diyagramının lineer bölgesinin, $0,05\tau_{max}$ ve $0,35\tau_{max}$ değerleri arasında kalan doğru olduğu kabul edilmiştir. Tablo 4.3'te dört adet numune için bulunan kayma modülü değerleri gösterilmektedir. Burada G_u değeri başlangıç değeri ve τ_{max} 'ı birleştiren doğrunun eğimidir ve süneklik hakkında bir fikir vermesi amacıyla tanımlanmıştır. G_e ve G_u kayma modülü değerleri 5.1'de açıklanan, sonu elemanlar yöntemi ile geliştirilmiş olan deney modelinde kullanılabilir.

Tablo 4.3 S40, S55, S56 ve S58'in G_e ve G_u değerleri

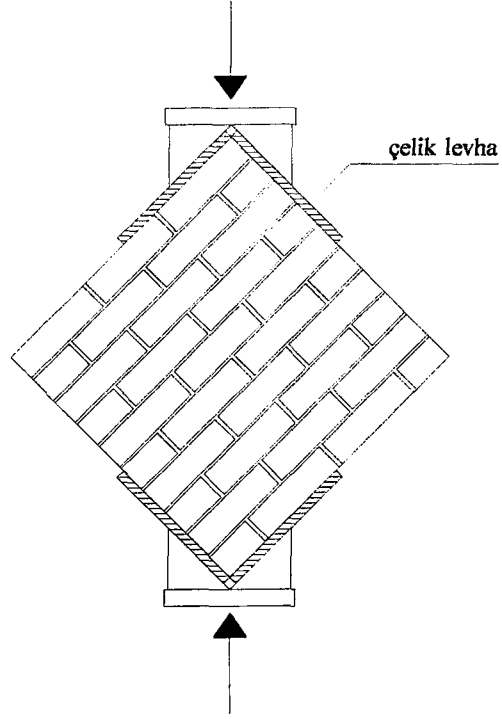
Numune no	H + V		V	
	G_e (MPa)	G_u (MPa)	G_e (MPa)	G_u (MPa)
S40	5629,3	209,7	1518,6	231,7
S55	1438,0	1107,9	1471,4	1321,6
S56	1364,2	364,5	2416,3	531,3
S58	1812,2	1682,9	2189,8	1912,1

4.3.3 Göçme Şekillerine Göre Değerlendirme

Deney sonuçları ve kırılma rölöveleri incelendiğinde, göçme şekillerini etkileyen faktörün donatı miktarı olduğu görülmektedir. Donatısız numuneler, genellikle bir derz yüzeyi boyunca oluşan kayma göçmesiyle kırılmaktadır. İki ve dört donatılı numuneler de kayma göçmesi şeklinde kırılmış fakat kayma yüzeyleri birbirini takip eden düşey ve yatay derzler boyunca oluşmuşlardır. Altı donatılı numunelerde ise, kayma göçmesi ve çatlakların yükleme eksenine doğrultusunda olduğu basınç göçmesinin birleşimi olan bir kırılma şekli görülmüştür. Donatısız numuneler parçalanarak göçerken, donatılı numunelerde, donatı parçalanmayı önlemiş ve hasarı azaltmıştır. Her tip göçme şekline ait resimler EK B’de verilmiştir. Göçme şekillerinden ve rölövelerden hesaplanabilen yaklaşık kayma alanlarından, 5.2’de yaklaşık taşıma kapasiteleri tayininde yararlanılmıştır.

4.4 Deney Tekniğinin Değerlendirilmesi

Deney çalışması yapılırken, kullanılan deney tekniğinin çeşitli sakıncaları olduğu saptanmıştır. Bunlardan en önemlisi, çelik yükleme başlıklarının, uygulanan yükü uniform olarak dağıtamamasıdır. Bunun sonucu olarak başlığının sınır bölgelerinde, çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar numunenin yükleme altındaki davranışını etkilemektedir. Deney tekniği hakkındaki bu dezavantajı kaldırmak amacıyla, bundan sonra aynı teknik kullanılarak yapılacak deneylerde, çelik başlığın altına yerleştirilecek levhalar ile yükün uniforma yakın dağılımının sağlanması düşünülmektedir. (Şekil 4.11) Ayrıca yerdeğiştirme okumalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesi aşamasındaki zorlukların ortadan kaldırılması için yeni bir ölçüm alma düzeni geliştirilmesinde yarar vardır.



Şekil 4.11 Yü­k­ün uniform dağılımının sağlanması

5. KURAMSAL ÇALIŞMALAR

5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Geliştirilen Deney Modeli

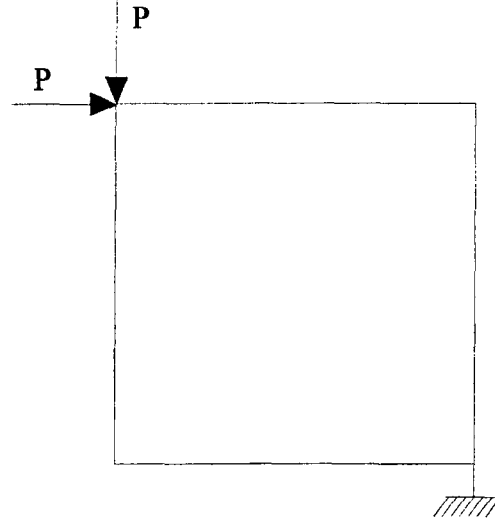
Çalışmanın bu bölümünde duvar numuneleri, homojen kabulü yapılarak modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Hesaplar SAP 2000 bilgisayar programı ile yapılmış ve bulunan sonuçlar ile deneysel çalışmadan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Deney modelleri üç parametreye bağlı olarak geliştirilmiştir. Bu parametreler, modeldeki parça sayısı, yükleme ve mesnetlenme koşulları, poisson oranıdır.

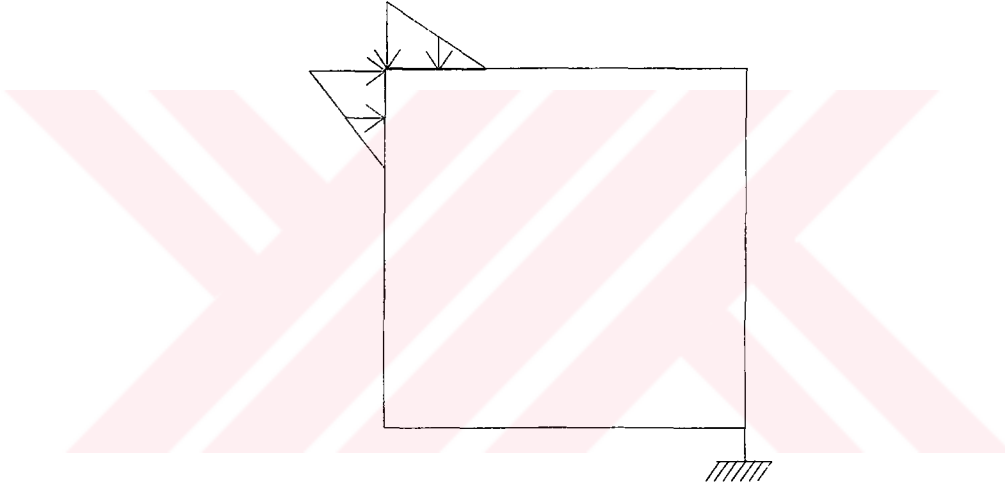
5.1.1 Parça Sayısı, Yükleme ve Mesnetlenme Koşulları

755 mm x 755 mm x 120 mm boyutlarındaki duvar numunelerinin, 256, 576, 1024 ve 4096 sayıda eşit kare parçalardan oluşan, dört adet modeli hazırlanmıştır. Deney modelinin homojen olduğu kabulüne göre bütün parçaların elastisite modülü olarak, tahmini bir değer olan 600.000 t/m², poisson oranı olarak da 0,1 verilmiştir. Modellerin, Şekil 5.1'de görüldüğü gibi, bir köşe düğüm noktasına eşit büyüklükte yatay ve düşey tekil yükler verilerek ve köşegen üzerindeki diğer köşe düğüm noktasında, düğüm noktasını her üç eksen doğrultusunda ötelenmeye ve bu eksenler etrafında dönmeye karşı tutan, bir ankastre mesnet oluşturularak, deney numunelerinin yükleme ve mesnetlenme koşullarına benzer koşullar yaratılmıştır.

Uygun parça sayısının tayin edilebilmesi amacı ile sisteme 1 tonluk yatay ve düşey yükler verilmiş, 256, 576, 1024 ve 4096 parçalı dört model SAP 2000 ile çözülmüştür. Herbirinin, deney numuneleri için yükleme doğrultusunda ve yüklemeye dik doğrultuda, sırasıyla, δ_y ve δ_x olarak tanımlanmış yerdeğiştirme değerleri hesaplanmıştır. Deney düzeneğinde, yükün numuneye, çelik başlıklar tarafından, üçgen yayılı yüke yakın bir dağılımda aktarıldığı gözönüne alınarak, bileşkeleri 1 ton olan yatay ve düşey üçgen yayılı yükler uygulanarak dört model yeniden çözülmüştür. (Şekil 5.2) Her iki yükleme şekline ait δ_y değerleri de aynı grafik üzerinde çizilmiştir. (Şekil 5.3) Bu grafikler, hesapların stabilitesi ve modelin yeterli sayıda parça ile oluşturulması koşulları açısından incelendiğinde, 1024 parçalı



Şekil 5.1 Yatay ve düşey tekil yük etkileyen modelin yükleme ve mesnetlenme şekli

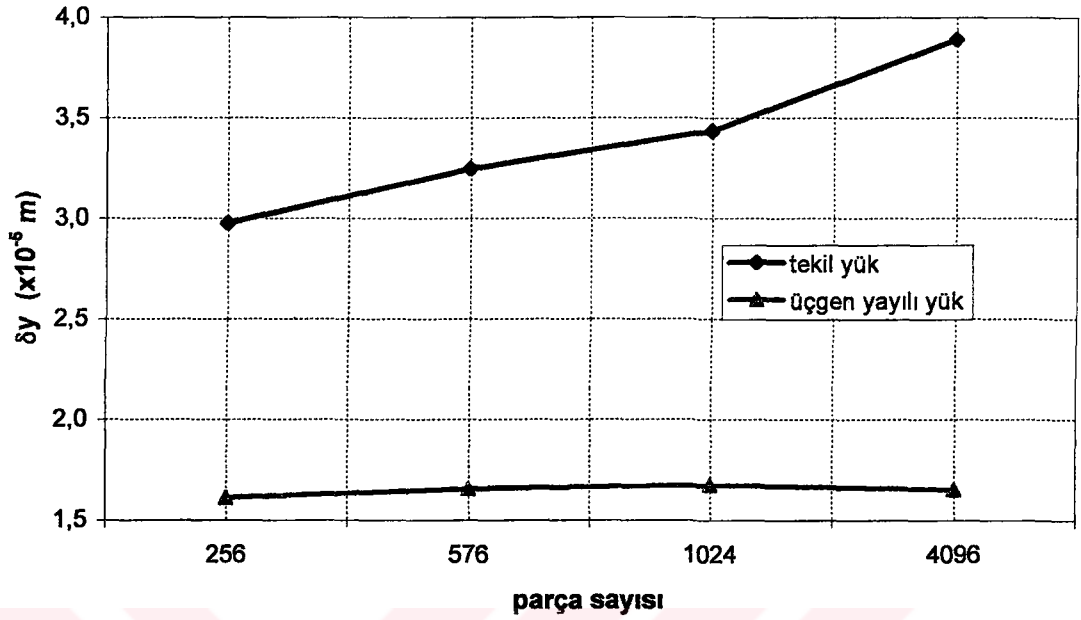


Şekil 5.2 Yatay ve düşey üçgen yayılı yük etkileyen modelin yükleme şekli

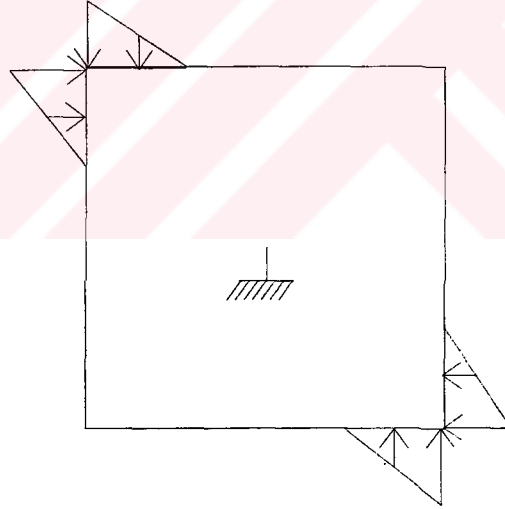
modelin kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca yükün tekil yük olarak etkilediği zaman yerdeğiştirmelerin, üçgen yayılı yük durumunun yaklaşık iki katı değerler verdiği görülmüştür.

Köşe düğüm noktasına konulan ankastre mesnetin sebep olabileceği olumsuz lokal etkileri ortadan kaldırmak amacıyla, ortadaki düğüm noktasına her üç eksen doğrultusunda ötelenmeye ve üç eksen etrafında dönmeye karşı tutan bir ankastre mesnet yerleştirilmesi yoluna gidilmiştir. (Şekil 5.4) Modeller bu yeni mesnetlenme koşuluna göre, hem tekil yükler etkisinde hem de üçgen yayılı yükler etkisinde yeniden çözülmüş ve bir önceki mesnetlenme koşulu ile aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Deney modellerinin sonlu elemanlar yöntemi ile hesabında bundan sonraki

aşamalarda 1024 parçalı, Şekil 5.4'te gösterilen mesnetlenme koşullarına sahip modelin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.3 Her iki yükleme durumuna göre çizilen δ_y - parça sayısı eğrileri

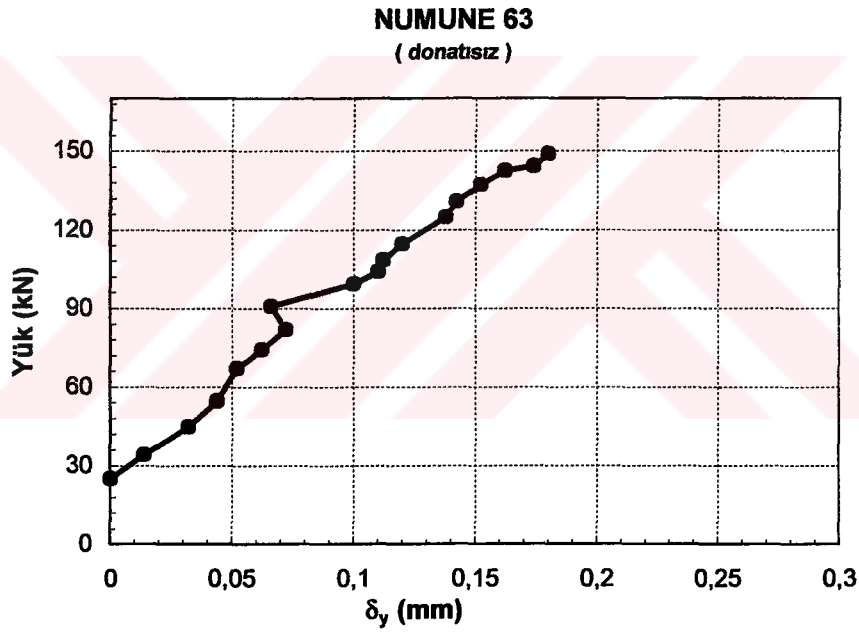


Şekil 5.4 Orta düğüm noktası ankastre mesnetli model

5.1.2 Poisson Oranı ve Sonuçların Karşılaştırılması

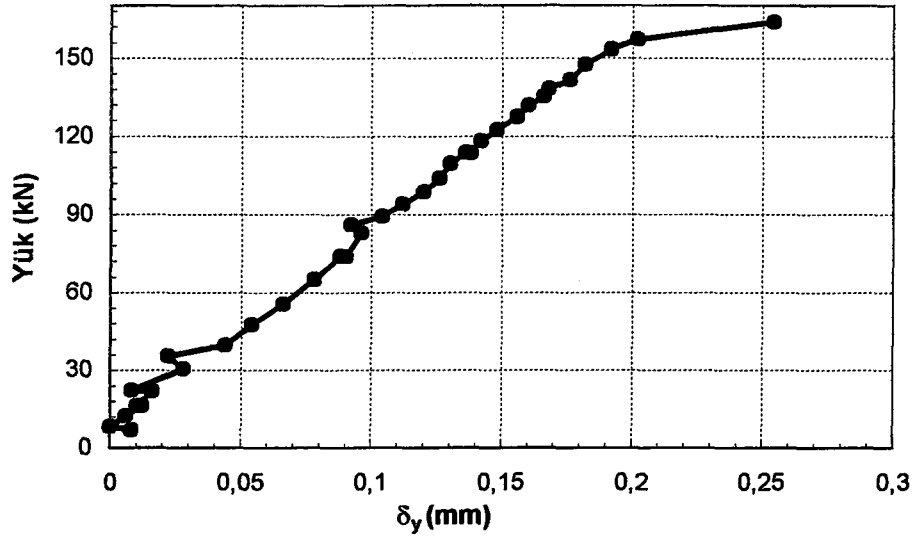
1024 parçalı modelin sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan yerdeğiştirme değerlerinin, deney verileri ile karşılaştırılması amacıyla iki adet deney numunesi seçilmiştir. Modelde elastisite modülü olarak, Bölüm 3'te yer alan Tablo 3.2'deki harç basınç dayanımı 6 MPa olan üç tuğlalı küçük duvar numunelerinin ortalama elastisite modülü 13943,60 MPa alınmıştır. Buna uygun olarak donatısız deney

numunelerinden harç basınç dayanımları 6,86 MPa olan numuneler S59 ve S63 seçilmiştir. Bu numunelerin yük-düşey yerdeğiştirme ($P-\delta_y$) eğrileri Şekil 5.5 ve 5.6'da görülmektedir. S59 ve S63'ün $P-\delta_y$ eğrilerinin lineer olduğu bölgenin sınır değeri olduğu gözlenen yük değerleri alınmış ve model bu yük değerlerinin üçgen yayılı ve tekil yük durumları için çözülmüşlerdir. Modelin poisson oranı 0,1 ve 0,25 olarak seçilmiştir. Herbir yükleme durumu ve yük değerinin, iki farklı poisson oranı kullanılarak modelden hesap edilen düşey yerdeğiştirme değerleri (δ_y), S59 ve S63 numunelerinin deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.1'de özetlenmiştir ve Şekil 5.7 ve 5.8'de, S63 ve S59'un $P-\delta_y$ grafikleri üzerinde gösterilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde, üçgen yayılı yük durumunun deney verilerine daha yakın sonuçlar verdiği ve poisson oranındaki artışın düşey yerdeğiştirme değerini arttırıcı bir etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 5.5 S63'ün yük-yerdeğiştirme eğrisi

NUMUNE 59
(donatısız)



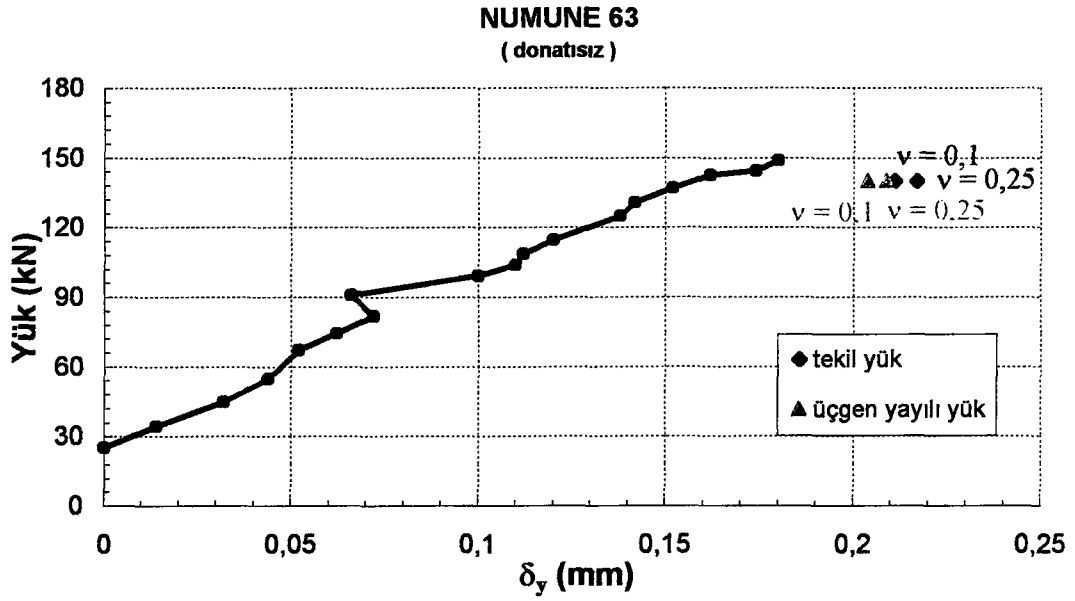
Şekil 5.6 S59'un yük-yerdeğiştirme eğrisi

Tablo 5.1 Model sonuçları ve deney verilerinin karşılaştırılması

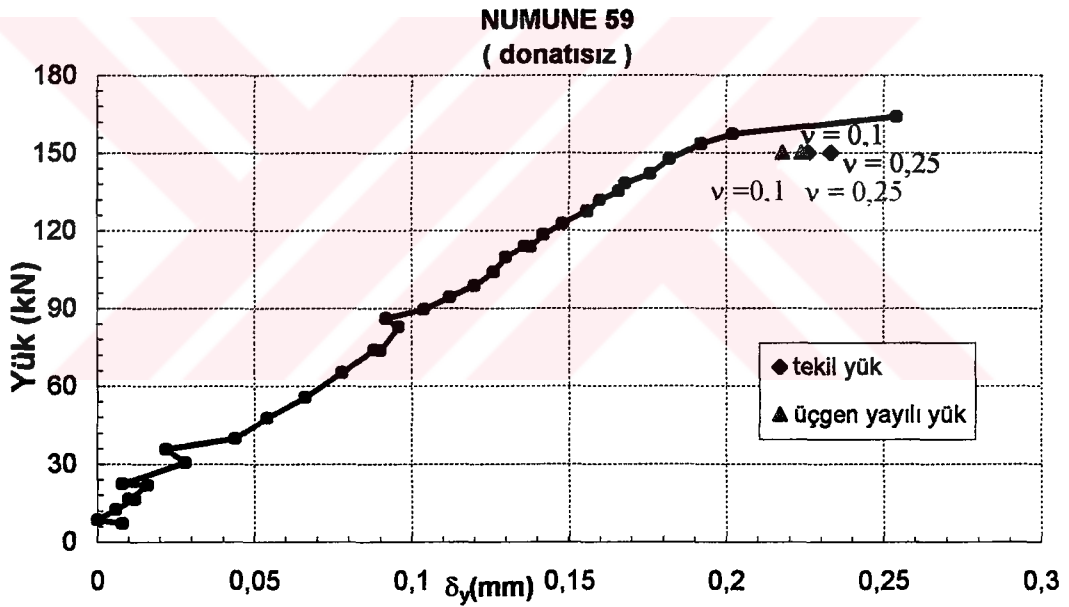
Numune No.	Model sonuçları				Deney Verileri	
	Yük (t)	v	Yüklemeye Durumu	δ_y (mm)	Yük (t)	δ_y (mm)
S59	15	0,1	tekil yük	0,226	14,76	0,182
		0,25		0,233		
		0,1	üçgen yayılı yük	0,218		
		0,25		0,224		
S63	14	0,1	tekil yük	0,211	14,24	0,162
		0,25		0,217		
		0,1	üçgen yayılı yük	0,204		
		0,25		0,209		

5.2 Yaklaşık Taşıma Kapasitesi ve Eşdeğer Çubuk Rijitliği

Deneyden elde edilen verilerin 4.3.1'de taşıma kapasitelerine göre değerlendirilmesinde, harç dayanımının taşıma kapasitelerini etkileyen önemli bir faktör olduğu görülmüştür. Bu nedenle, harç kayma dayanımının çekme dayanımına eşit olduğu ve düşey derzlerde doğrudan çekmeye ve yatay derzlerde kaymaya maruz kalan harç tabakalarında kırılmanın aynı anda olduğu kabulleri ile, harç dayanımı ve duvar numunesi yük taşıma kapasitesi arasında bir ilişki tayin edilmeye çalışılmıştır. Deneyler sırasındaki gözlemler bu kabullerin uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.7 S63'ün yük-yerdeğiştirme eğrisi ve modelden elde edilen sonuçlar



Şekil 5.8 S59'un yük-yerdeğiştirme eğrisi ve modelden elde edilen sonuçlar

Bölüm 2'de açıklanan eleman deneylerinde tespit edilmiş olan harç basınç dayanımları kullanılarak, TS 500'de [18] betonun basınç dayanımdan çekme dayanımına geçmek için verilen bağıntıya benzer olarak,

$$f_{htk} = \sqrt{f_{hk}} \cdot 1,1 \quad [\text{kg/cm}^2] \quad (5.1)$$

formülü ile yaklaşık harç çekme dayanımları hesaplanmıştır. Burada, f_{htk} harcın çekme dayanımını, f_{hk} ise harcın basınç dayanımını ifade etmektedir. 5.1

formülündeki 1,1 katsayısının, kayma dayanımını etkileyen parametrelere bağlı olarak değişebileceği bilinmektedir. Bu parametreler arasında en önemlisi, sürtünme kuvvetini arttırıcı etkisi olan, basınç gerilmeleridir.

Numunelerin göçme şekilleri ve çatlak rölövelerinden yararlanılarak yaklaşık brüt kırılma yüzey alanları (A_1) bulunmuştur. Bu durumda yaklaşık yük taşıma kapasiteleri,

$$\overline{P_{u1}} = f_{htk} \cdot A_1 \quad (5.2)$$

olmaktadır. Bu değerler, deney sonuçlarından elde edilen taşıma kapasiteleri (P_u) değerleri ile karşılaştırılmış ve

$$\Delta P_{u1} = \overline{P_{u1}} - P_u \quad (5.3)$$

denklemini kullanarak yüzde hata oranları ($\Delta P_{u1}/P_u$) hesaplanmıştır.

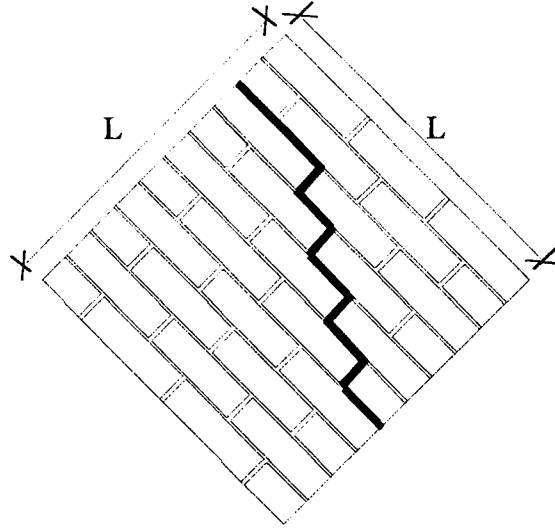
Numune kırılma şekilleri incelendiğinde, yatay ve düşey derzler boyunca birbirini takip eden kırılma yüzeylerinin, yatay derzler boyunca bir kenarı taradığı ve düşey derzler boyunca da kenar uzunluğunun (L) yaklaşık %40'ı kadar olduğu ve toplam kırılma boyunun duvarın köşegenine (D) eşit alınabileceği gözlemlenmiştir. Yaklaşık brüt kırılma yüzey alanını (A_1) tayin edilmesindeki zorluklar gözönüne alınarak, brüt kırılma yüzeyi alanı,

$$A_2 = D \cdot t \quad (5.4)$$

formülü ile genelleştirilmiştir. (Şekil 5.9) Burada, D duvar numunesinin köşegen uzunluğu, t ise duvar numunesinin kalınlığıdır.

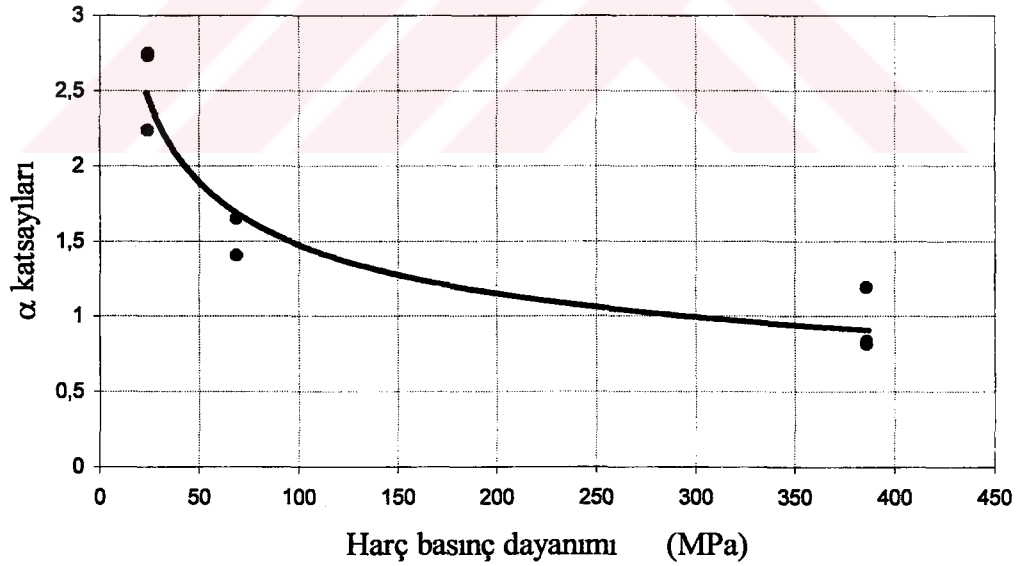
Genelleştirilmiş brüt kırılma yüzeyi alanı (A_2) 5.2 formülünde kullanılarak $\overline{P_{u2}}$ değeri hesaplanmıştır. Bu işlemler donatısız, iki, dört ve altı donatılı numuneler için ayrı ayrı yapılmıştır ve Tablo 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5'te toplanmıştır.

Görüldüğü gibi 5.2 formülü kullanılarak bulunan $\overline{P_{u1}}$ ve $\overline{P_{u2}}$ taşıma kapasiteleri, deneylerden elde edilen taşıma kapasitelerine yeterli yaklaşıklıkta hesaplanamamış ve özellikle düşük dayanımlı harçlarda büyük hata yüzdeleri vermiştir. Yaklaşık taşıma kapasitelerinin daha doğru tayin edilebilmesi amacı ile 5.1 formülündeki 1,1 katsayısının düzeltilmesi yoluna gidilmiştir. Donatısız, iki, dört ve altı donatılı numuneler için, deneylerden elde edilen taşıma kapasiteleri ve harç basınç dayanımı



Şekil 5.9 Örnek bir kırılma yüzeyi rölovesi

değerleri formül 5.1 ve 5.2’de yerine konulmuş ve bütün numuneler için birer α katsayısı bulunmuştur. Herbir harç cinsine göre hesaplanmış olan α katsayıları grafik üzerine işaretlenmiş ve bu değerler arasından uygun birer eğri geçirilmiştir. Şekil 5.10’da donatısız numuneler için hazırlanmış α katsayısı-harç cinsi grafiği görülmektedir.



Şekil 5.10 Donatısız numunelerde harç cinslerine göre hesaplanmış α katsayıları

Tablo 5.2 Donatısız numunelerin yaklaşık taşıma kapasiteleri

Numune no	Harç cinsi	f_{hk} [kg/cm ²]	Tuğla cinsi	P_u [kg]	A_1 [cm ²]	$A_2 = D \cdot t$ [cm ²]	$f_{hk} = \sqrt{f_{hk} \cdot 1,1}$ [kg/cm ²]	$\bar{P}_{u1}$ [kg]	ΔP_{u1} [kg]	$\Delta P_{u1}/P_u$ %	$\bar{P}_{u2}$ [kg]	ΔP_{u2} [kg]	$\Delta P_{u2}/P_u$ %
S43	Karışım1	24,2	AK1	12190	-	1281,28	5,411	-	-	-	6933,4	-5256,6	-43
S47	Karışım1	24,2	AK1	13660	1242	1281,28	5,411	6720,8	-6939,2	-51	6933,4	-6726,6	-49
S51	Karışım1	24,2	GP	14420	1074	1281,28	5,411	5811,7	-8608,3	-60	6933,4	-7486,6	-52
S55	Karışım1	24,2	AK1	14510	1074	1281,28	5,411	5811,7	-8698,3	-60	6933,4	-7576,6	-52
S59	Karışım2	68,6	GP	16380	1410	1281,28	9,111	12846,2	-3533,8	-22	11673,4	-4708,6	-29
S63	Karışım2	68,6	GP	14890	1092	1281,28	9,111	9949,0	-4941,0	-33	11673,4	-3216,6	-22
S67	BL07	385,8	GP	25140	1074	1281,28	21,606	23204,8	-1935,2	-8	27683,3	2543,3	10
S71	BL07	385,8	GP	23850	1494	1281,28	21,606	32279,3	8429,3	35	27683,3	3833,3	16
S75	BL07	385,8	AK2	24435	1494	1281,28	21,606	32279,3	7844,3	32	27683,3	3248,3	13

Tablo 5.3 İki donatılı numunelerin yaklaşık taşıma kapasiteleri

Numune no	Harç cinsi	f_{hk} [kg/cm ²]	Tuğla cinsi	P_u [kg]	A_1 [cm ²]	$A_2 = D \cdot t$ [cm ²]	$f_{hk} = \sqrt{f_{hk} \cdot 1,1}$ [kg/cm ²]	$\bar{P}_{u1}$ [kg]	ΔP_{u1} [kg]	$\Delta P_{u1}/P_u$ %	$\bar{P}_{u2}$ [kg]	ΔP_{u2} [kg]	$\Delta P_{u2}/P_u$ %
S42	Karışım1	24,2	AK1	7470	1242	1281,28	5,411	6720,8	-749,2	-10	6933,4	-536,6	-7
S46	Karışım1	24,2	AK1	12800	990	1281,28	5,411	5357,2	-7442,8	-58	6933,4	-5866,6	-46
S50	Karışım1	24,2	GP	15840	1125	1281,28	5,411	6087,7	-9752,3	-62	6933,4	-8906,6	-56
S54	Karışım1	24,2	AK1	11420	1125	1281,28	5,411	6087,7	-5332,3	-47	6933,4	-4486,6	-39
S58	Karışım2	68,6	GP	18190	1242	1281,28	9,111	11315,6	-6874,4	-38	11673,4	-6516,6	-36
S62	Karışım2	68,6	GP	19710	906	1281,28	9,111	8254,4	-11455,6	-58	11673,4	-8036,6	-41
S66	BL07	385,8	GP	22480	1134	1281,28	21,606	24501,2	2021,2	9	27683,3	5203,3	23
S70	BL07	385,8	GP	26370	1578	1281,28	21,606	34094,2	7724,2	29	27683,3	1313,3	5
S74	BL07	385,8	AK2	23242,3	1326	1281,28	21,606	28649,5	5407,2	23	27683,3	4441,0	19

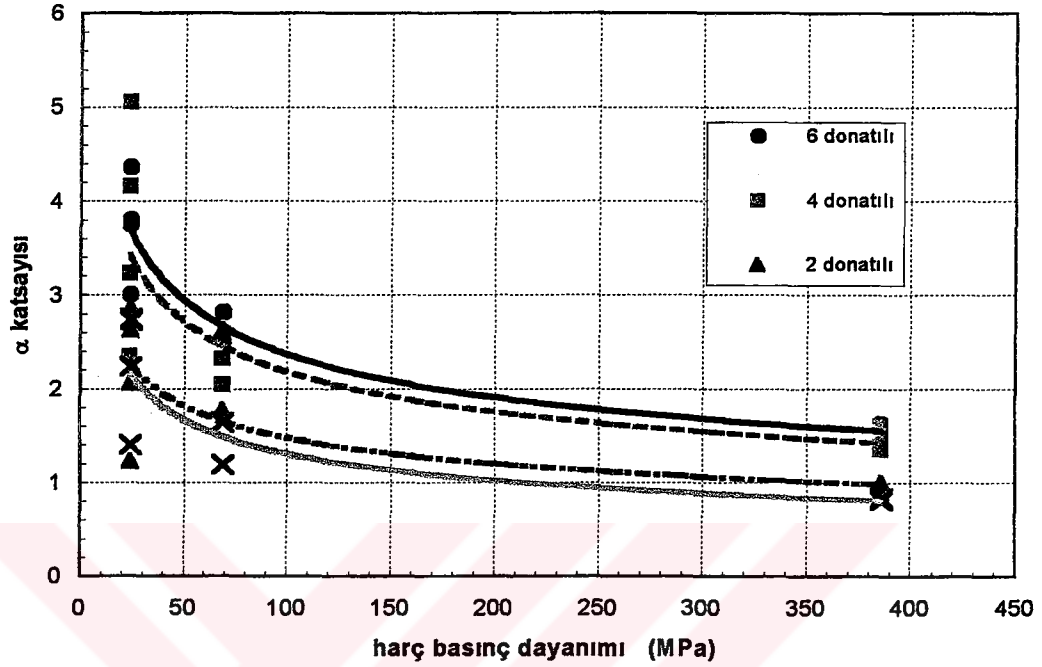
Tablo 5.4 Dört donatılı numunelerin yaklaşık taşıma kapasiteleri

Numune no	Harç cinsi	f_{hk} [kg/cm ²]	Tuğla cinsi	P_u [kg]	A_1 [cm ²]	$A_2 = D \cdot t$ [cm ²]	$f_{hk} = \sqrt{f_{hk} \cdot 1,1}$ [kg/cm ²]	$\bar{P}_{u1}$ [kg]	ΔP_{u1} [kg]	$\Delta P_{u1}/P_u$ %	$\bar{P}_{u2}$ [kg]	ΔP_{u2} [kg]	$\Delta P_{u2}/P_u$ %
S41	Karışım1	24,2	AK1	27120	1326	1281,28	5,411	7175,4	-19944,6	-74	6933,4	-20186,6	-74
S45	Karışım1	24,2	AK1	18410	1158	1281,28	5,411	6266,3	-12143,7	-66	6933,4	-11476,6	-62
S49	Karışım1	24,2	GP	13370	1158	1281,28	5,411	6266,3	-7103,7	-53	6933,4	-6436,6	-48
S53	Karışım1	24,2	AK1	30850	1242	1281,28	5,411	6720,8	-24129,2	-78	6933,4	-23916,6	-78
S57	Karışım2	68,6	GP	20990	1242	1281,28	9,111	11315,6	-9674,4	-46	11673,4	-9316,6	-44
S61	Karışım2	68,6	GP	22200	1158	1281,28	9,111	10550,3	-11649,7	-52	11673,4	-10526,6	-47
S65	BL07	385,8	GP	32660	1242	1281,28	21,606	26834,6	-5825,4	-18	27683,3	-4976,7	-15
S69	BL07	385,8	GP+AK2	32790	1041	1281,28	21,606	22491,8	-10298,2	-31	27683,3	-5106,7	-16
S73	BL07	385,8	AK2	35560	1242	1281,28	21,606	26834,6	-8725,4	-25	27683,3	-7876,7	-22

Tablo 5.5 Altı donatılı numunelerin yaklaşık taşıma kapasiteleri

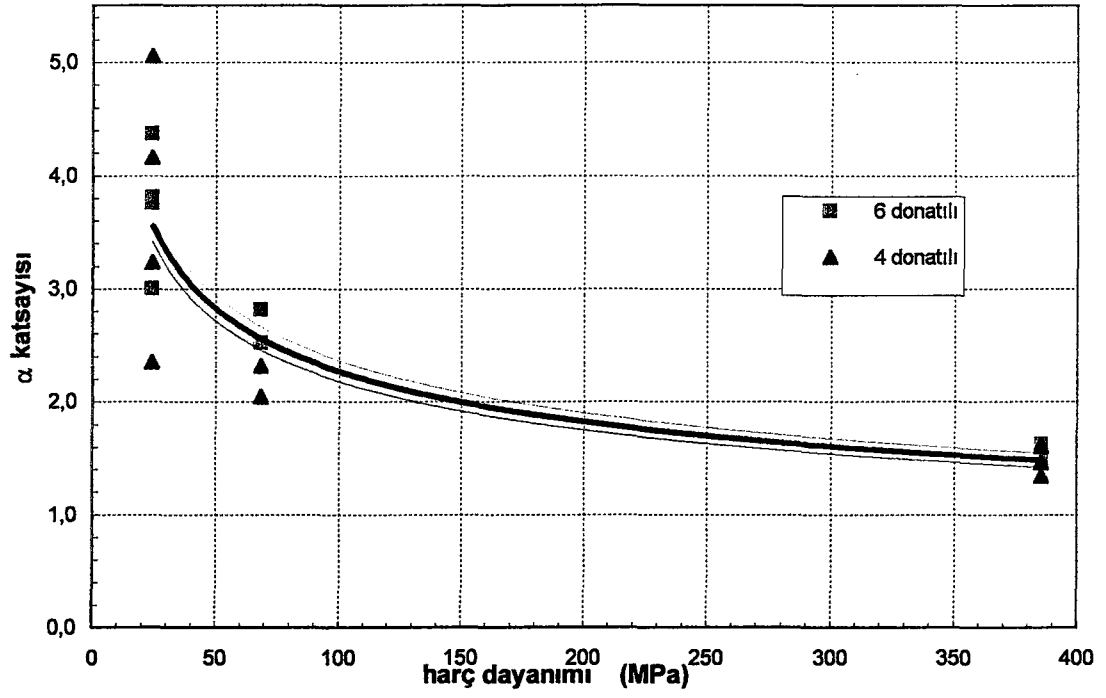
Numune no	Harç cinsi	f_{hk} [kg/cm ²]	Tuğla cinsi	P_u [kg]	A_1 [cm ²]	$A_2 = D \cdot t$ [cm ²]	$f_{hk} = \sqrt{f_{hk} \cdot 1,1}$ [kg/cm ²]	$\bar{P}_{u1}$ [kg]	ΔP_{u1} [kg]	$\Delta P_{u1}/P_u$ %	$\bar{P}_{u2}$ [kg]	ΔP_{u2} [kg]	$\Delta P_{u2}/P_u$ %
S40	Karışım1	24,2	AK1	21090	1142	1281,28	5,411	6179,7	-14910,3	-71	6933,4	-14156,6	-67
S44	Karışım1	24,2	AK1	23240	1242	1281,28	5,411	6720,8	-16519,2	-71	6933,4	-16306,6	-70
S48	Karışım1	24,2	GP	18340	1242	1281,28	5,411	6720,8	-11619,2	-63	6933,4	-11406,6	-62
S52	Karışım1	24,2	AK1	26680	1242	1281,28	5,411	6720,8	-19959,2	-75	6933,4	-19746,6	-74
S56	Karışım2	68,6	GP	24240	1041	1281,28	9,111	9484,3	-14755,7	-61	11673,4	-12566,6	-52
S60	Karışım2	68,6	GP	24140	1158	1281,28	9,111	10550,3	-13589,7	-56	11673,4	-12466,6	-52
S64	BL07	385,8	GP	27590	906	1281,28	21,606	19575,0	-8015,0	-29	27683,3	93,3	0,3
S68	BL07	385,8	GP	30730	1067	1281,28	21,606	23053,6	-7676,4	-25	27683,3	-3046,7	-10
S72	BL07	385,8	AK2	43880	1377	1281,28	21,606	29751,4	-14128,6	-32	27683,3	-16196,7	-37

Donatısız, iki, dört ve altı donatılı numunelerin α katsayısı-harç cinsi eğrileri aynı grafikte üzerinde çizildiğinde, altı ve dört donatılı numuneler ile iki donatılı ve donatısız numunelerin eğrilerinin kendi aralarında çok yakın olduğu görülmüştür. (Şekil 5.11)

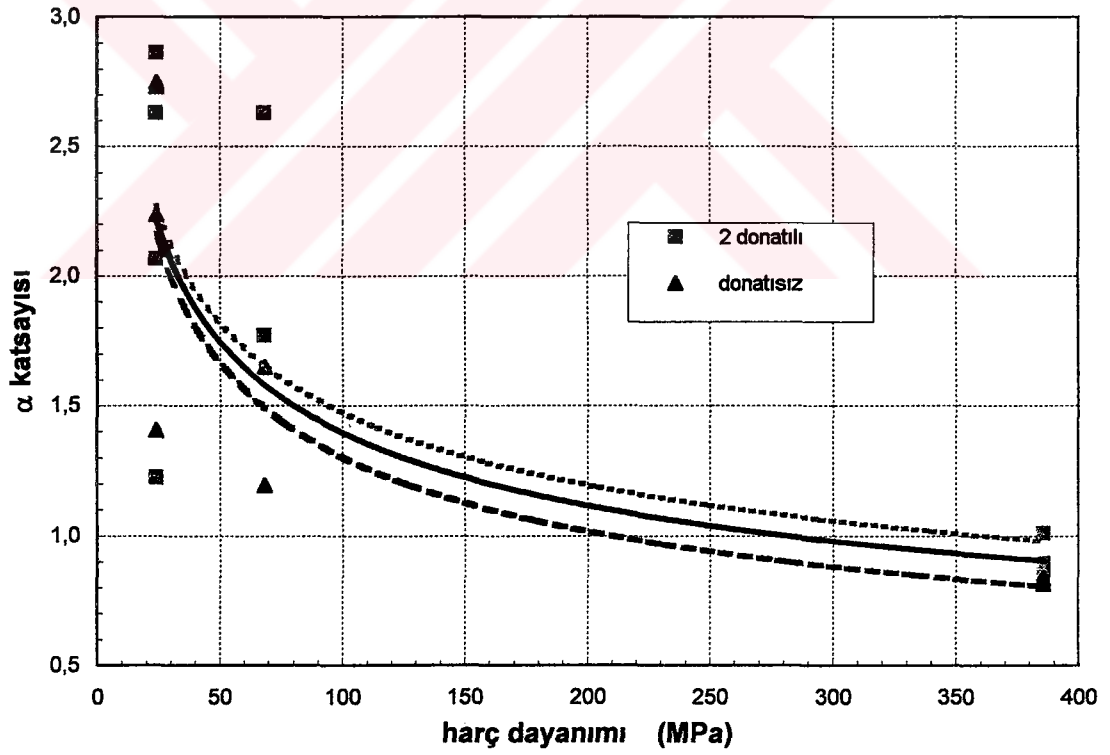


Şekil 5.11 Tüm numunelerin α katsayısı-harç basınç dayanımı grafiği

α katsayısı-harç basınç dayanımı eğrilerinin yakınlığı gözönüne alınarak, altı ile dört donatılı numuneler ve iki donatılı ile donatısız numuneler için ortak birer eğri önerilmiştir. (Şekil 5.12, 5.13) Bu eğrilerden harç cinslerine göre okunan α katsayıları kullanılarak iki, dört, altı donatılı ve donatısız numuneler için yaklaşık taşıma kapasiteleri $\bar{P}_{u1}$ ve $\bar{P}_{u2}$ yeniden hesaplanmıştır. Tablo 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9'da sonuçlar özetlenmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde, yaklaşık taşıma kapasiteleri hata yüzdelerinin, 1,1 katsayısı kullanılarak hesaplanan değerlerin hata yüzdelerine göre düşük olduğu görülmektedir. Ancak daha doğru bir yaklaşım elde edilebilmesi için çok sayıda numune üzerinde inceleme yapılmalıdır.



Şekil 5.12 Altı ve dört donatılı numunelerinin ortak α katsayısı-harç dayanımı eğrisi



Şekil 5.13 İki donatılı ve donatısız numunelerin ortak α katsayısı-harç dayanımı eğrisi

Tablo 5.6 Donatısız numunelerin α katsayıları kullanılarak hesaplanmış yaklaşık taşıma kapasiteleri

Num. no	Harç cinsi	f_{hk} [kg/cm ²]	Tuğla cinsi	P_u [kg]	A_1 [cm ²]	$A_2 = D \cdot t$ [cm ²]	α	$f_{htk} = \sqrt{f_{hk} \cdot \alpha}$ [kg/cm ²]	$\bar{P}_{u1}$ [kg]	ΔP_{u1} [kg]	$\Delta P_{u1}/P_u$ %	$\bar{P}_{u2}$ [kg]	ΔP_{u2} [kg]	$\Delta P_{u2}/P_u$ %
S43	Karışım1	24,2	AK1	12190	-	1281,28	2,2	10,823	-	-	-	-	-	-
S47	Karışım1	24,2	AK1	13660	1242	1281,28	2,2	10,823	13441,6	-218,4	-2	13866,7	206,7	2
S51	Karışım1	24,2	GP	14420	1074	1281,28	2,2	10,823	11623,4	-2796,6	-19	13866,7	-553,3	-4
S55	Karışım1	24,2	AK1	14510	1074	1281,28	2,2	10,823	11623,4	-2886,6	-20	13866,7	-643,3	-4
S59	Karışım2	68,6	GP	16380	1410	1281,28	1,58	13,086	18451,8	2071,8	13	16767,3	387,3	2
S63	Karışım2	68,6	GP	14890	1092	1281,28	1,58	13,086	14290,3	-599,7	-4	16767,3	1877,3	13
S67	BL07	385,8	GP	25140	1074	1281,28	0,88	17,285	18563,9	-6576,1	-26	22146,6	-2993,4	-12
S71	BL07	385,8	GP	23850	1494	1281,28	0,88	17,285	25823,5	1973,5	8	22146,6	-1703,4	-7
S75	BL07	385,8	AK2	24435	1494	1281,28	0,88	17,285	25823,5	1388,5	6	22146,6	-2288,4	-9

Tablo 5.7 İki donatılı numunelerin α katsayıları kullanılarak hesaplanmış yaklaşık taşıma kapasiteleri

Num. no	Harç cinsi	f_{hk} [kg/cm ²]	Tuğla cinsi	P_u [kg]	A_1 [cm ²]	$A_2 = D \cdot t$ [cm ²]	α	$f_{htk} = \sqrt{f_{hk} \cdot \alpha}$ [kg/cm ²]	$\bar{P}_{u1}$ [kg]	ΔP_{u1} [kg]	$\Delta P_{u1}/P_u$ %	$\bar{P}_{u2}$ [kg]	ΔP_{u2} [kg]	$\Delta P_{u2}/P_u$ %
S42	Karışım1	24,2	AK1	7470	1242	1281,28	2,2	10,823	13441,6	5971,6	80	13866,7	6396,7	86
S46	Karışım1	24,2	AK1	12800	990	1281,28	2,2	10,823	10714,3	-2085,7	-16	13866,7	1066,7	8
S50	Karışım1	24,2	GP	15840	1125	1281,28	2,2	10,823	12175,4	-3684,6	-23	13866,7	-1973,3	-12
S54	Karışım1	24,2	AK1	11420	1125	1281,28	2,2	10,823	12175,4	755,4	7	13866,7	2446,7	21
S58	Karışım2	68,6	GP	18190	1242	1281,28	1,58	13,086	16253,3	-1936,7	-11	16767,3	-1422,7	-8
S62	Karışım2	68,6	GP	19710	906	1281,28	1,58	13,086	11856,2	-7853,8	-40	16767,3	-2942,7	-15
S66	BL07	385,8	GP	22480	1134	1281,28	0,88	17,285	19600,9	-2879,1	-13	22146,6	-333,4	-1
S70	BL07	385,8	GP	26370	1578	1281,28	0,88	17,285	27275,4	905,4	3	22146,6	-4223,4	-16
S74	BL07	385,8	AK2	23242,3	1326	1281,28	0,88	17,285	22919,6	-322,7	-1	22146,6	-1095,7	-5

Tablo 5.8 Dört donatılı numunelerin α katsayıları kullanılarak hesaplanmış yaklaşık taşıma kapasiteleri

Num. no	Harç cinsi	f_{hk} [kg/cm ²]	Tuğla cinsi	P_u [kg]	A_1 [cm ²]	$A_2 = D \cdot t$ [cm ²]	α	$f_{hk} = \sqrt{f_{hk} \cdot \alpha}$ [kg/cm ²]	$\bar{P}_{u1}$ [kg]	ΔP_{u1} [kg]	$\Delta P_{u1}/P_u$ %	$\bar{P}_{u2}$ [kg]	ΔP_{u2} [kg]	$\Delta P_{u2}/P_u$ %
S41	Karışım1	24,2	AK1	27120	1326	1281,28	3,55	17,464	23156,9	-3963,1	-15	22375,9	-4744,1	-17
S45	Karışım1	24,2	AK1	18410	1158	1281,28	3,55	17,464	20223,0	1813,0	10	22375,9	3965,9	22
S49	Karışım1	24,2	GP	13370	1158	1281,28	3,55	17,464	20223,0	6853,0	51	22375,9	9005,9	67
S53	Karışım1	24,2	AK1	30850	1242	1281,28	3,55	17,464	21689,9	-9160,1	-30	22375,9	-8474,1	-27
S57	Karışım2	68,6	GP	20990	1242	1281,28	2,55	21,120	26231,5	5241,5	25	27061,2	6071,2	29
S61	Karışım2	68,6	GP	22200	1158	1281,28	2,55	21,120	24457,4	2257,4	10	27061,2	4861,2	22
S65	BL07	385,8	GP	32660	1242	1281,28	1,5	29,463	36592,7	3932,7	12	37750,0	5090,0	16
S69	BL07	385,8	GP+AK2	32790	1041	1281,28	1,5	29,463	30670,7	-2119,3	-6	37750,0	4960,0	15
S73	BL07	385,8	AK2	35560	1242	1281,28	1,5	29,463	36592,7	1032,7	3	37750,0	2190,0	6

Tablo 5.9 Altı donatılı numunelerin α katsayıları kullanılarak hesaplanmış yaklaşık taşıma kapasiteleri

Num. no	Harç cinsi	f_{hk} [kg/cm ²]	Tuğla cinsi	P_u [kg]	A_1 [cm ²]	$A_2 = D \cdot t$ [cm ²]	α	$f_{hk} = \sqrt{f_{hk} \cdot \alpha}$ [kg/cm ²]	$\bar{P}_{u1}$ [kg]	ΔP_{u1} [kg]	$\Delta P_{u1}/P_u$ %	$\bar{P}_{u2}$ [kg]	ΔP_{u2} [kg]	$\Delta P_{u2}/P_u$ %
S40	Karışım1	24,2	AK1	21090	1142	1281,28	3,55	17,464	19943,5	-1146,5	-5	22375,9	1285,9	6
S44	Karışım1	24,2	AK1	23240	1242	1281,28	3,55	17,464	21689,9	-1550,1	-7	22375,9	-864,1	-4
S48	Karışım1	24,2	GP	18340	1242	1281,28	3,55	17,464	21689,9	3349,9	18	22375,9	4035,9	22
S52	Karışım1	24,2	AK1	26680	1242	1281,28	3,55	17,464	21689,9	-4990,1	-19	22375,9	-4304,1	-16
S56	Karışım2	68,6	GP	24240	1041	1281,28	2,55	21,120	21986,3	-2253,7	-9	27061,2	2821,2	12
S60	Karışım2	68,6	GP	24140	1158	1281,28	2,55	21,120	24457,4	317,4	1	27061,2	2921,2	12
S64	BL07	385,8	GP	27590	906	1281,28	1,5	29,463	26693,2	-896,8	-3	37750,0	10160,0	37
S68	BL07	385,8	GP	30730	1067	1281,28	1,5	29,463	31436,7	706,7	2	37750,0	7020,0	23
S72	BL07	385,8	AK2	43880	1377	1281,28	1,5	29,463	40570,1	-3309,9	-8	37750,0	-6130,0	-14

Köşegeni doğrultusunda basınca maruz deney numunesi eşdeğer bir çubuk ile ifade etmek istenirse, eksenel basınç etkisindeki bu eşdeğer çubuğun rijitliği,

$$k_{33} = (EF) / L \quad (5.5)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada E eşdeğer çubuğun elastisite modülü, F kesit alanı, L uzunluğudur. L boyu, numunenin düşey yerdeğıştirmelerinin ölçüldüğü noktaların arasındaki mesafeye (D_0) eşittir. Eşdeğer çubuğun (EF) değerlerinin tayinin zorluğu gözönüne alınarak, deneylerden elde edilen veriler ile herbir numune için çizilmiş olan yük-yerdeğıştirme (P- δ) eğrileri ve

$$k_{33} = P / \delta \quad (5.6)$$

bağıntısı yardımı ile herhangi bir P_i yük değerindeki eşdeğer çubuk rijitliği (k_{33}^i), P- δ eğrisinin o yük değerine denk gelen nokta ve başlangıç değerini birleştiren doğrunun eğimi olarak hesaplanabilir. Bu yöntemle bulunan k_{33}^i rijitliği,

$$\overline{k}_{33}^i = k_{33}^i \cdot (D_0 / t_0 \cdot f_{htk}) \quad (5.7)$$

denklemleri ile boyutsuzlaştırılır. P- δ eğrisininden yararlanılan yığma duvardan farklı harç dayanımına, kalınlığa ve boyutlara sahip bir duvarın aynı yük değeri için eşdeğer çubuk rijitliğine,

$$k_{33}^y = \overline{k}_{33}^i \cdot (t_0^y \cdot f_{htk}^y / D_0^y) \quad (5.8)$$

denklemleri ile geçilebilir.

6. SONUÇLAR

İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda, kayma dayanımlarının incelenmesi amacıyla, yüksek mukavemetli özel tuğlalar kullanılarak üretilmiş, 755 mm x 755 mm x 120 mm boyutlarında 40 adet duvar numunesi, ASTM C 1391-81 standartında tanımlanan deney tekniği kullanılarak denenmiştir. Duvar numuneleri göçmeye kadar zorlanmış ve doğrusal olmayan bölgede kayma dayanımlarının ve duvar kesitlerinin kayma rijitliklerinin değişimi saptanmıştır.

Deney verileri, Bölüm 4'te açıklandığı gibi, taşıma kapasitelerine, kayma gerilmesi-kayma açısı ilişkilerine ve göçme şekillerine göre değerlendirilmiştir. Duvar numuneleri, Bölüm 5'te açıklandığı gibi, homojen kabulü yapılarak modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Hesaplar SAP 2000 bilgisayar programı ile yapılmış ve bulunan değerler ile deneysel çalışmadan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, harç basınç dayanımının çekme dayanımına eşit olduğu ve düşey derzlerde doğrudan çekmeye ve yatay derzlerde kaymaya maruz kalan harç tabakalarında kırılmanın aynı anda olduğu kabul edilerek, harç basınç dayanımı ve duvar numunesi yük taşıma kapasitesi arasında bir ilişki tayin edilmeye çalışılmıştır. Köşegeni doğrultusunda basınca maruz kalan deney numunesinin, eşdeğer bir çubuk ile ifade edilmesi istendiğinde, deney verileri kullanılarak hesaplanabilen bir eşdeğer çubuk rijitliği değeri önerilmiştir.

Bölüm 4'te açıklanan deneysel çalışmalar ve Bölüm 5'te açıklanan kuramsal çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Donatısız numunelerde kayma gerilmesi taşıma kapasitesini etkileyen en önemli faktörün harcın basınç dayanımı olduğu, donatılı numunelerde harç ve tuğla dayanımlarındaki artışların, taşınan en büyük kayma gerilmesi (τ_{max}) değerini yaklaşık olarak aynı miktarda etkilediği ve donatı miktarının artmasının asıl etkisinin sünekliği arttırmak olduğu gözlenmiştir.
2. Çekme dayanımlarının kayma dayanımlarına eşit olduğu kabulü yapılarak, duvar numunelerinin 0,424 MPa ve 2,559 MPa arasında değişen kayma

dayanımları ($\tau_{\max}$), C20 kalitesindeki betonun TS 500'de [18] verilen çekme dayanımı 1,6 MPa ve deprem sonrası incelemelerde tespit edilen ortalama beton dayanımı 10 MPa'dan 5.1 denklemi kullanılarak hesap edilen çekme dayanımı 1,1 MPa ile karşılaştırıldığında, bulunan $\tau_{\max}$ değerlerinin ihmal edilemeyecek düzeylerde olduğu görülmektedir.

3. Deneyden elde edilen veriler incelendiğinde, yükleme doğrultusundaki yerdeğiştirme değerlerinin (δ_y), yüklemeye dik doğrultudaki yerdeğiştirme değerlerinden (δ_x) oldukça büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle deney verileri ile deney modelinin sonuçlarının karşılaştırılmasında δ_x değerleri ihmal edilmiştir.
4. Herbir numune için, deney verileri ve 4.1, 4.4, 4.5 denklemleri kullanılarak elde edilen kayma gerilmesi-kayma açısı (τ - γ) diyagramları ile 4.6 denklemi ile hesaplanan kayma açısı değerleri kullanılarak elde edilen (τ - γ) diyagramları karşılaştırılmış ve bunların yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu (τ - γ) diyagramlarının lineer bölgelerinin eğimleri olan G_e kayma modülleri ile başlangıç değeri ve $\tau_{\max}$ 'ı birleştiren doğruların eğimleri olan G_u kayma modülleri hesaplanmıştır. G_u kayma modülünün, numunelerin sünek davranışı hakkında bir fikir verdiği düşünülmektedir. G_e ve G_u kayma modüllerinin, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözülen deney modelinde kullanılması önerilmektedir.
5. Deney sonuçları ve kırılma rölöveleri incelendiğinde, göçme şekillerini etkileyen faktörün donatı miktarı olduğu görülmüştür. Donatısız numuneler parçalanarak göçerken, donatılı numunelerde donatı parçalanmayı önlemiş ve hasarı azaltmıştır.
6. Kullanılan deney tekniğinin çeşitli olumsuzlukları olduğu gözlenmiştir. Bundan sonra aynı teknikle yapılacak deneylerde bu olumsuzluklar, çelik başlığın altına yerleştirilecek levhalar kullanılarak numuneye uygulanan yükün uniform dağılımının sağlanmasıyla giderilebilir. Ayrıca yerdeğiştirme okumalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesi aşamasındaki zorlukların ortadan kaldırılması için yeni bir ölçüm alma düzeninin geliştirilmesi yararlı olacaktır.

7. 1024 parçalı, orta düğüm noktasından ankastre mesnetle bağlı ve yükün üçgen yayılı yük şeklinde etki ettiği duvar numunesi modelleri, sonlu elemanlar yöntemi ile, homojen kabulü yapılarak çeşitli yük değerleri için çözülmüş ve numune S59 ve S63'ün, deney verilerinin aynı yük seviyelerindeki düşey yerdeğiştirme (δ_y) değerlerine yakın sonuçlar bulunmuştur. Mevcut modelin geliştirilmesi ile daha uygun sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir.
8. Harç kayma dayanımının, çekme dayanımına eşit olduğu kabulü ile harç dayanımı ve duvar numunesi yük taşıma kapasitesi arasında bir ilişki tayin edilmeye çalışılmış, fakat 5.1 denklemi kullanılarak hesaplanan yaklaşık taşıma kapasitelerinin deney verilerinden elde edilen taşıma kapasitelerine yeterli yaklaşıklıkta olmadığı görülmüştür. Yaklaşık taşıma kapasitelerinin daha doğru tayin edilebilmesi amacı ile 5.1 denklemindeki 1,1 katsayısı yerine, deney verileri kullanılarak hazırlanan, altı ile dört donatılı numuneler ve iki donatılı ile donatısız numuneler için ortak birer α katsayısı-harç basınç dayanımı eğrisi önerilmiştir. Daha doğru bir yaklaşım elde edilebilmesi için çok sayıda numune üzerinde inceleme yapılması gerekmektedir.
9. Köşegeni doğrultusunda basınca maruz kalan deney numunesinin eşdeğer bir çubuk ile ifade edilmesi halinde, eşdeğer çubuğun rijitlik değerinin, deney numunelerinin yük-yerdeğiştirme (P- δ) eğrileri kullanılarak hesaplanabilen, boyutsuz $\overline{k_{33}}$ i ile hesaplanması önerilmiştir.
10. Yüksek mukavemetli boşluklu blok tuğla ve 200 doz çimento harcı kullanılarak üretilen duvarların 1 m²'sinin maliyeti, aynı tür harç ve düşey delikli ince cidarlı tuğla ile üretilen duvarların maliyetine göre, donatısızlarda 5-6 kat, herbir boşluğunda donatı olanlarda ise 7-8 kat fazla olmaktadır. [22] Bu değerlendirme yapılırken işçilik ve sıva maliyetleri hesaba katılmamıştır. Yüksek mukavemetli tuğlalar ile üretilen duvarların sıva yapılmadan ve dış cephe kaplama malzemesine gerek duyulmadan kullanıldığı ve izolasyonunun mevcut izolasyon metotları ile kolayca sağlanabildiği gözönüne alınırsa, toplam maliyeti önemli oranlarda etkilemediği görülmektedir.

KAYNAKLAR

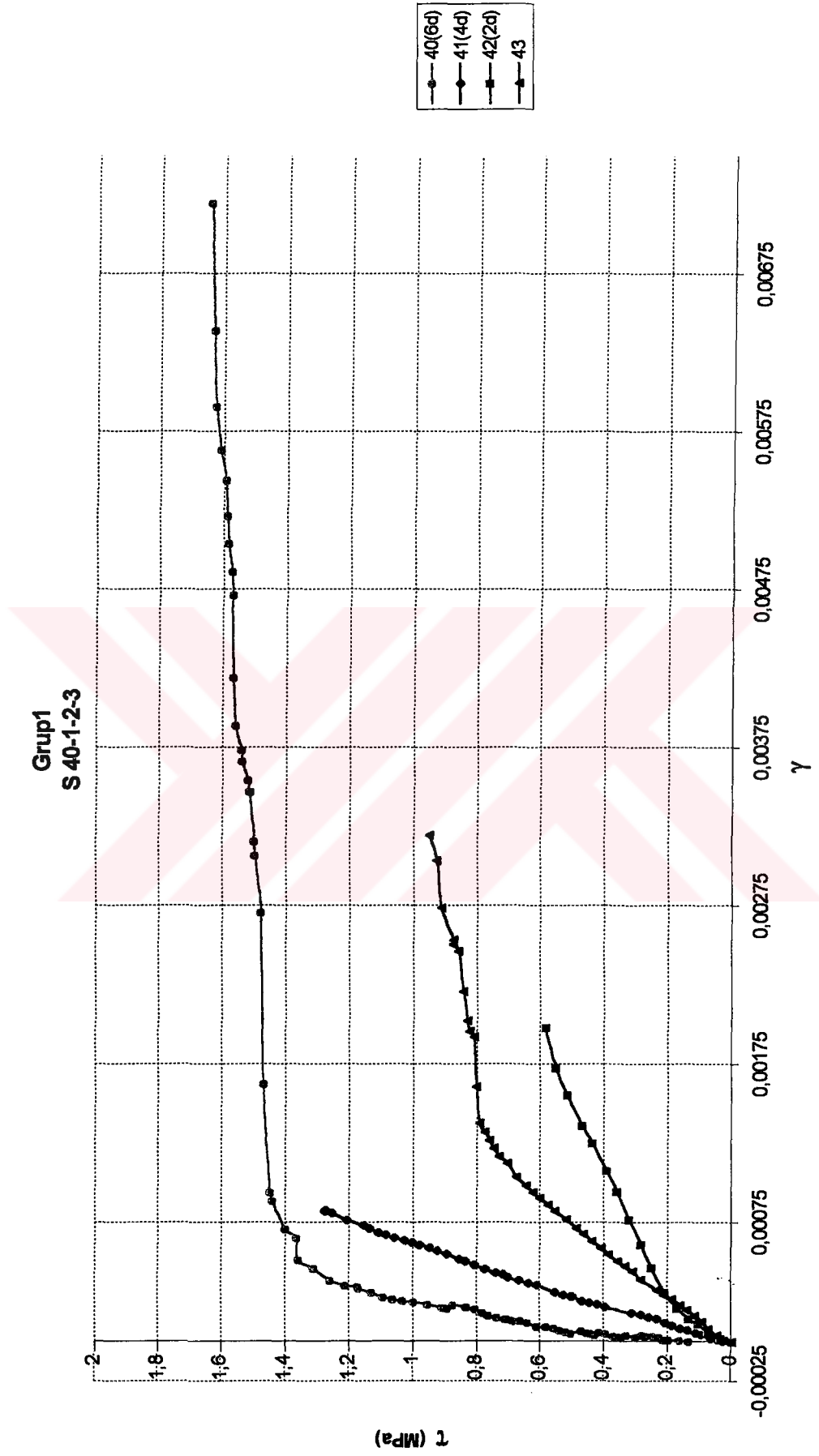
- [1] **T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü**, 2001. www.die.gov.tr
- [2] **ASTM C 1391-81**, 1981. (Reapproved 1993), American Society for Testing and Materials, U.S.A
- [3] **Yorulmaz, M. ve Atan, Y.T.**, 1971. Çeşitli forme yapı taşlarıyla yapılmış duvar numunelerinin iki istikametli yükleme altında davranışları, İ.T.Ü. Matbaası Gümüşsuyu, İstanbul.
- [4] **Begimgil, M.**, 1990. Aderans artırıcı katkı maddelerinin iki eksenli yükleme altındaki tuğla duvarların kayma davranışına etkisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Mourtaja, W.**, 2000. Use of shotcreted panels for strengthening and construction of low rise buildings, *Ph.D Thesis*, I.T.U. Institute of Science and Technology, İstanbul.
- [6] **Itoh, M., Katoh, Y. and Kanakubo, T.**, 2000. Influence of concrete type and strength to shear behavior of RC panel, *Transactions of The Japan Concrete Institute*, Vol. 22, 2000, 393-398.
- [7] **Yorulmaz, M. and Sözen, M. A.**, 1968. Behavior of single-story reinforced concrete frames with filler walls, University of Illinois, Urbana, Illinois.
- [8] **Zarnic, R.**, 1994. Modelling of response of masonry infilled frames, *Proceedings 10th European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna, Austria, 28 August-2 September 1994, 1481-1486.
- [9] **Lafuente, M., Castilla, E. and Genatios, C.**, 1998. Experimental and analytical evaluation of the seismic resistant behavior of masonry walls, *Masonry International*, Vol. 11, No.3, 80-88.
- [10] **Dajun, D.**, 2000. A theory of masonry strength based on research in China, *Masonry International*, Vol. 14, No.2, 35-40.
- [11] **Hendry, A. W., Sinha, B. P. and Davies, S.R.**, 1997. Design of masonry structures, E. & F. N. SPON, London.
- [12] **Hendry, A. W.**, 1990. Structural masonry, MacMillan, Hong Kong.
- [13] **Ambrose, J. and Vergun, D.**, 1999. Design for earthquakes, John Wiley & Sons, INC., New York.
- [14] **Bayülke, N.**, 1980. Yığma yapılar, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Matbaası, Ankara.
- [15] **Hendry, A. W.**, 1991. Reinforced and prestressed masonry, Longman Scientific & Technical, Harlow.

- [16] **Drysdale, R. G., Hamid, A. A. and Baker, L. R.**, 1994. Masonry structures : behavior and design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [17] **Neville, A. M.**, 1975. Properties of concrete, Pitman Publishing Ltd., London.
- [18] **TS 500**, Şubat 2000. Betonarme yapıların tasarım ve hesap kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [19] **Karadoğan, F., Yüksel, E., İlki, A., Yüce, S. ve Saruhan, H.**, (yayınlanacak). Özel tuğla ve tuğla duvar deneyleri-I , İstanbul.
- [20] **Sahlin, S.**, Structural masonry, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- [21] **Ambrose, J. and Vergun, D.**, 1995. Simplified building design for wind and earthquake forces, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [22] **İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları**, 2001. *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı*, Ankara.



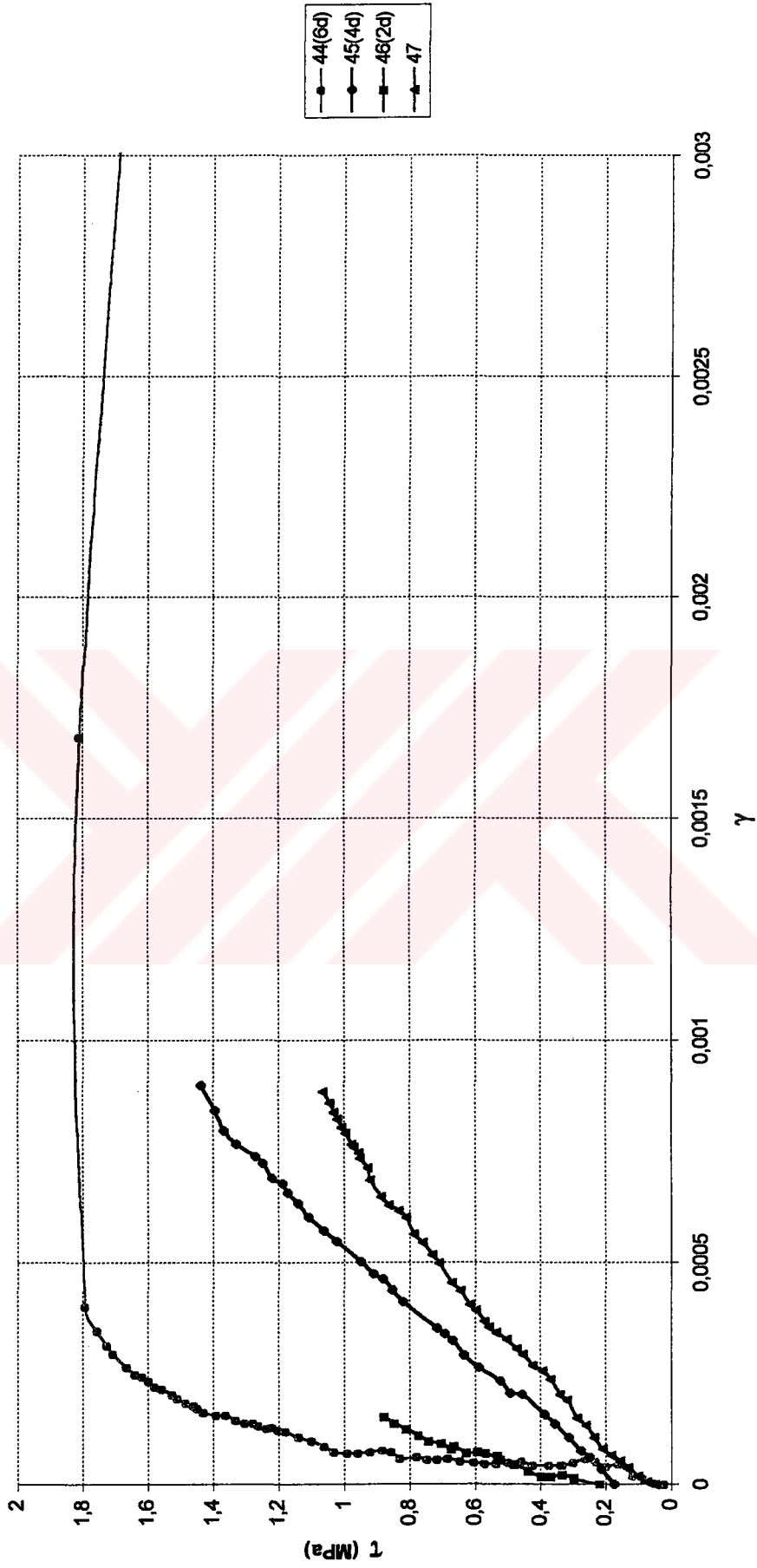


EK A



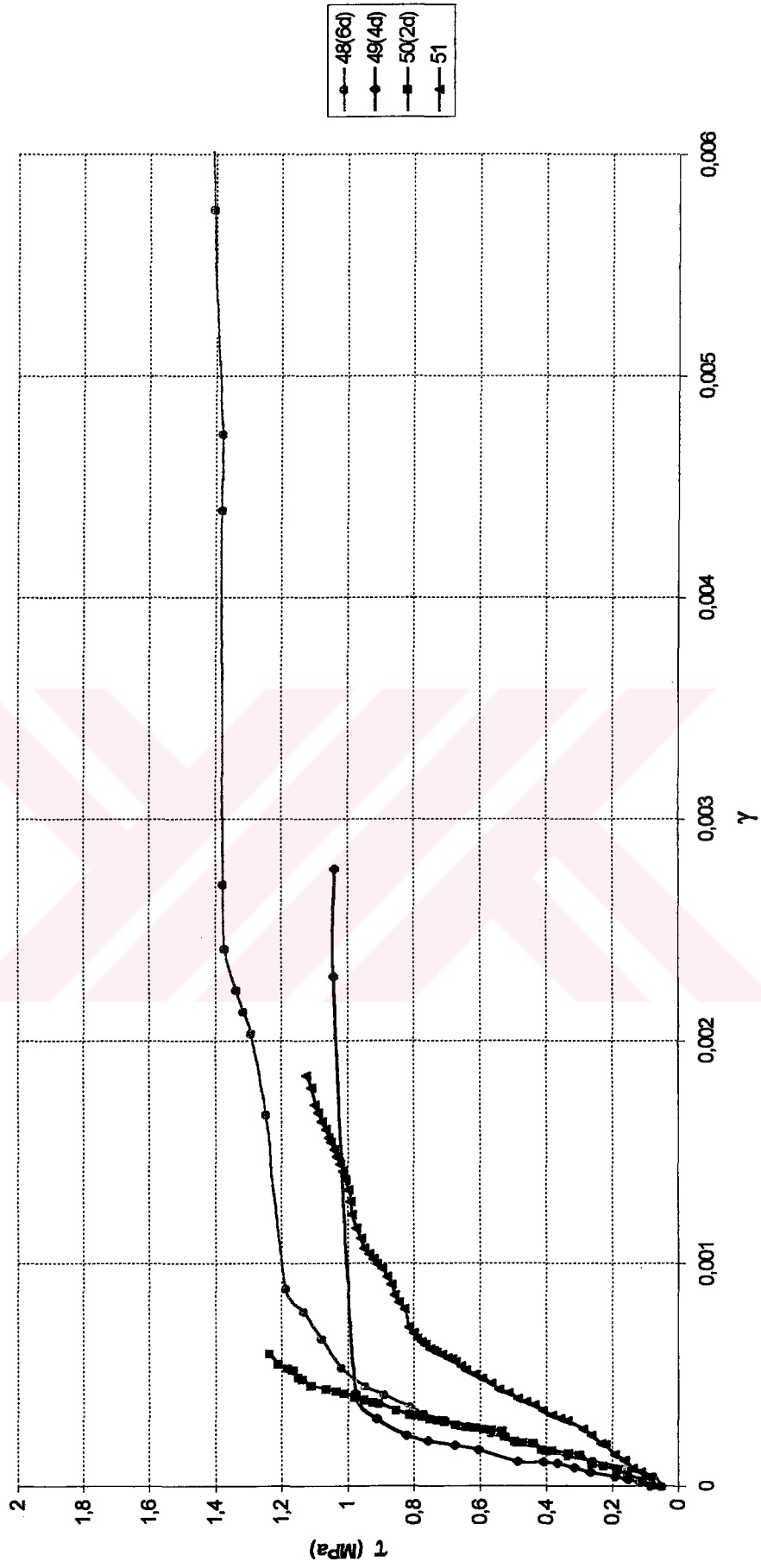
Şekil A.1 Numuneler S40-41-42-43'ün τ - γ diyagramları

Grup1
S 44-6-6-7

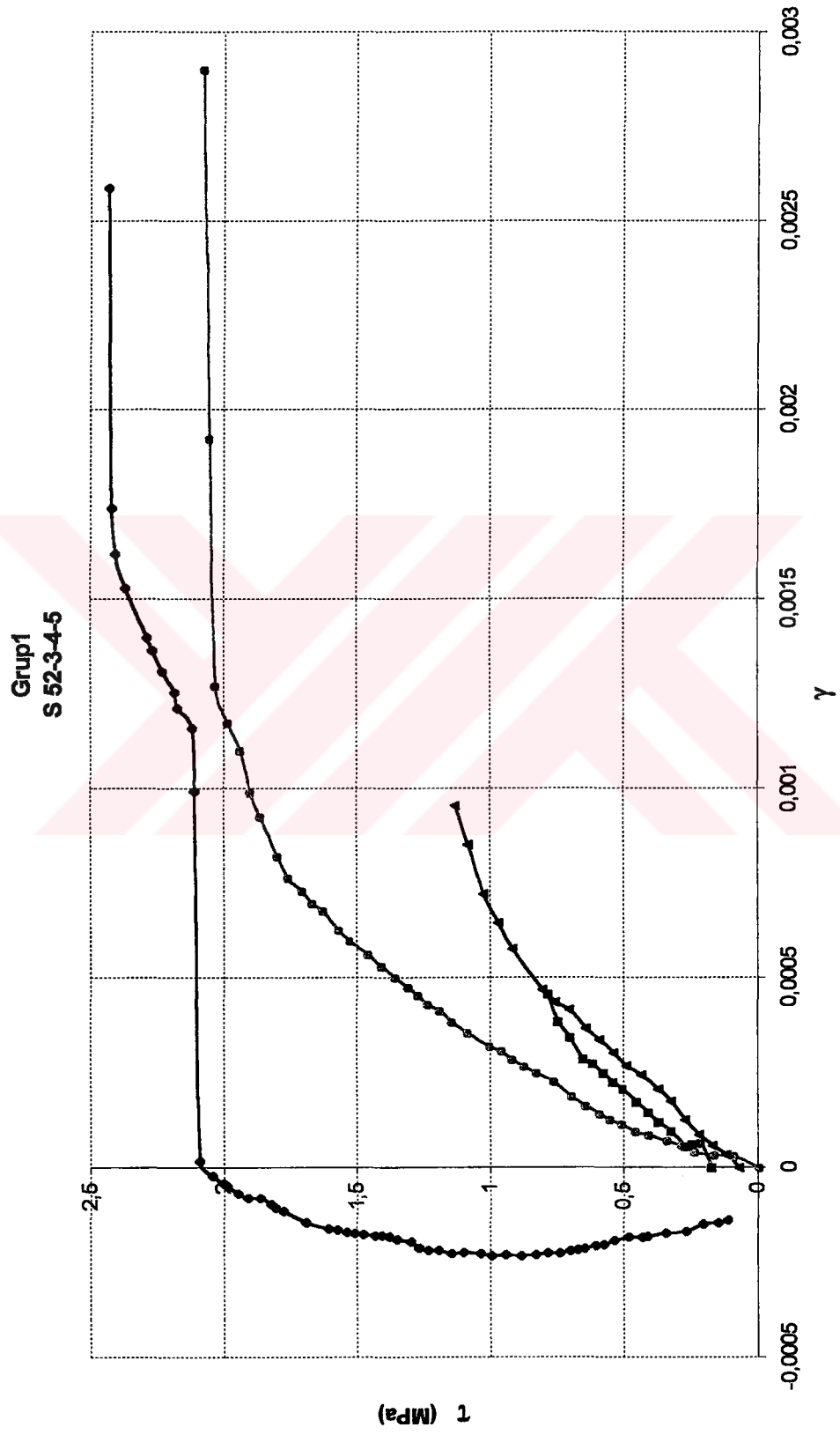


Şekil A.2 Numuneler S44-45-46-47'nin τ - γ diyagramları

Grup2
S 48-9-50-1

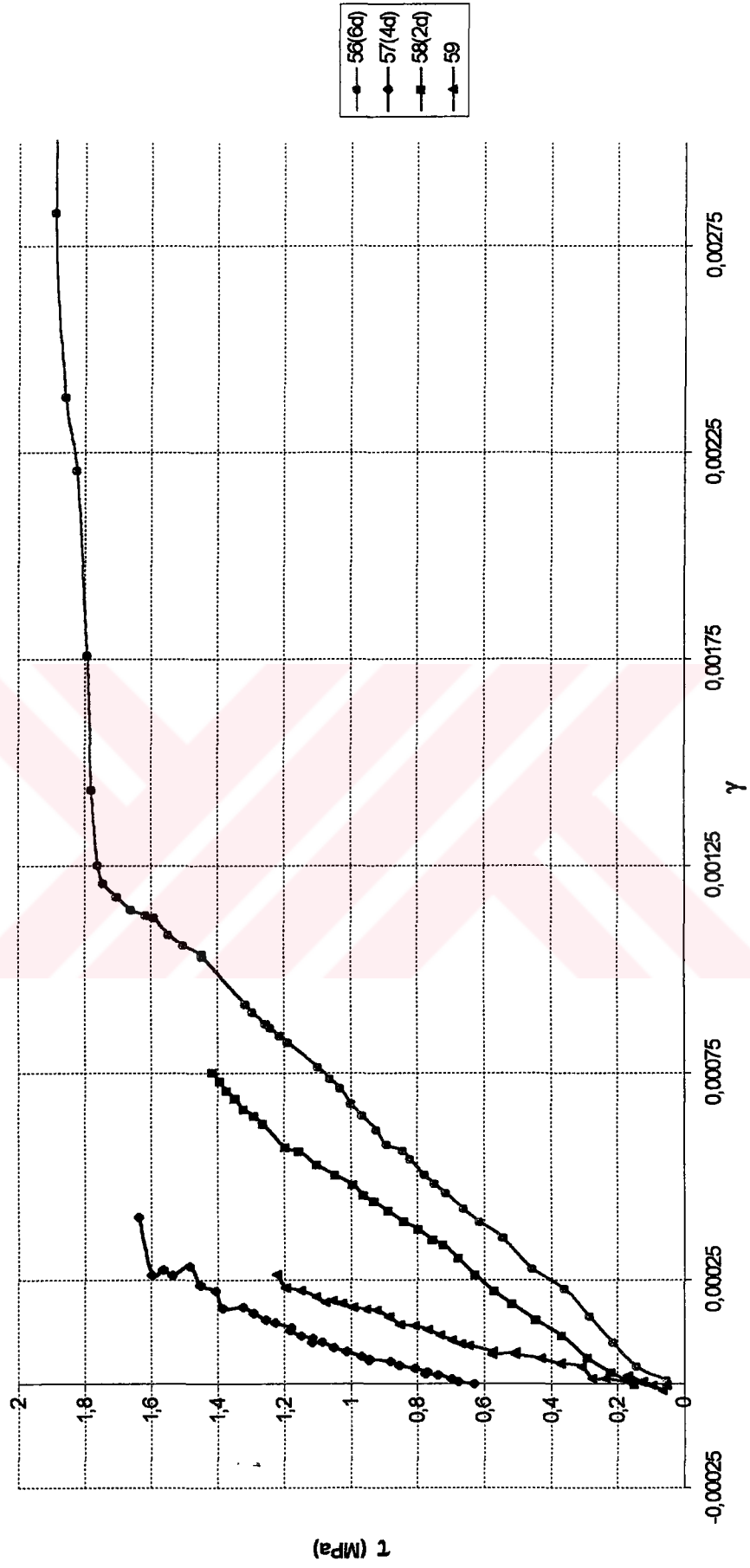


Şekil A.3 Numuneler S48-49-50-51'in τ - γ diyagramları

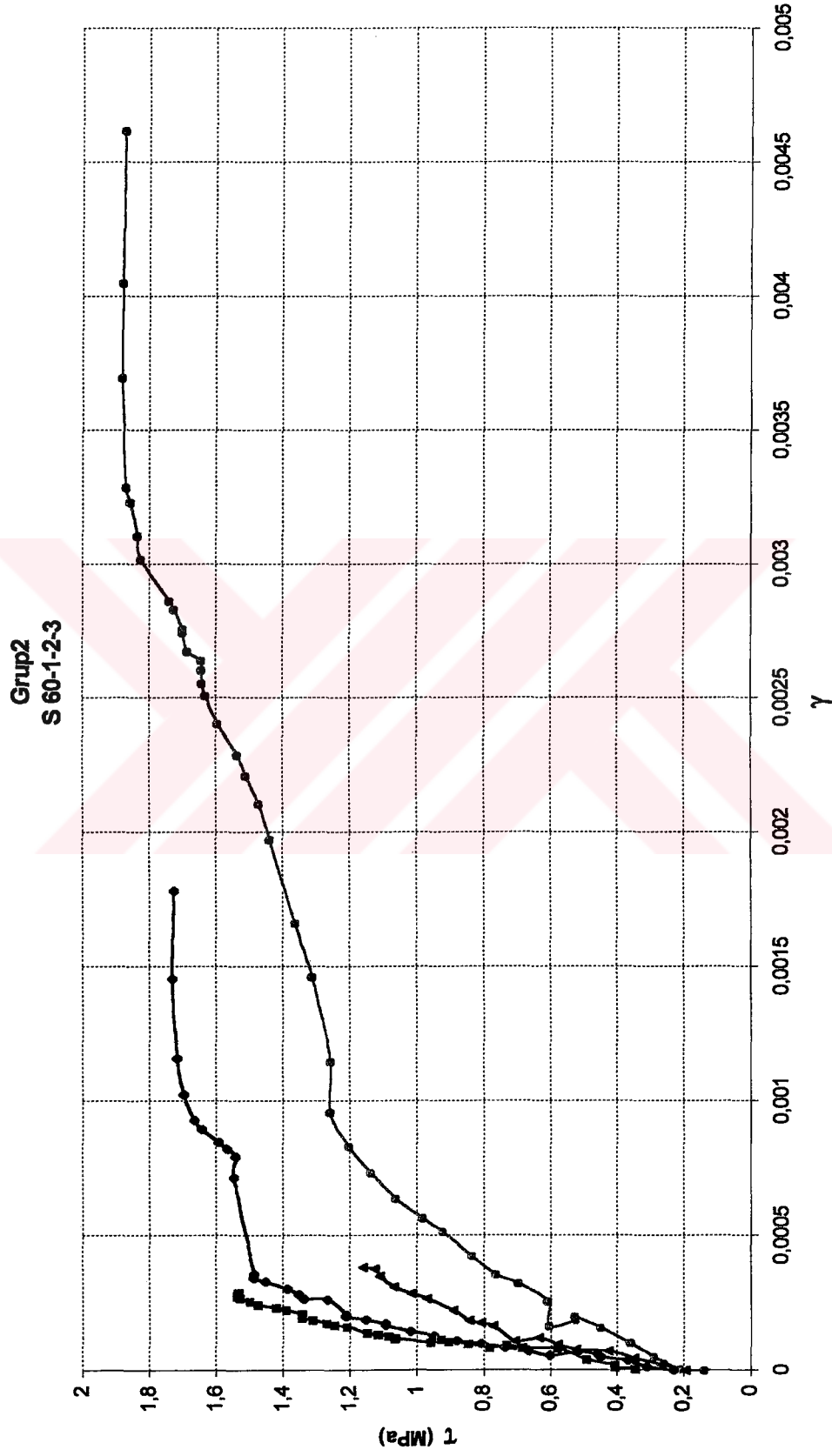


Şekil A.4 Numuneler S52-53-54-55'in τ - γ diyagramları

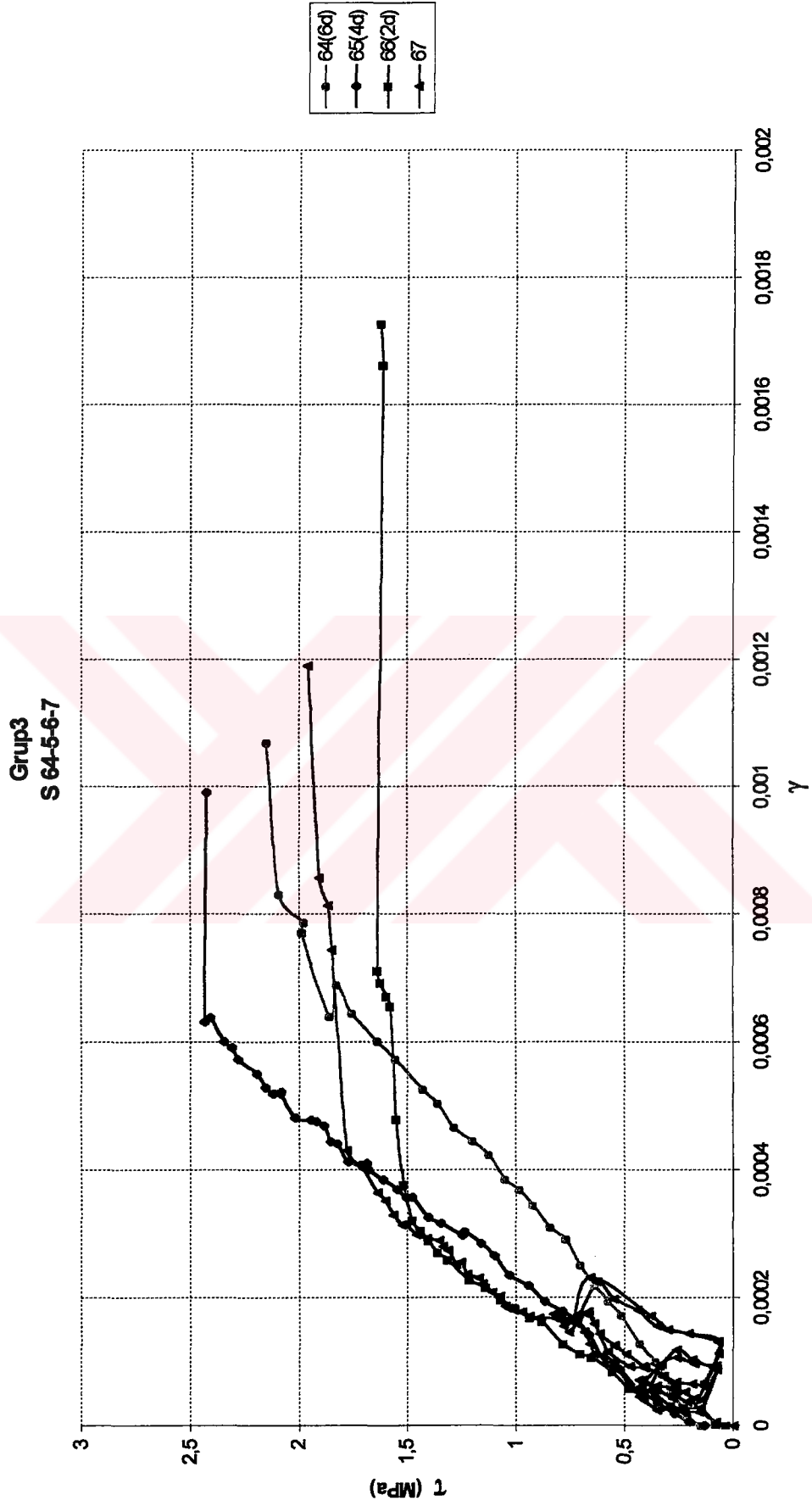
Grup2
S 56-7-8-9



Şekil A.5 Numuneler S56-57-58-59'un τ - γ diyagramları

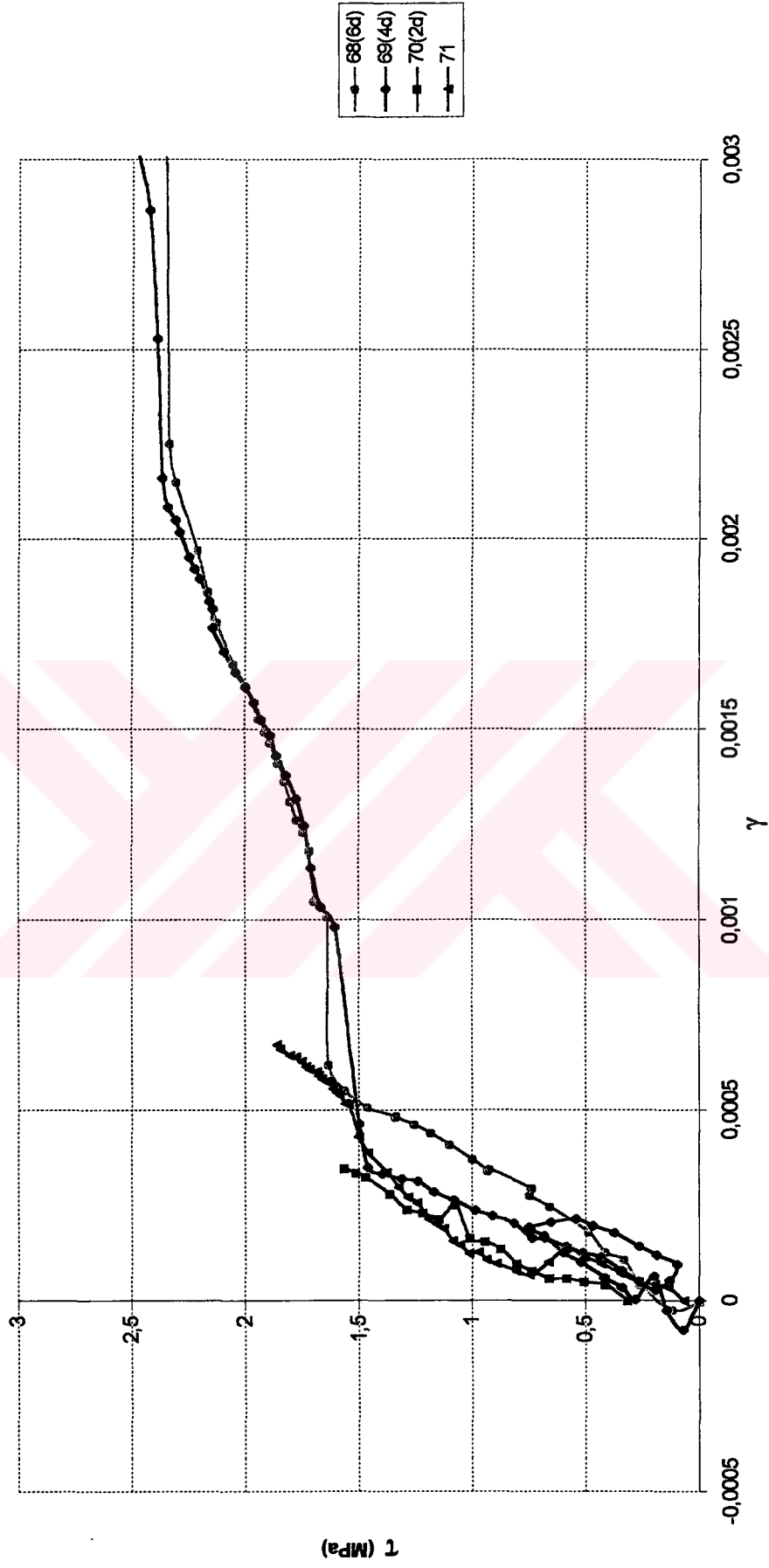


Şekil A.6 Numuneler S60-61-62-63'ün τ - γ diyagramları

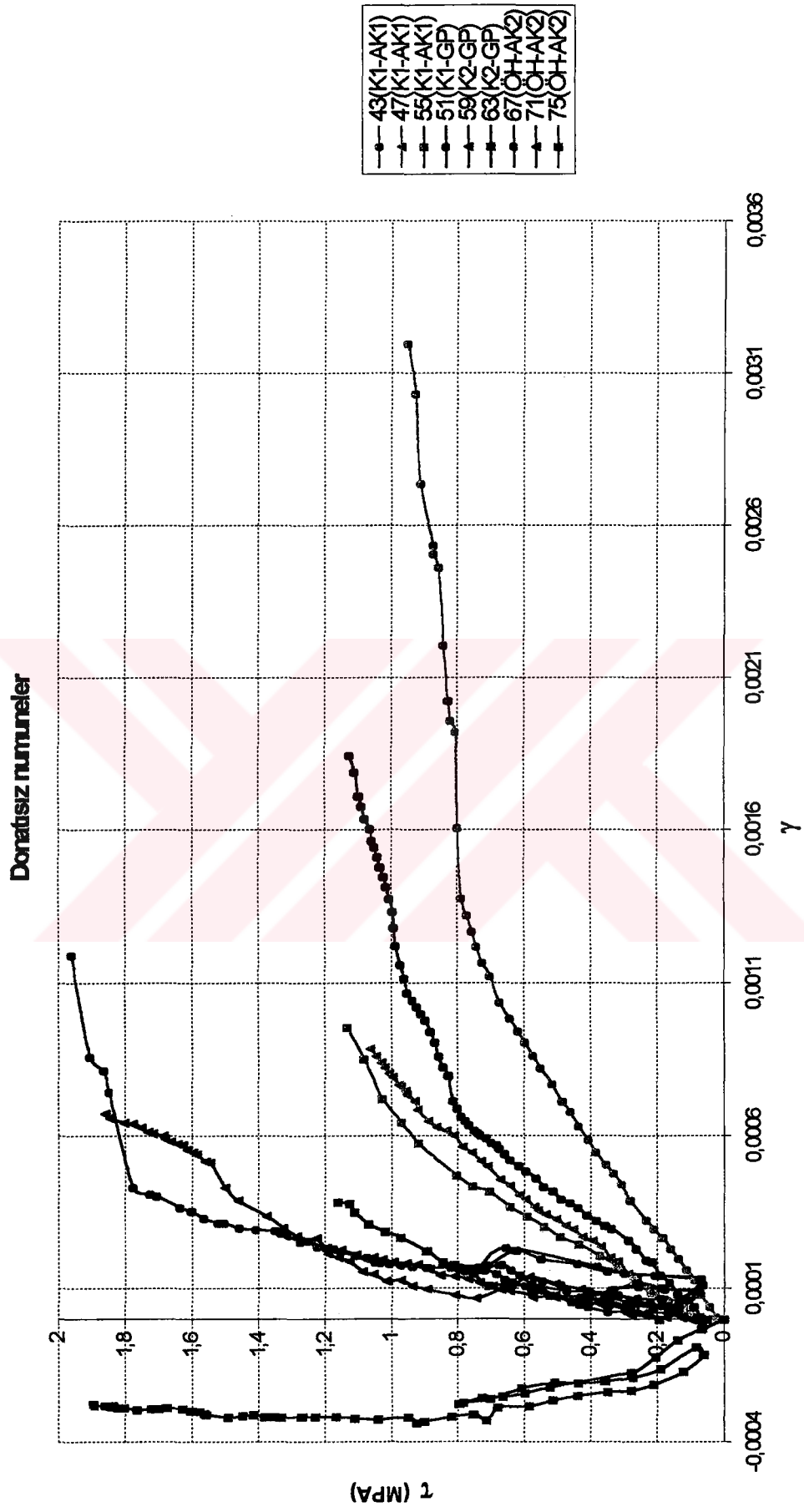


Şekil A.7 Numuneler S64-65-66-67' nin τ - γ diyagramları

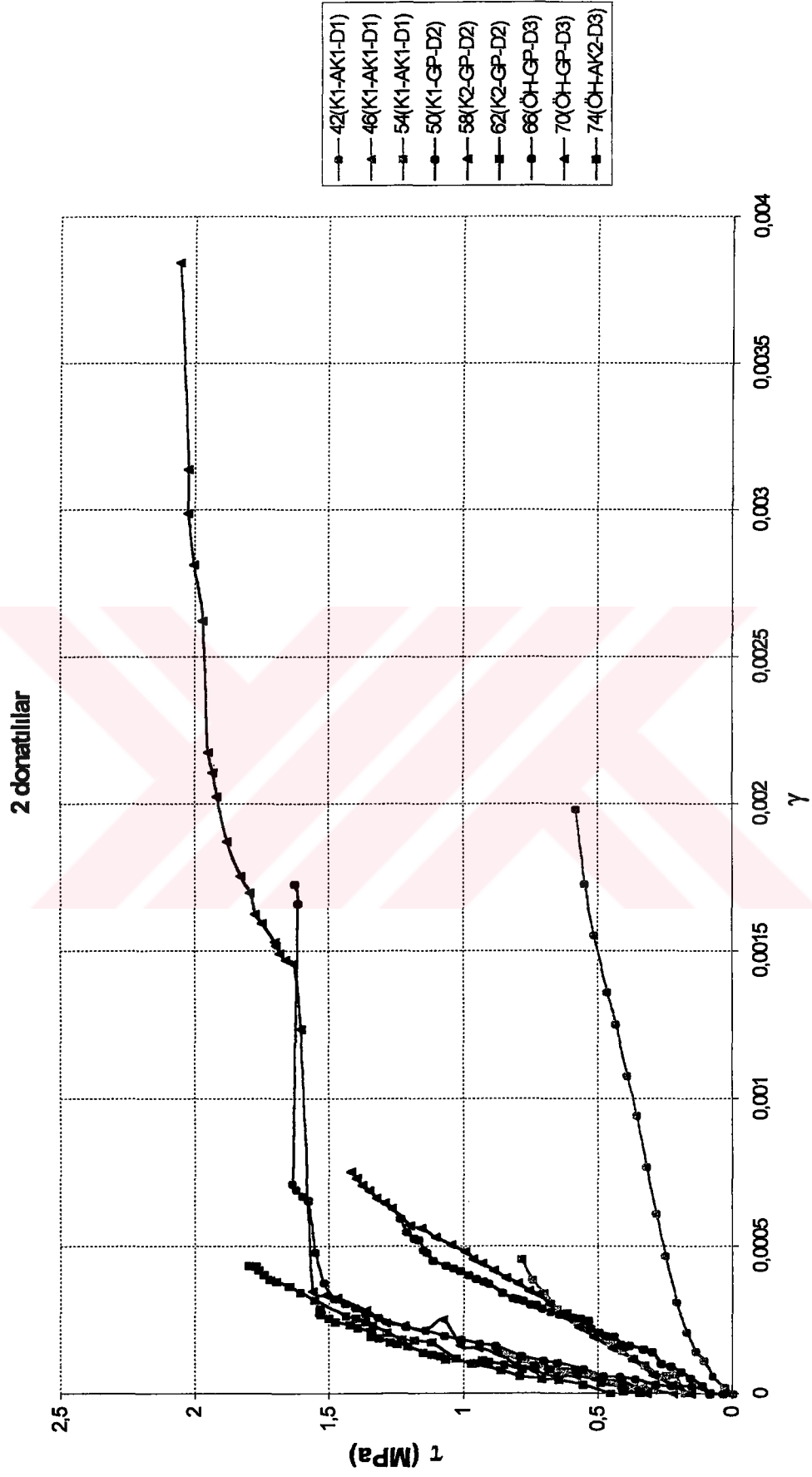
Grup3
S 68-9-70-1



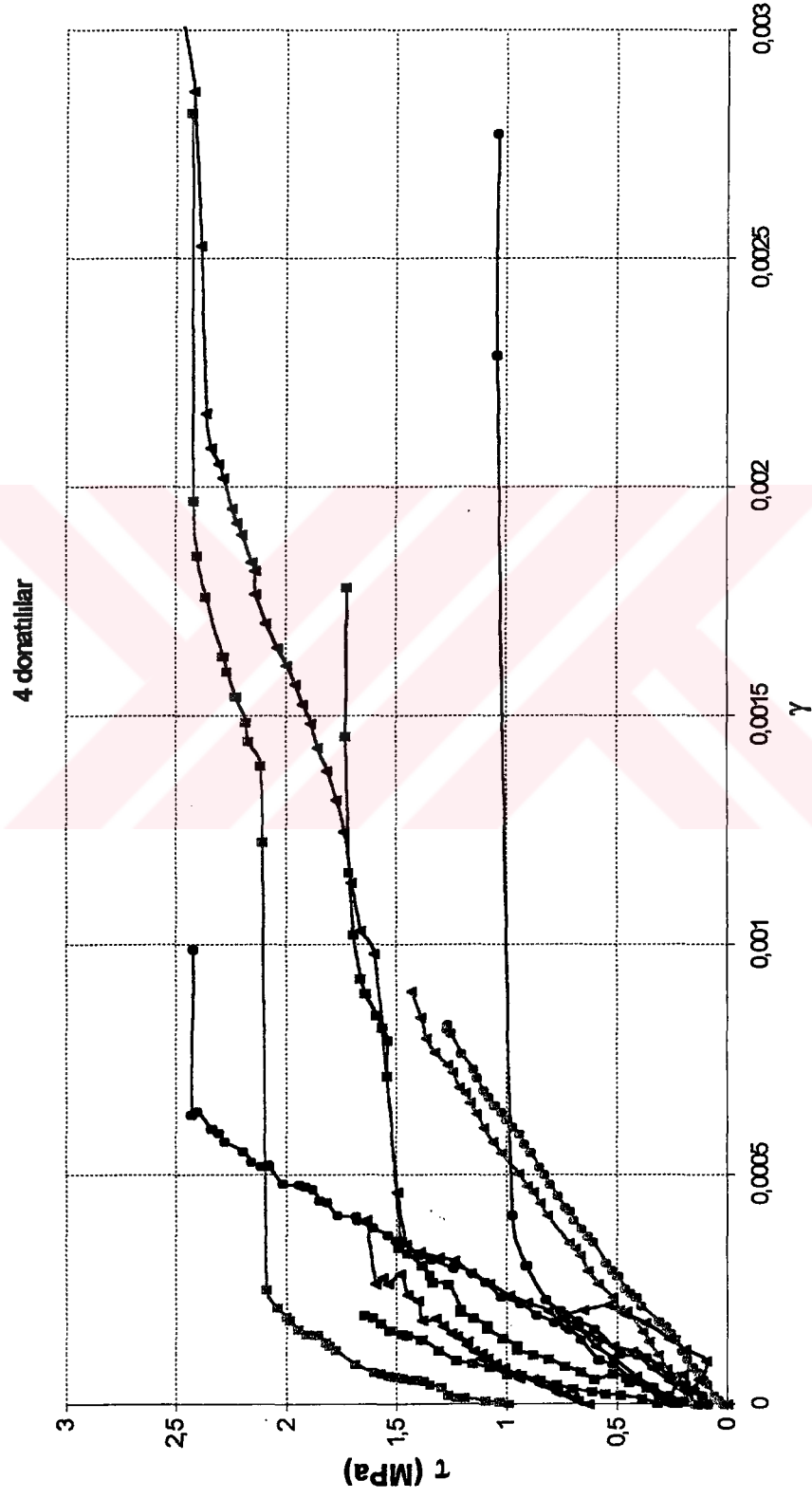
Şekil A.8 Numuneler S68-69-70-71'in τ - γ diyagramları



Şekil A.9 Donatısız numunelerin τ - γ diyagramları

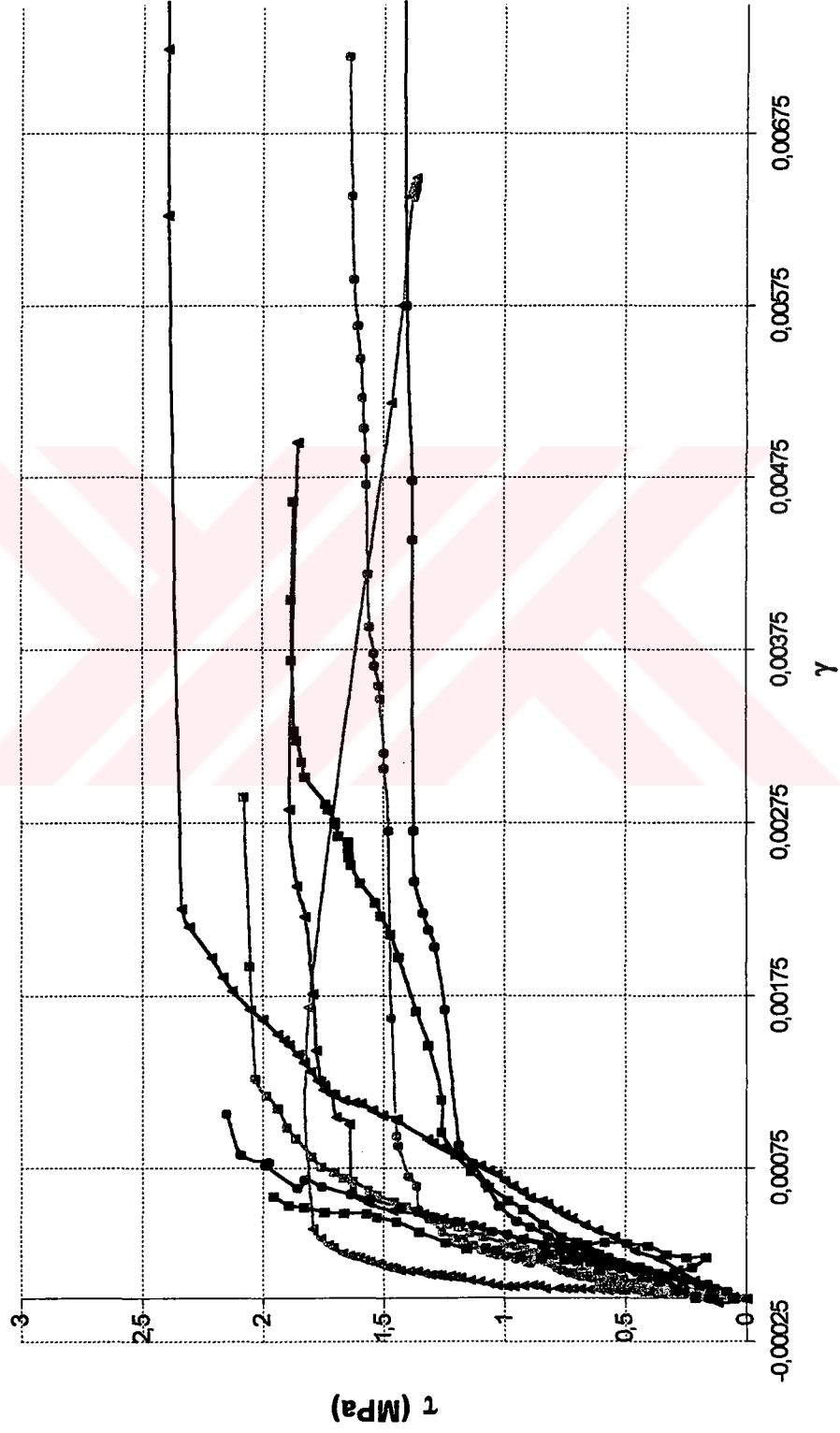


Şekil A.10 İki donatılı numunelerin τ - γ diyagramları

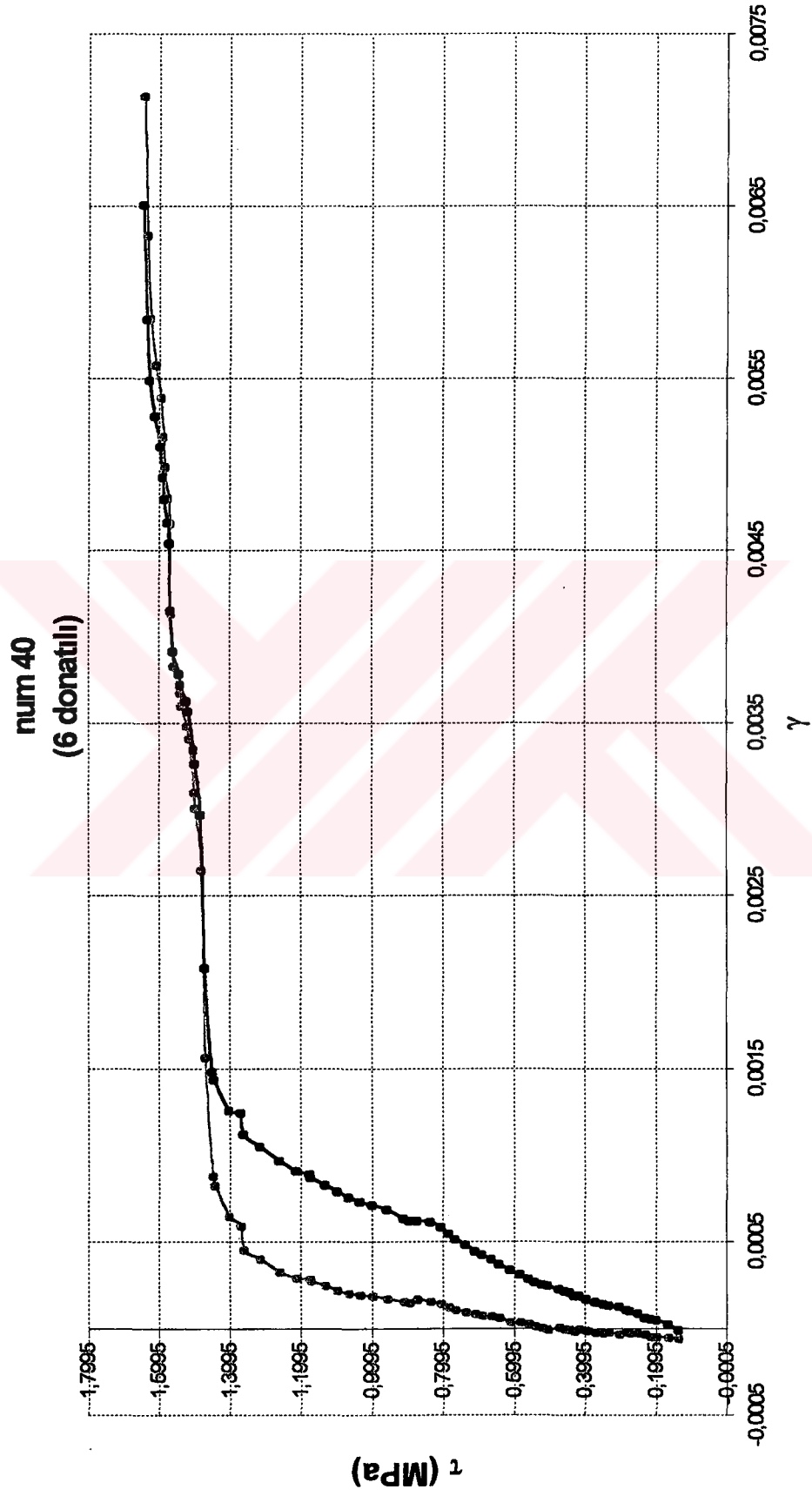


Şekil A.11 Dört donatılı numunelerin τ - γ diyagramları

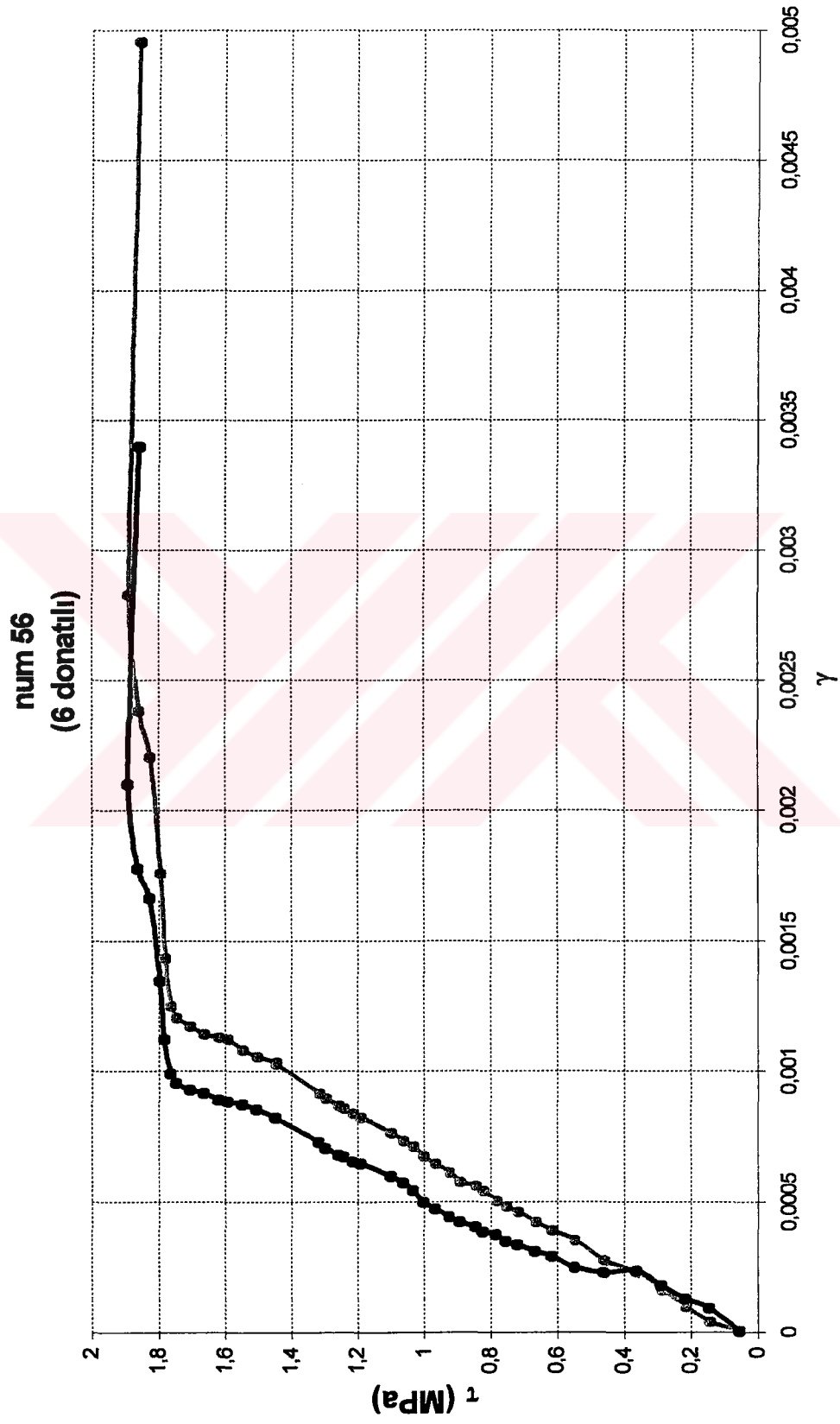
6 donatılılar



Şekil A.12 Altı donatılı numunelerin τ - γ diyagramları

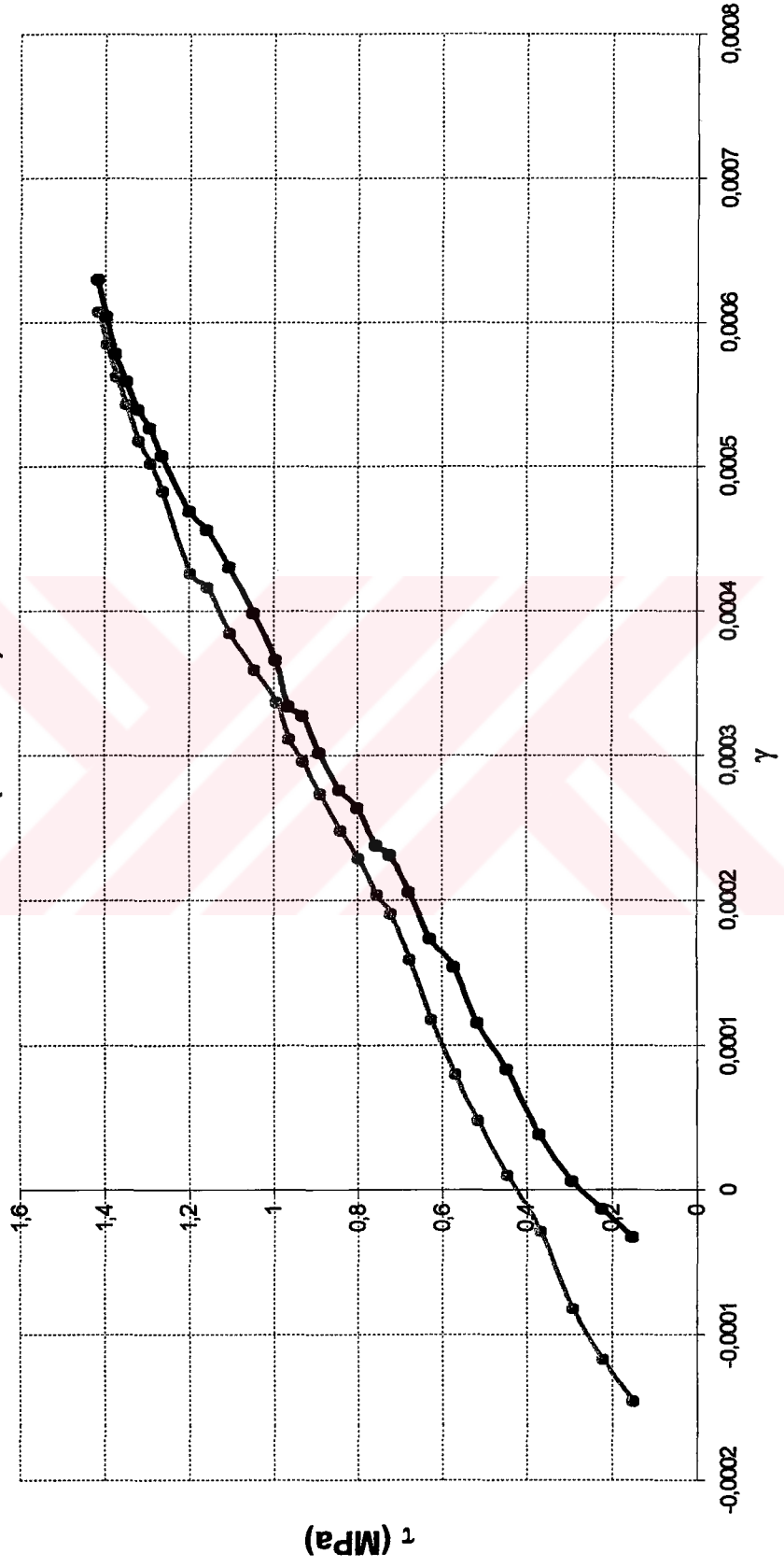


Şekil A.13 Numune S40'ın τ - γ diyagramları

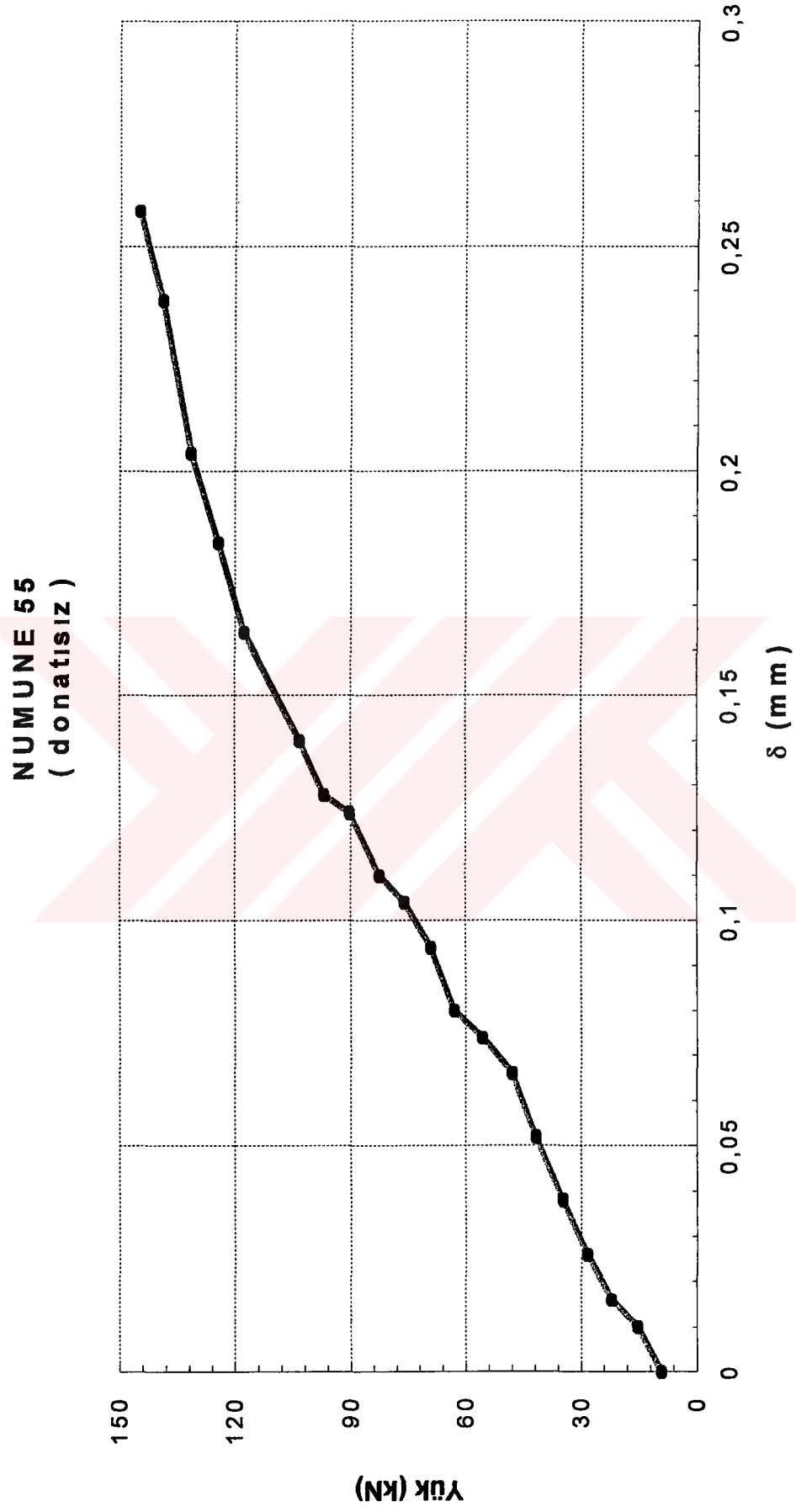


Şekil A.14 Numune S56'nin τ - γ diyagramları

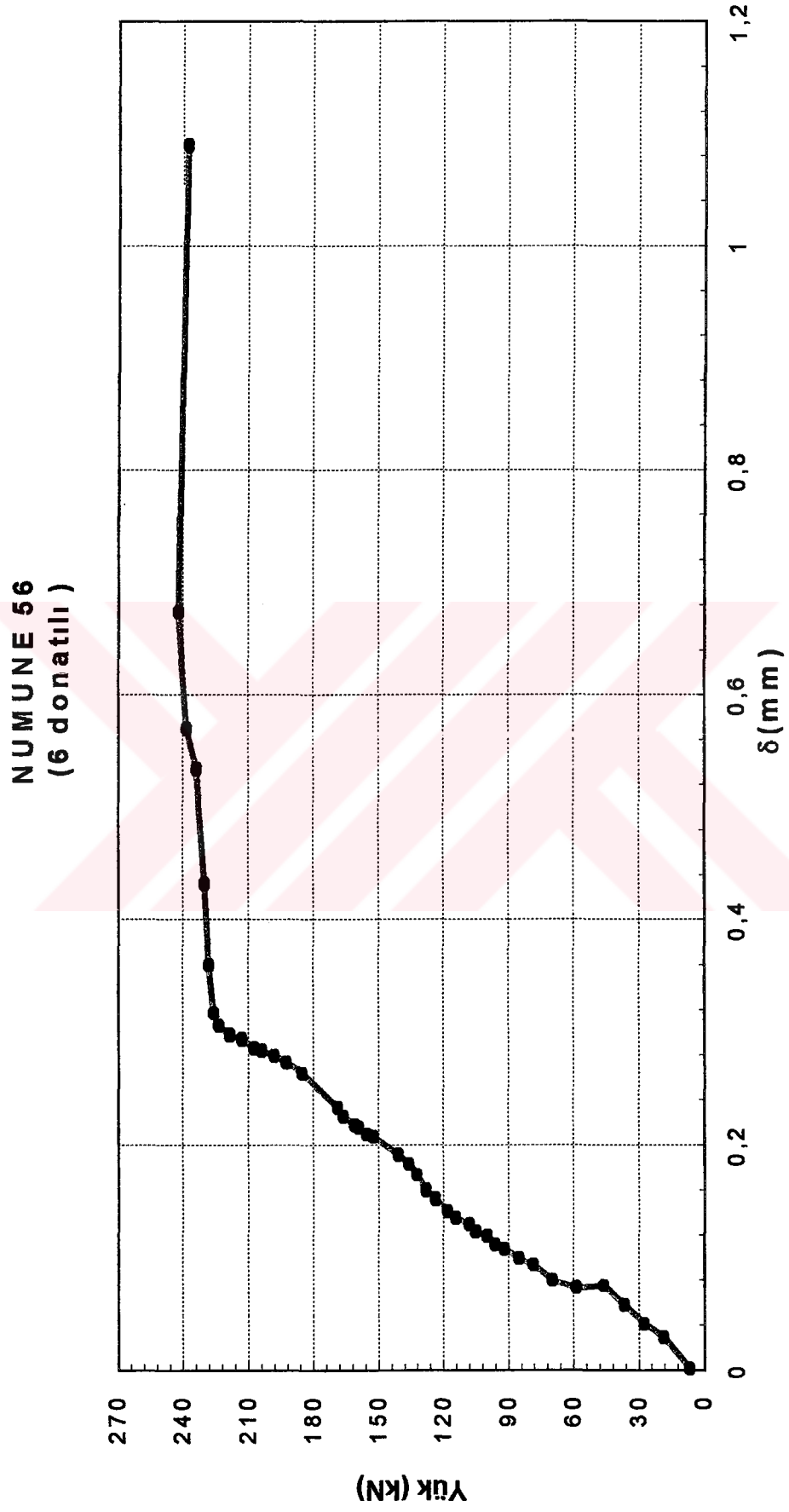
num 58
(2 donatılı)



Şekil A.15 Numune S58'in τ - γ diyagramları



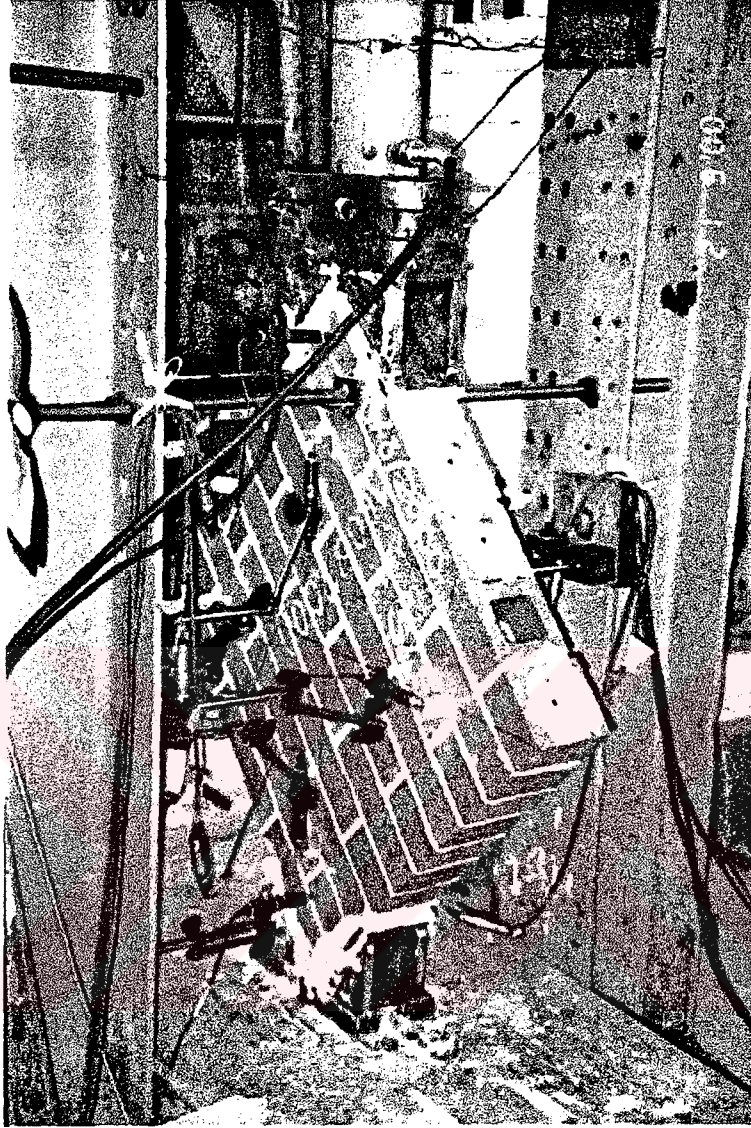
Şekil A.16 Numune S55'in P- δ diyagramı



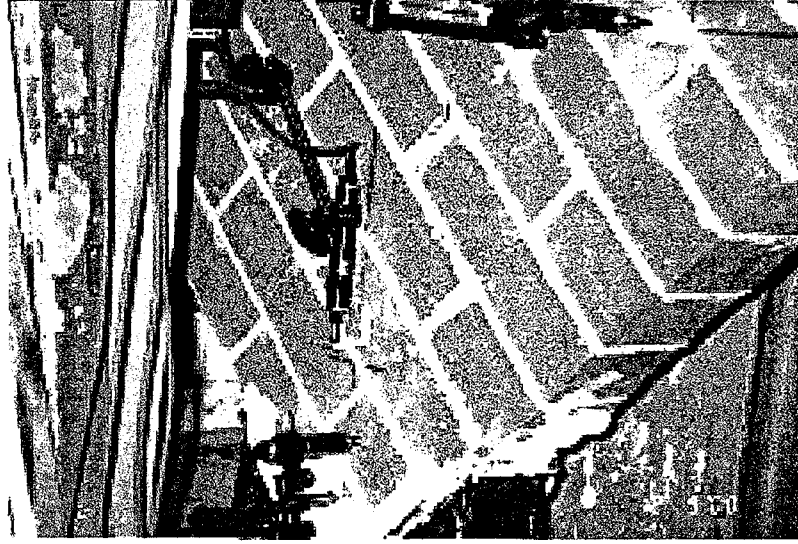
Şekil A.17 Numune S56'nın P- δ diyagramı



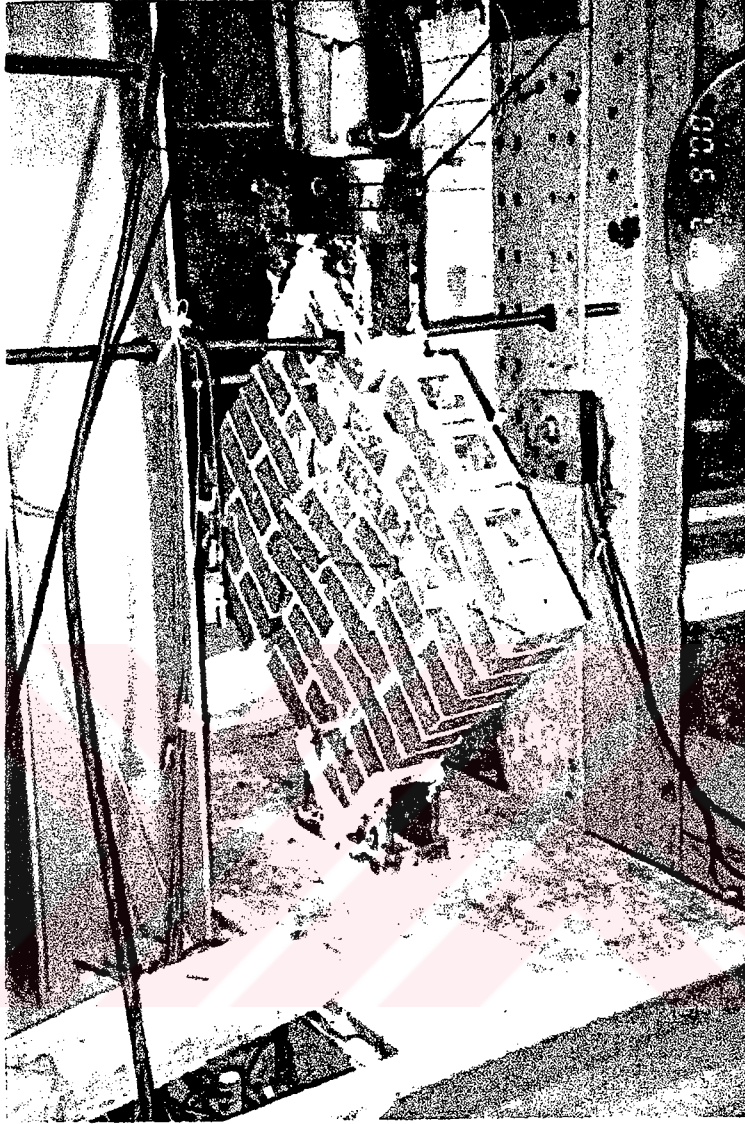
EK B



Şekil B.1 Numunelerin yerleşimi



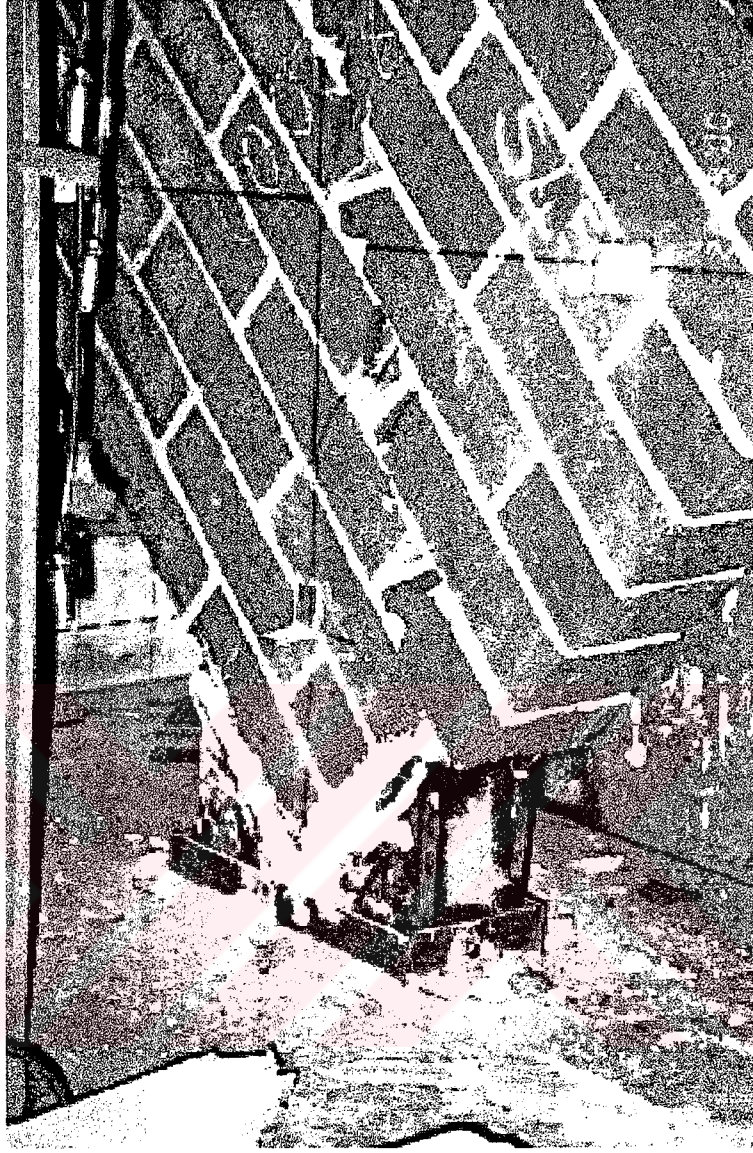
Şekil B.2 Yerdeğiştirme ölçerlerin, ölçüm noktalarını teşkil eden korniyerlere yerleşimi



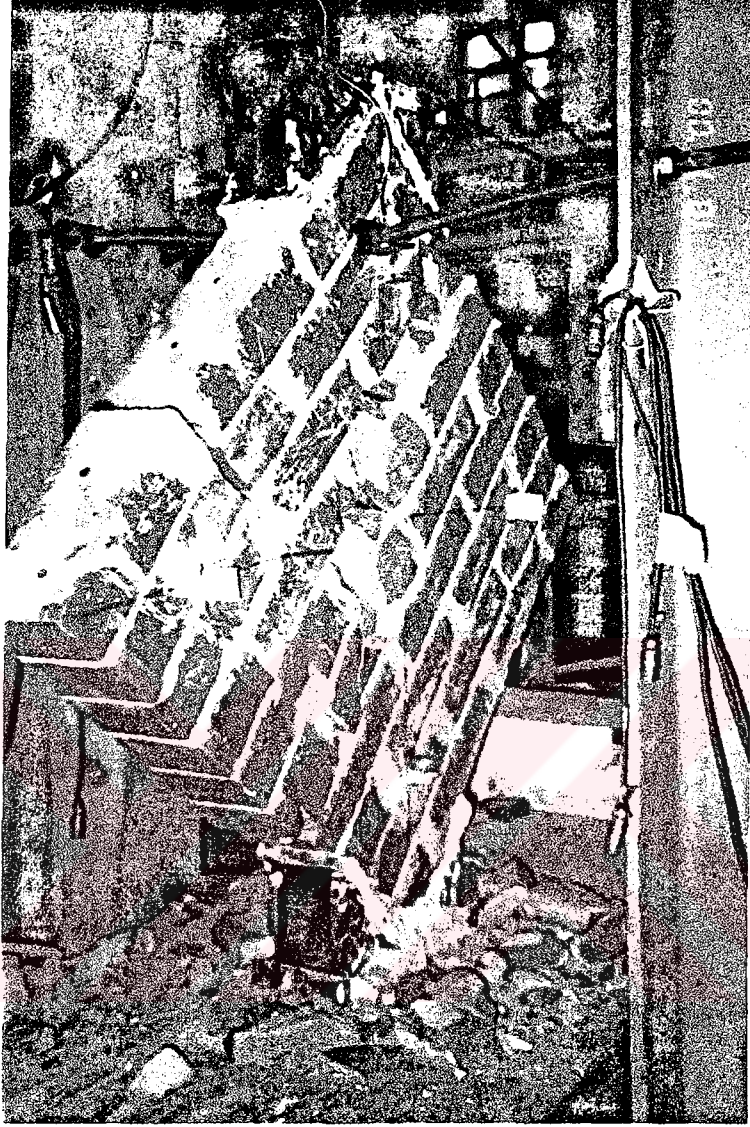
Şekil B.3 İki donatılı numune S50'nin göçme şekli



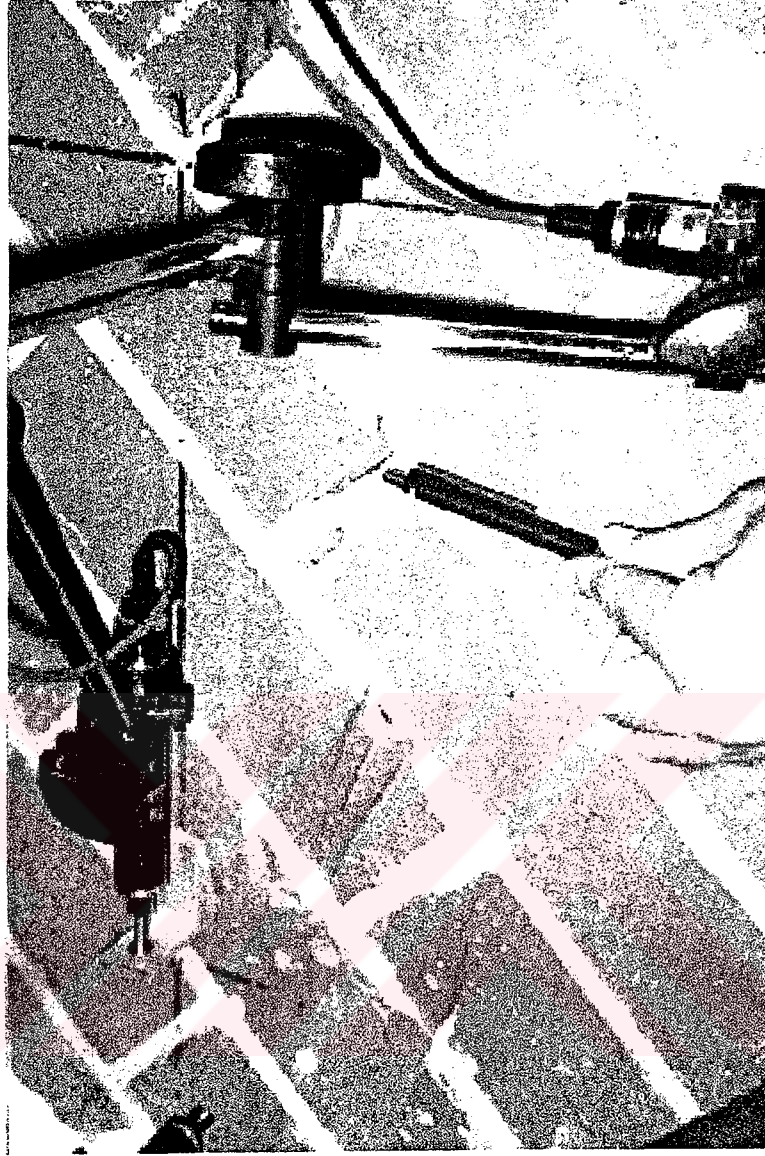
Şekil B.4 Dört donatılı numune S45'in göçme şekli



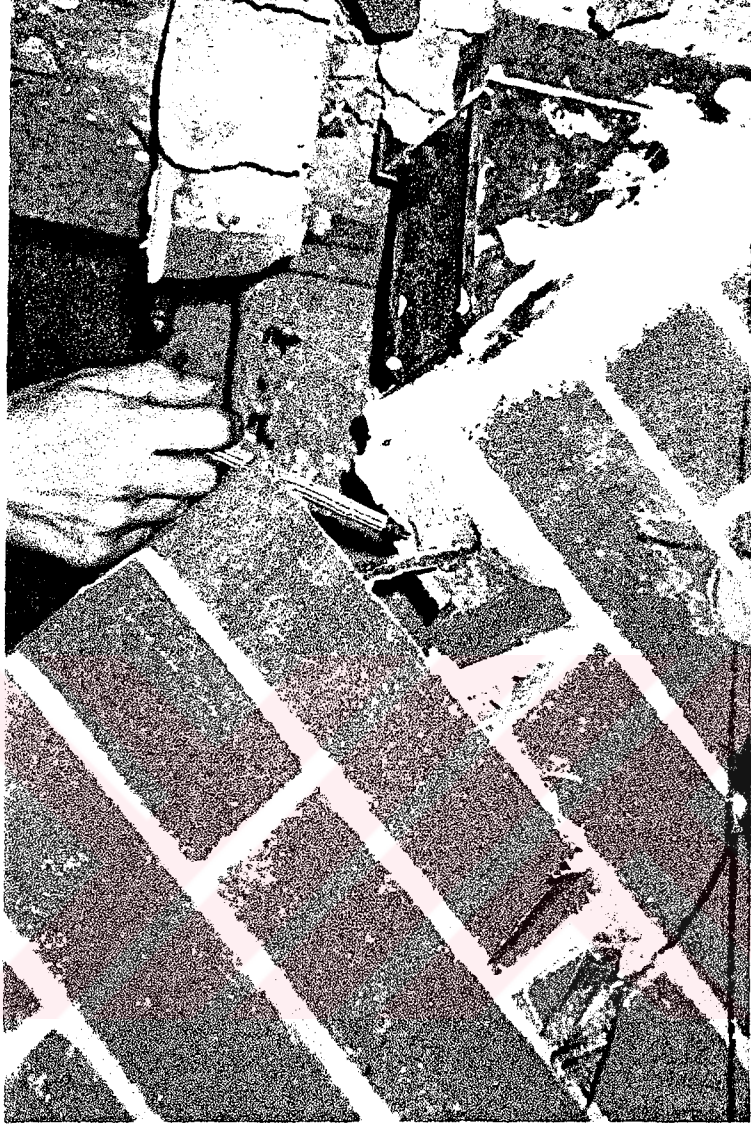
Şekil B.5 Numune S45'in kırılma detayı



Şekil B.6 Altı donatılı bir numunenin göçme şekli



Şekil B.7 Düşey ve yatay derzler boyunca devam eden çatlaklar



Şekil B.8 Donatılı bir numunenin kırılma detayı



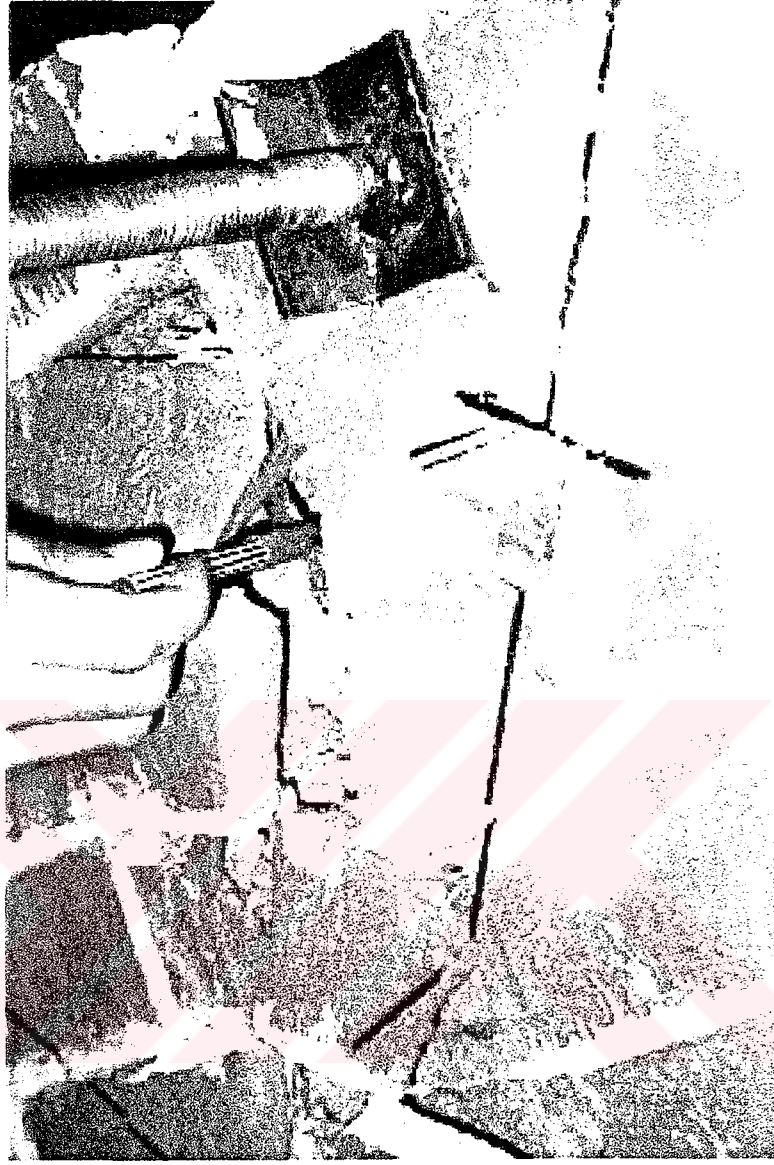
Şekil B.9 Donatı yerleştirilen boşlukların yüzeyindeki tuğlaların dökülmesi



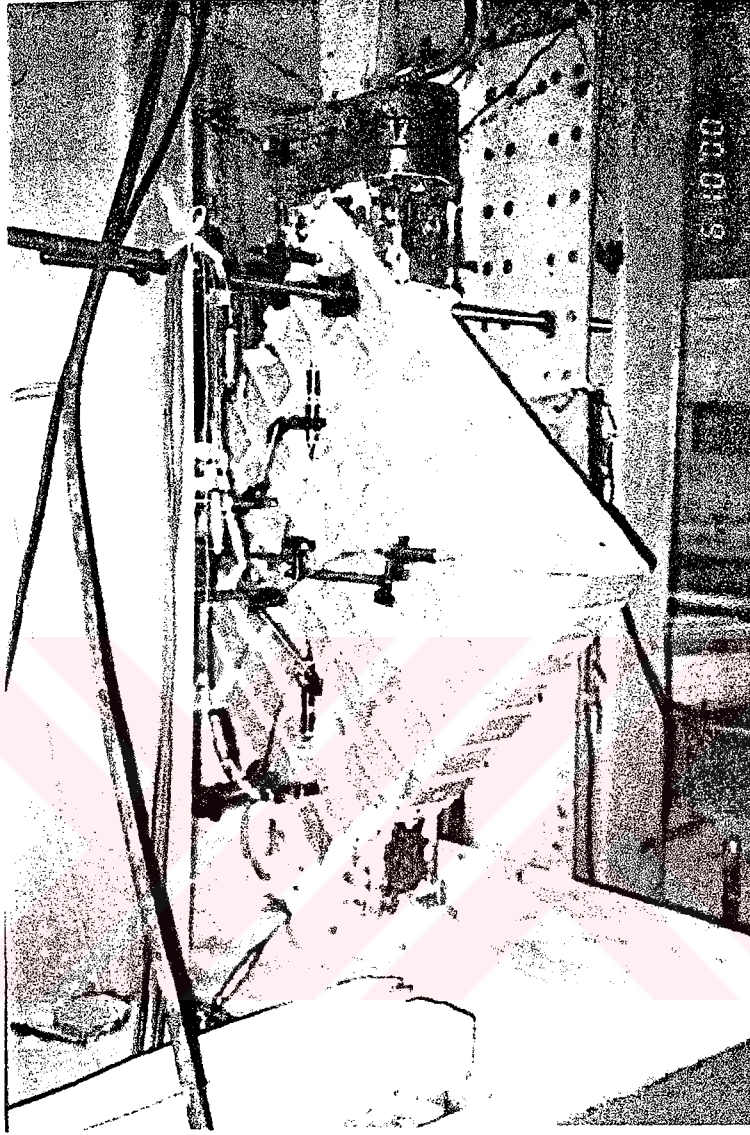
Şekil B.10 Altı donatılı bir numunenin kırılma detayı



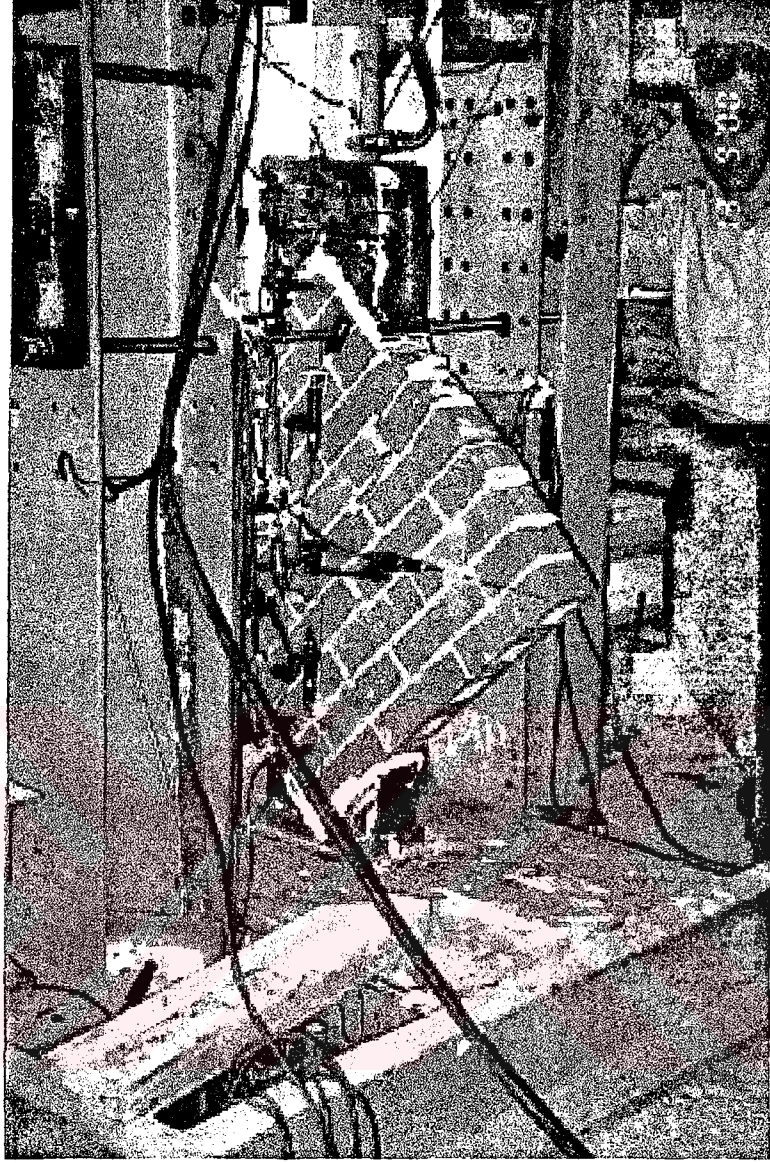
Şekil B.11 Altı donatılı bir numunede yüzeydeki tuğlaların dökülmesi



Şekil B.12 Bir numunenin kırılma detayı



Şekil B.13 Dört donatılı numune S48'in göçme şekli



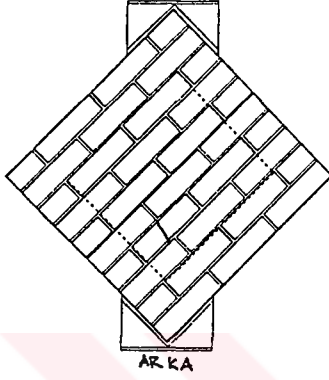
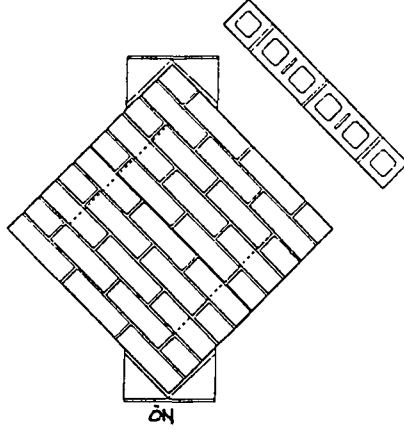
Şekil B.14 Altı donatılı bir numunenin göçme şekli



EK C

Numune: S43
Tarih: 13-3-2000
Saat: 10:30

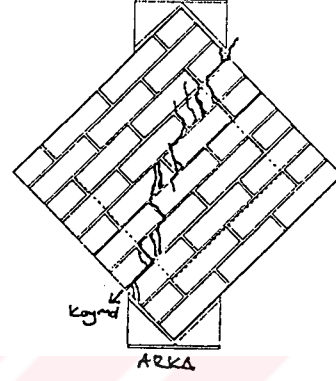
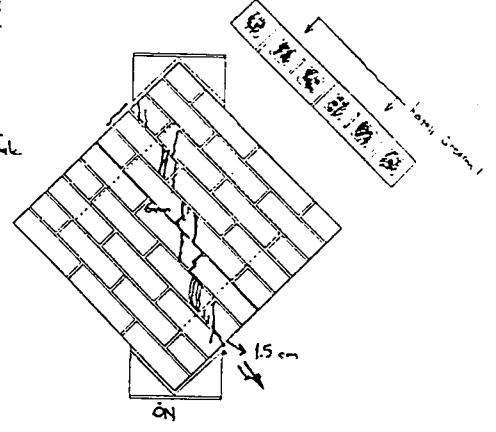
l_{13} (mm): 643
 l_{14} (mm): 643
 l_{15} (mm): 640
 l_{16} (mm): 648



Numune: S41 (ikinci deneme)
Tarih: 12-3-2000
Saat: 16:15

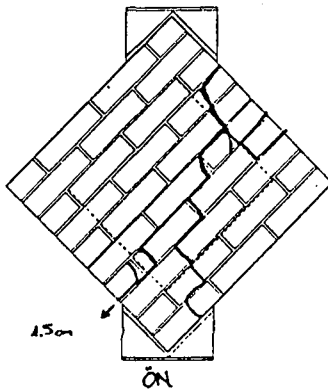
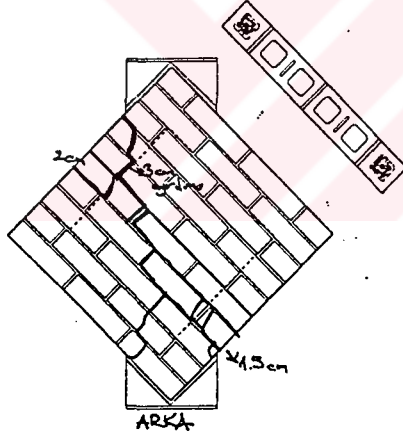
l_{13} (mm): 628
 l_{14} (mm): 647
 l_{15} (mm): 633
 l_{16} (mm): 658

265 kN - ilk çatlık.



Numune: S42
Tarih: 13.07.2000
Saat: 14:00

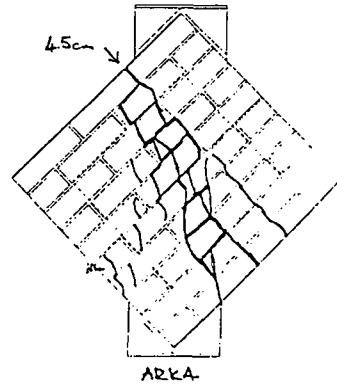
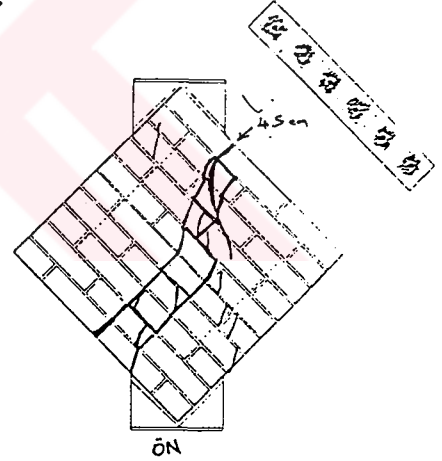
l_{13} (mm): 644
 l_{14} (mm): 640
 l_{15} (mm): 656
 l_{16} (mm): 645



Numune: S40
Tarih: 14-3-2000
Saat: 14:55

l_{13} (mm): 626
 l_{14} (mm): 650
 l_{15} (mm): 628
 l_{16} (mm): 647

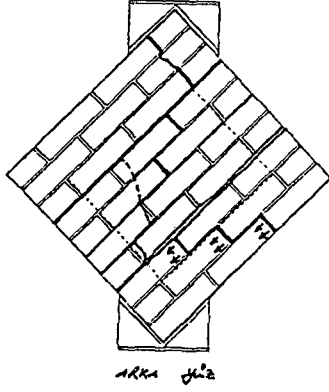
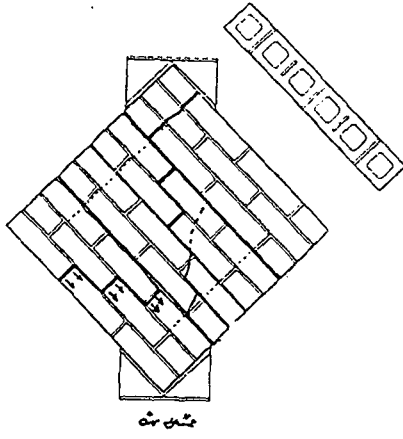
İk. çatlık - 175.9 kN



Şekil C.1 Numuneler S 40-41-42-43'ün çatlak rölöveleri

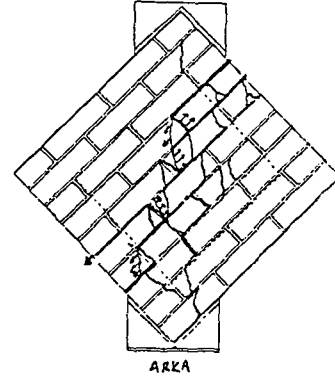
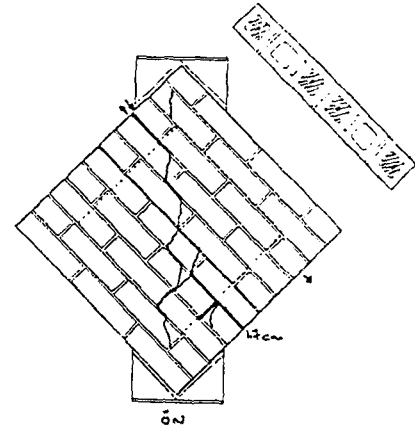
Numune: S47
Tarih: 19.09.2000
Saat: 17:30

l_1 (mm): 643
 l_2 (mm): 640
 l_3 (mm): 626
 l_4 (mm): 643



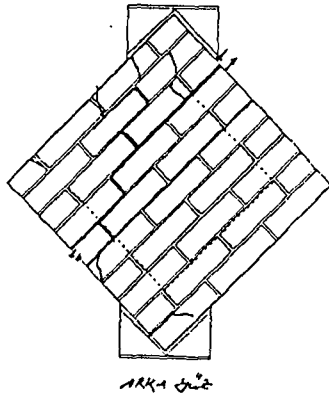
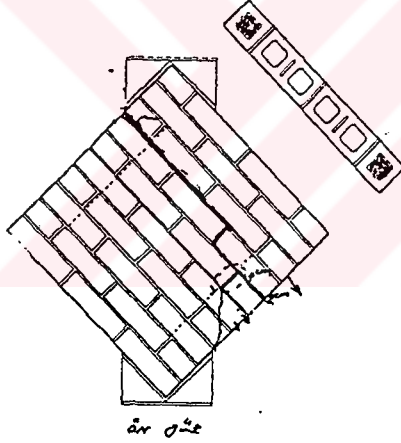
Numune: S45
Tarih: 21.09.2000
Saat: 17:00

l_1 (mm): 634
 l_2 (mm): 664
 l_3 (mm): 656
 l_4 (mm): 659



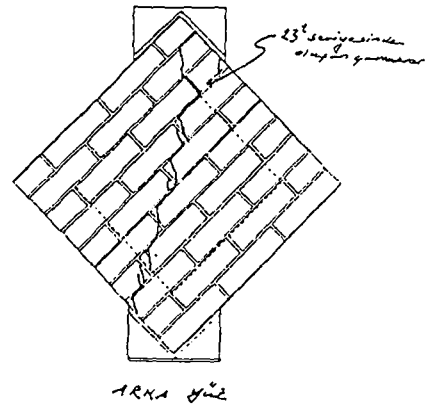
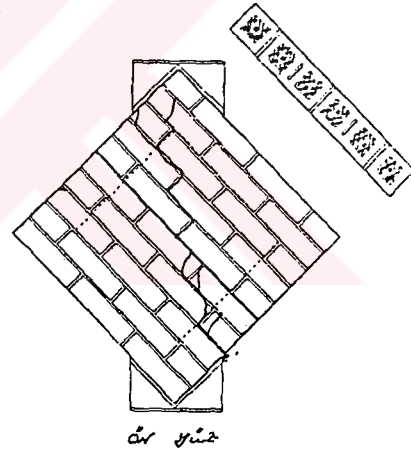
Numune: S46
Tarih: 20.09.2000
Saat: 11:30

l_1 (mm): 655
 l_2 (mm): 652
 l_3 (mm): 633
 l_4 (mm): 653



Numune: S44
Tarih: 28.09.2000
Saat: 10:15

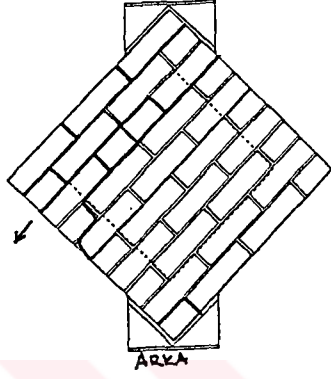
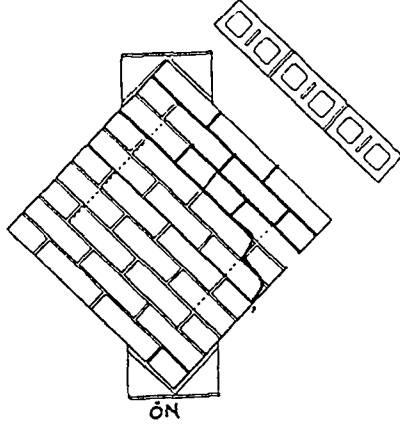
l_1 (mm): 623
 l_2 (mm): 651
 l_3 (mm): 639
 l_4 (mm): 650



Şekil C.2 Numuneler S 44-45-46-47'nin çatlak rölöveleri

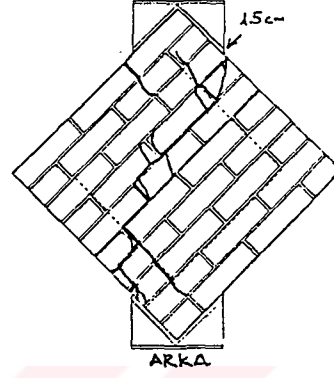
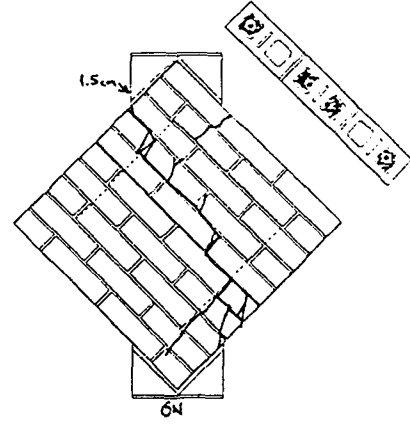
Numune: S54
Tarih: 26-3-2000
Saat: 15:27

l_1 (mm): 640
 l_2 (mm): 643
 l_3 (mm): 639
 l_4 (mm): 635



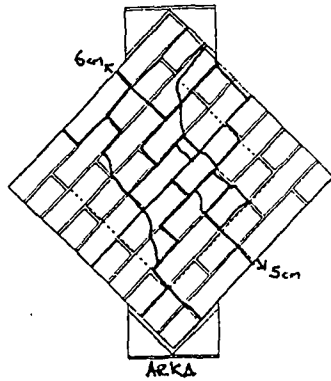
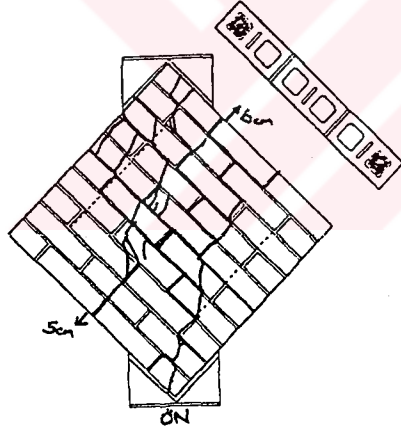
Numune: S43
Tarih: 28-3-2000 (16-10-2000)
Saat: 10:00

l_1 (mm): 646
 l_2 (mm): 652
 l_3 (mm): 643
 l_4 (mm): 640



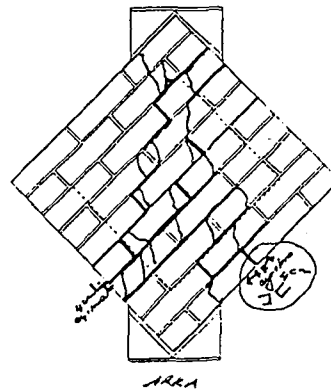
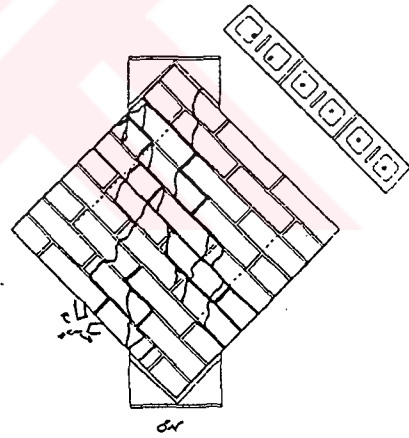
Numune: S50
Tarih: 27-3-2000
Saat: 15:44

l_1 (mm): 653
 l_2 (mm): 645
 l_3 (mm): 636
 l_4 (mm): 645



Numune: S48
Tarih: 06-10-2000
Saat: 15:00

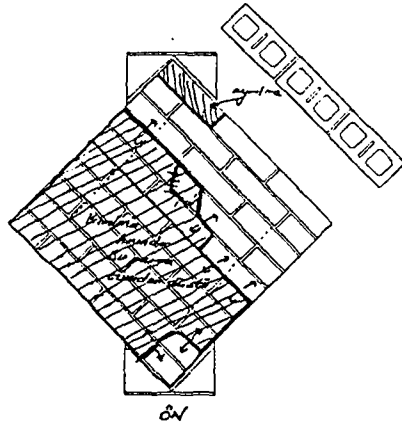
l_1 (mm): 630
 l_2 (mm): 647
 l_3 (mm): 647
 l_4 (mm): 624



Şekil C.3 Numuneler S 48-49-50-51'in çatlak rölöveleri

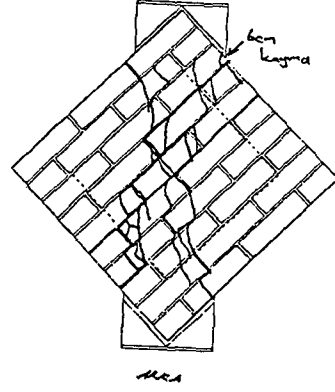
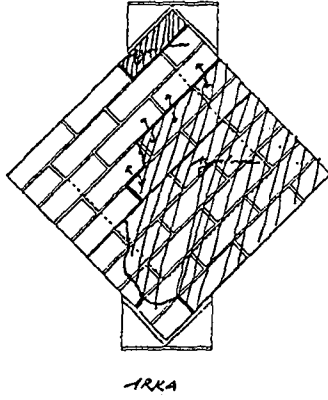
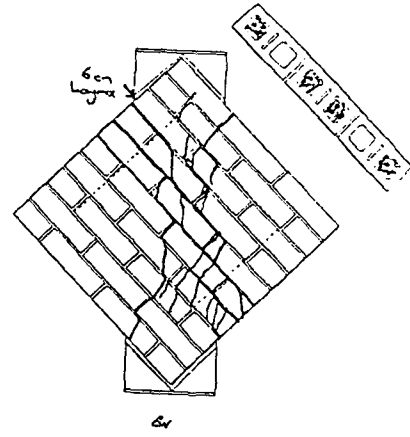
Saat: 09:15

l_1 (mm): 644
 l_2 (mm): 652
 l_3 (mm): 657
 l_4 (mm): 653



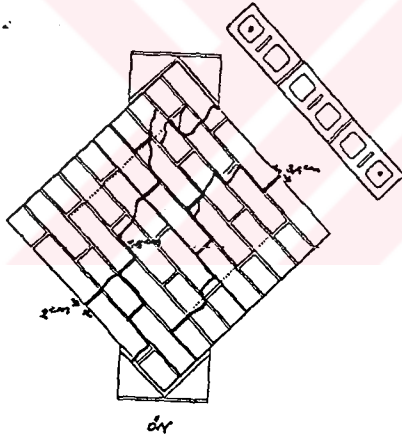
Numune: S53
Tarih: 09.10.2000
Saat: 12:26

l_1 (mm): 715
 l_2 (mm): 712
 l_3 (mm): 658
 l_4 (mm): 714



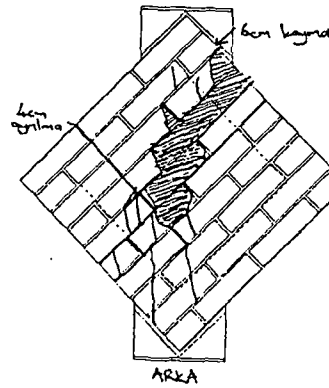
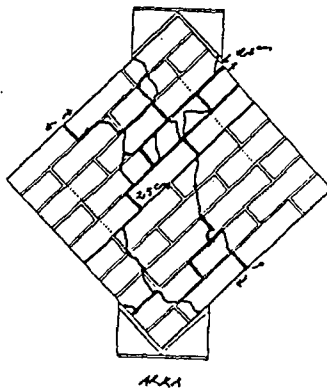
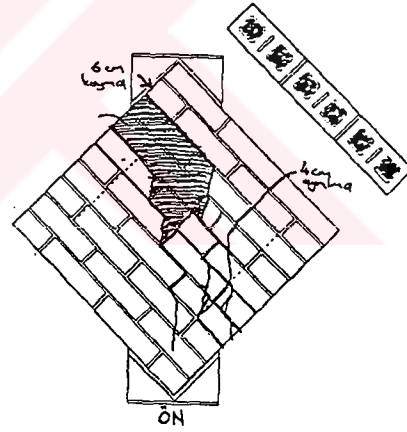
Numune: S54
Tarih: 10.10.2000
Saat: 12:15

l_1 (mm): 649
 l_2 (mm): 648
 l_3 (mm): 648
 l_4 (mm): 660



Numune: S52
Tarih: 09.10.2000
Saat: 17:15

l_1 (mm): 651
 l_2 (mm): 655
 l_3 (mm): 660
 l_4 (mm): 657

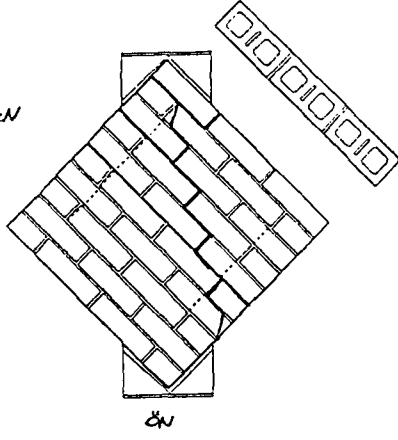


Şekil C.4 Numuneler S 52-53-54-55'in çatlak rölöveleri

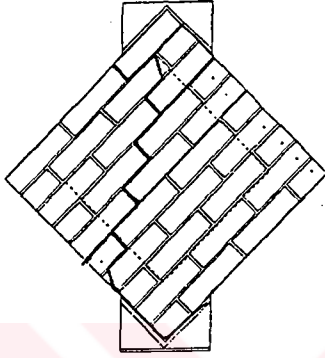
Numune: S59
Tarih: 17.10.2000
Saat: 10:50

l_1 (mm): 630
 l_2 (mm): 636
 l_3 (mm): 627
 l_4 (mm): 624

$P_{max}=163.8 \text{ kN}$



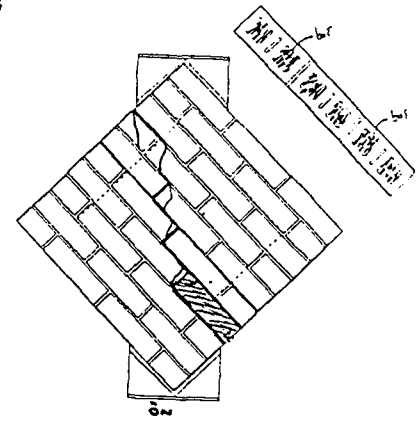
ÖN



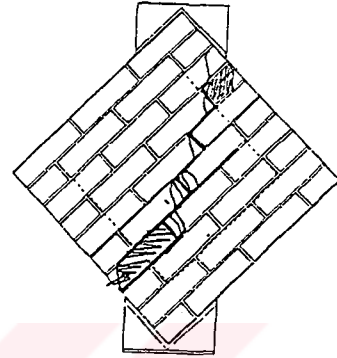
ARKA

Numune: S57
Tarih: 18.10.2000
Saat: 09:00

l_1 (mm): 634
 l_2 (mm): 601
 l_3 (mm): 622
 l_4 (mm): 634



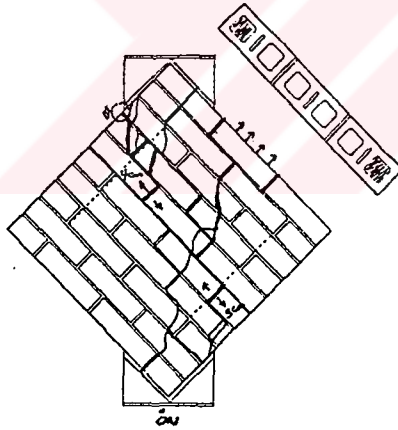
ÖN



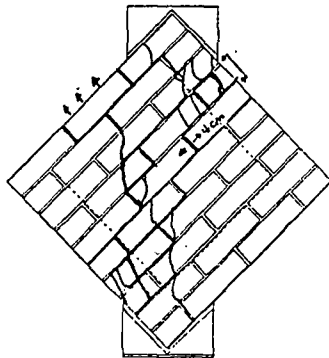
ARKA

Numune: S58
Tarih: 13.10.2000
Saat: 14:15

l_1 (mm): 622
 l_2 (mm): 636
 l_3 (mm): 630
 l_4 (mm): 626



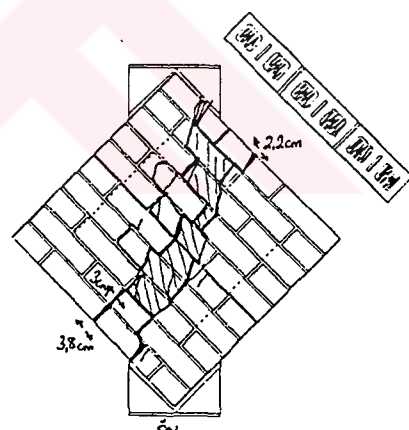
ÖN



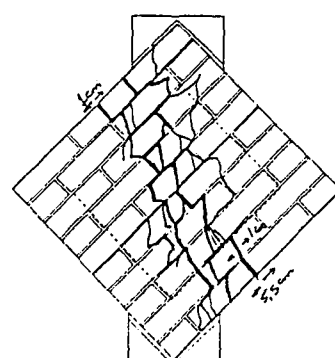
ARKA

Numune: S56
Tarih: 12.10.2000
Saat: 11:00

l_1 (mm): 641
 l_2 (mm): 627
 l_3 (mm): 626
 l_4 (mm): 622



ÖN

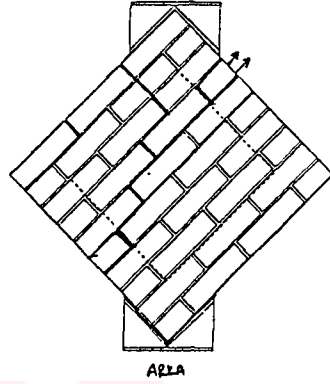
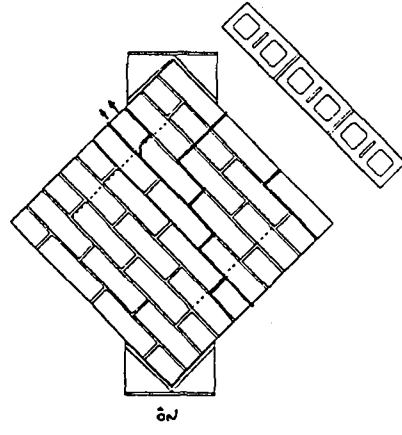


ARKA

Şekil C.5 Numuneler S 56-57-58-59'un çatlak rölöveleri

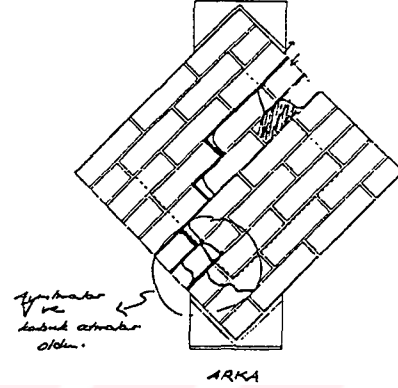
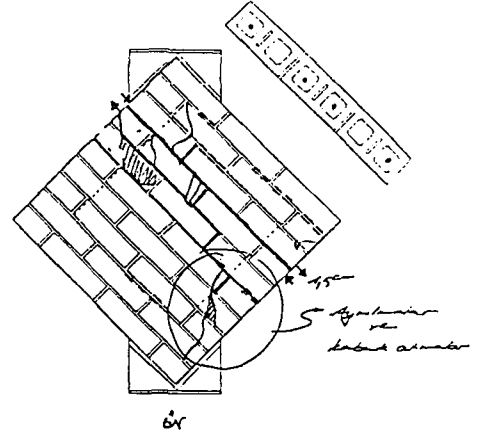
Numune: S63
Tarih: 20.10.2000
Saat: 14:00

l_1 (mm): 647
 l_2 (mm): 628
 l_3 (mm): 615
 l_4 (mm): 614



Numune: S62
Tarih: 17.10.2000
Saat: 09:45

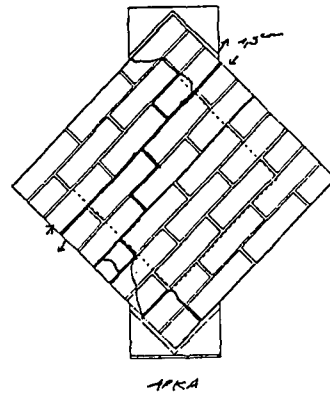
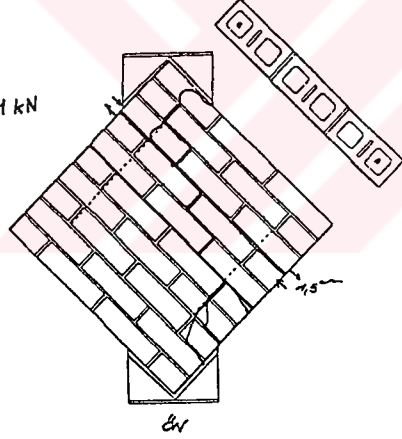
l_1 (mm): 629
 l_2 (mm): 619
 l_3 (mm): 609
 l_4 (mm): 642



Numune: S62
Tarih: 20.10.2000
Saat: 09:15

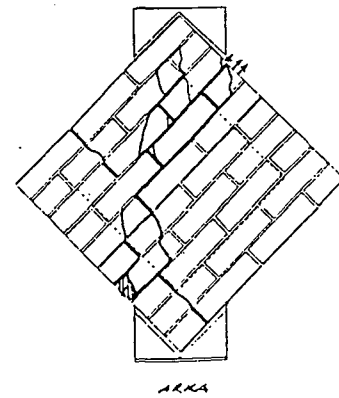
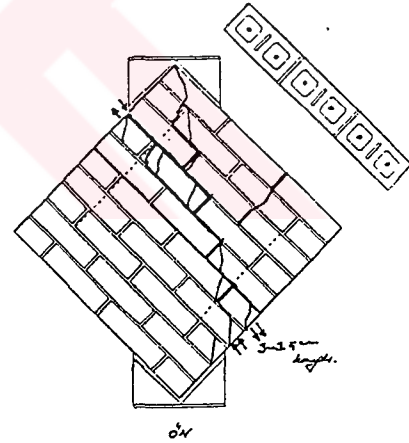
l_1 (mm): 616
 l_2 (mm): 629
 l_3 (mm): 610
 l_4 (mm): 650

$P_{max} = 197,1 \text{ kN}$



Numune: S60
Tarih: 18.10.2000
Saat: 11:22-11:25

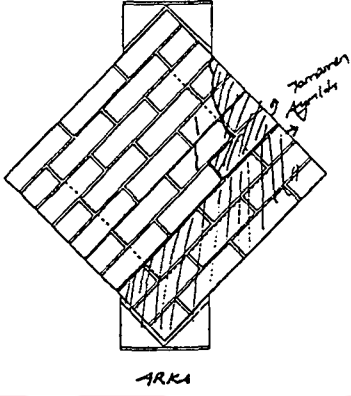
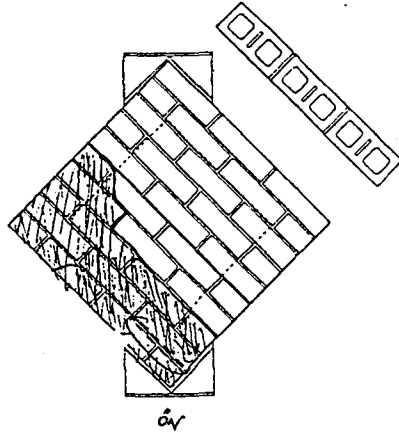
l_1 (mm): 626
 l_2 (mm): 632
 l_3 (mm): 589
 l_4 (mm): 586



Şekil C.6 Numuneler S 60-61-62-63'ün çatlak rölöveleri

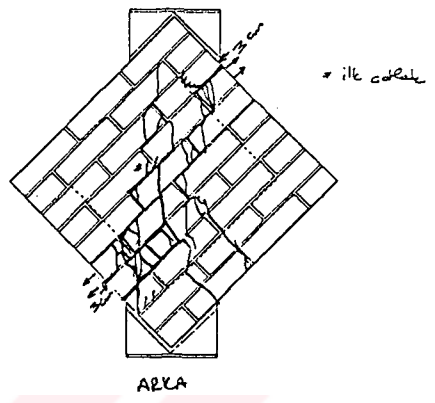
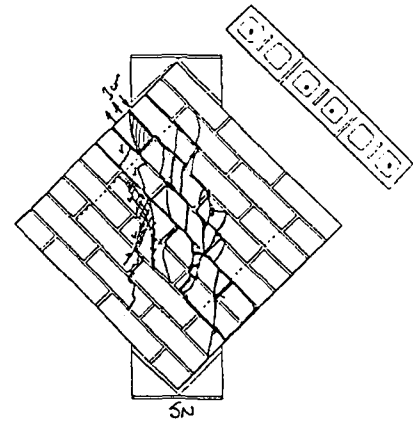
Numune: S67
Tarih: 24.10.2000
Saat: 17.00

l_1 (mm): 647
 l_2 (mm): 636
 l_3 (mm): 611
 l_4 (mm): 671



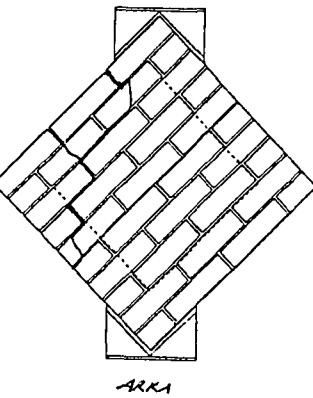
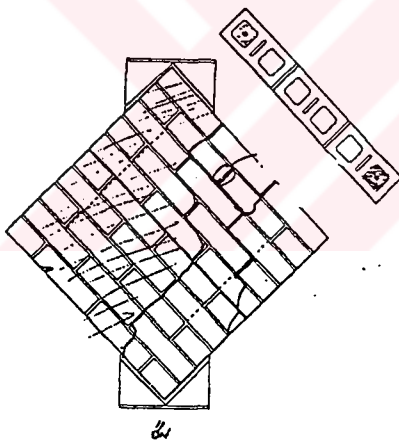
Numune: S65
Tarih: 21.10.2000
Saat: -

l_1 (mm): 638
 l_2 (mm): 644
 l_3 (mm): 633
 l_4 (mm): 643



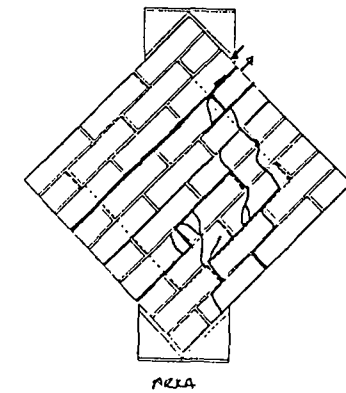
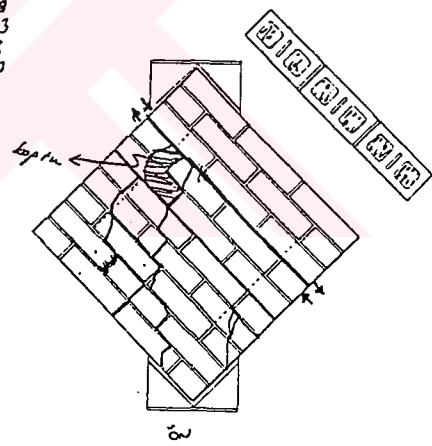
Numune: S66
Tarih: 24.10.2000
Saat: 11.00

l_1 (mm): 639
 l_2 (mm): 647
 l_3 (mm): 629
 l_4 (mm): 674



Numune: S64
Tarih: 23.10.2000
Saat: 14.15

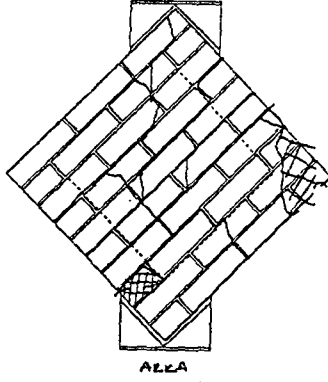
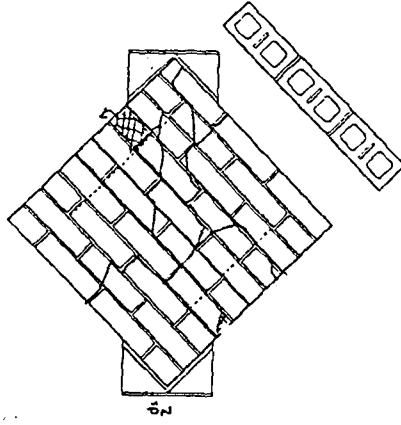
l_1 (mm): 648
 l_2 (mm): 623
 l_3 (mm): 618
 l_4 (mm): 670



Şekil C.7 Numuneler S 64-65-66-67'nin çatlak rölöveleri

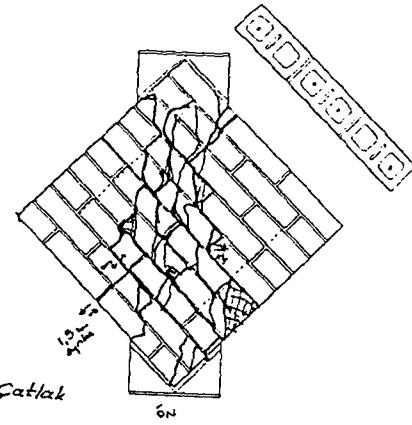
Numune: 571
Tarih: 07.11.2000
Saat: 17:00

l_{y1} (mm): 613
 l_{y2} (mm): 623
 l_{y3} (mm): 636
 l_{y4} (mm): 623



Numune: 569
Tarih: 8. Kasım - 2000
Saat: 10:00

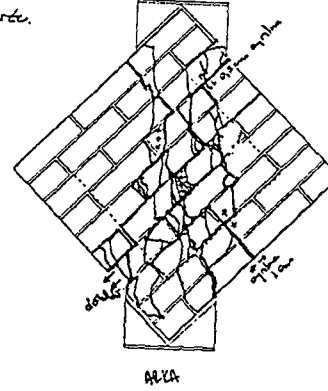
l_{y1} (mm): 632
 l_{y2} (mm): 632
 l_{y3} (mm): 602
 l_{y4} (mm): 607



İlk Düşey Çatlak

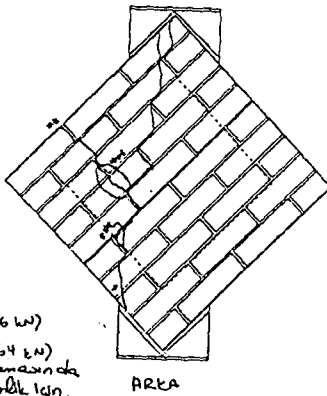
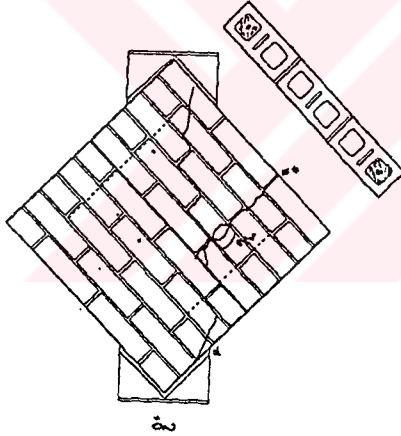
192,1 kN da

oluştur.



Numune: 570
Tarih: 06.11.2000
Saat: 15:00

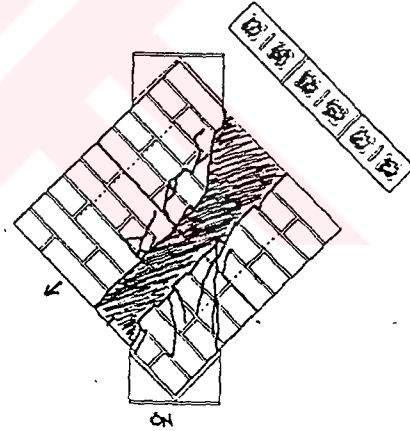
l_{y1} (mm): 634
 l_{y2} (mm): 630
 l_{y3} (mm): 652
 l_{y4} (mm): 648



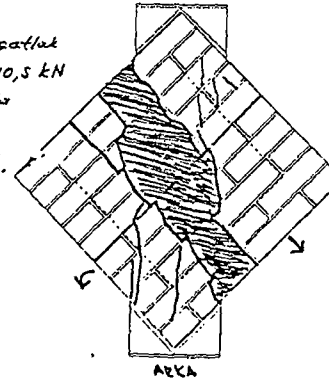
İlk çatlak (206 kN)
ve ileri çatlak (264 kN)
ve çatlama aşamasında
Bu aşamada, çatlakların,
yüzüne son verilmiştir.

Numune: 568
Tarih: 2. Kasım - 2000
Saat: 14:50

l_{y1} (mm): 630
 l_{y2} (mm): 631
 l_{y3} (mm): 650
 l_{y4} (mm): 658



İlk düşey çatlak
209,7 ~ 210,5 kN
arasında
oluştur.

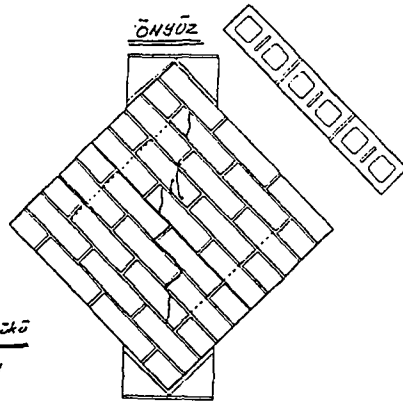


Şekil C.8 Numuneler S 68-69-70-71'in çatlak röleveleri

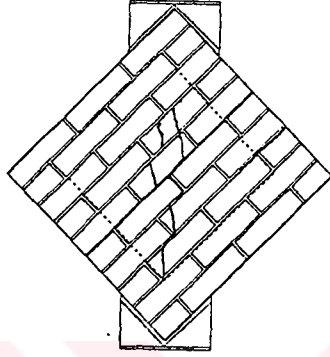
Numune: S75
Tarih: 23.11.2000
Saat: 15.00

l_1 (mm): 624
 l_2 (mm): 625
 l_3 (mm): 615
 l_4 (mm): 622

İlk çatlak yükü
244 kN

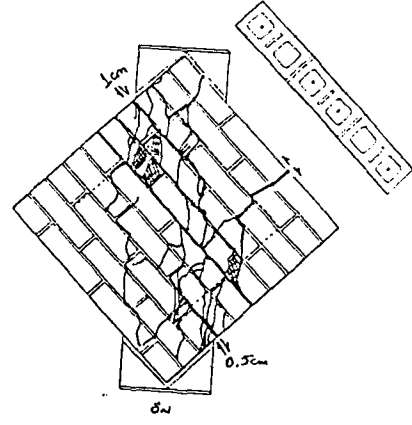


ARKA YÜZ

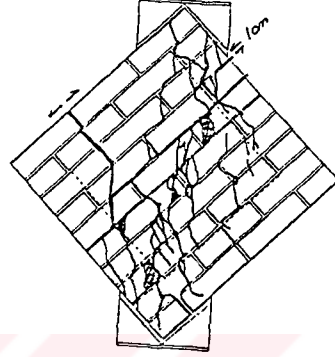


Numune: S73
Tarih: 9.11.2000
Saat: 15.00

l_1 (mm): 675
 l_2 (mm): 634
 l_3 (mm): 632
 l_4 (mm): 620



ÖN



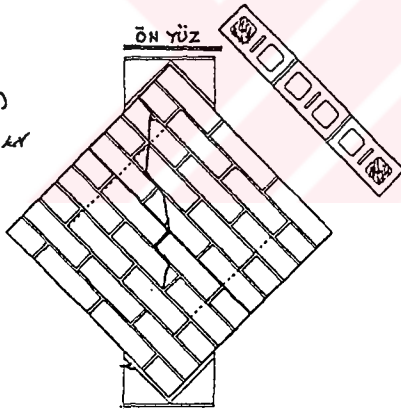
ARKA

Numune: S74
Tarih: 22.11.2000
Saat: 16.00

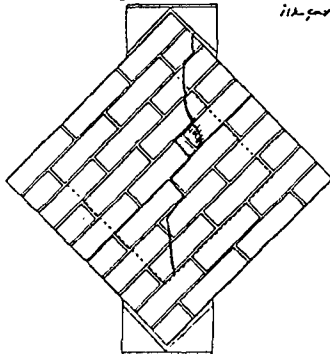
l_1 (mm): 630
 l_2 (mm): 629
 l_3 (mm): 596
 l_4 (mm): 613

(2 Donatılı)

$P_{max} = 232 kN$



ARKA YÜZ

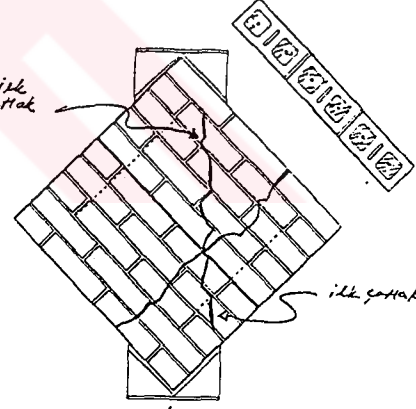


İlk çatlak = 232 kN

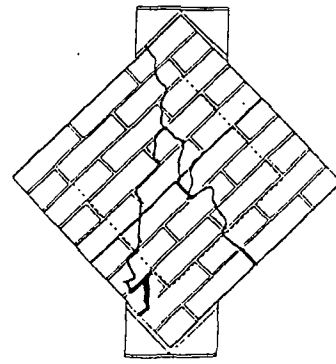
Numune: S72
Tarih: 08.11.2000
Saat: 16.00

l_1 (mm): 614
 l_2 (mm): 602
 l_3 (mm): 628
 l_4 (mm): 590

İlk çatlak



ÖN

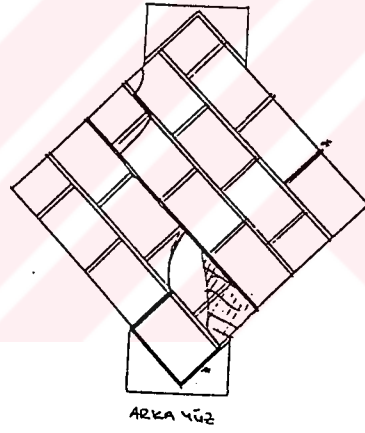


ARKA

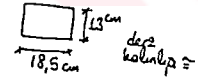
Şekil C.9 Numuneler S 72-73-74-75'in çatlak rölöveleri

Numune: S76
Tarih: 12.11.2000
Saat: 11:00

l_{12} (mm): 547
 l_{24} (mm): 565
 l_{57} (mm): 557
 l_{68} (mm): 564



- İlk çatlak: 44 cm
- Tırdı bölgelerin arka yüzünde kıldı.
- 5,5 t. duvarında sabit yük altında göçme gerçekleşti



değ. kalınlığı: 1/10

Şekil C.10 Referans numunesi S 76'nın çatlak rölövesi

ÖZGEÇMİŞ

Gülseren Erol , 2 Ocak 1978'de Erzincan'da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi'nde tamamladı ve 1994 senesinde İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1998 yılında buradan mezun oldu ve aynı sene İ.T.Ü. Yapı Mühendisliği Anabilimdalı Yapı Analiz ve Boyutlandırma Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Bir sene Onel İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de inşaat mühendisi olarak çalıştıktan sonra Temmuz 2000'de İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Anabilimdalı Yapı Statığı ve Betonarme Kürsüsü'ne Araştırma Görevlisi olarak girdi ve halen bu görevi devam etmektedir.

