

B.A. BOŞLUKLU PERDELERDE ÜST KAT BAĞ KİRİŞİ YÜKSEKLİĞİNİN SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Yavuz Selim TAMA , Hasan KAPLAN

Özet- Bu çalışmada depreme karşı güvenliğin artırılmasında etkili olan betonarme boşluklu perde duvar sistemlerinde, yatay yükler altında perde duvar-bağ kirişi arasındaki etkileşim ve üst kat bağ kirişi yüksekliğinin sistemin yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 3 katlı, bağ kirişleri ile bağlanmış boşluklu bir betonarme perde taşıyıcı eleman 1/5 ölçeğinde küçültülerek modellenmiştir. Modellemede en üst kat bağ kirişi yüksekliği D=10, 20 ve 30 cm olarak alınmıştır. Alt katlardaki bağ kirişi yükseklikleri bütün modellerde sabit tutulmuş ve 10 cm olarak alınmıştır. Her tip için 3 tane olmak üzere toplam 9 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu modeller yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Elde edilen deney bulguları yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Boşluklu perde duvar, bağ kirişi, Deprem, Yanal Deplasman, Rijitlik

Abstract-In this study the interaction between shear wall and lintel beam under horizontal load bearing capacity in reinforced concrete shear wall with opening system for increasing security against earthquakes is investigated. In the study a three story reinforced concrete shear wall element bonded with lintel beam is modeled by making a 1/5 smaller sample. The upper most lintel beam height is taken D=10,20 and 30 cm in the models. The lower lintel beam heights are taken constant in all models and taken as 10 cm. Total of 9 test samples were prepared by making 3 samples for every type. The prepared models were tested under horizontal load effect. As a result of the experiments the relation between horizontal load and horizontal displacement and damage types of shear wall with opening elements are investigated.

Key Words- Shear Wall With Opening, Lintel Beam, Earthquake, Lateral Displacement, Stiffness

Y. S. TAMA, PA.Ü. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
H. KAPLAN, PA.Ü. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli

I. GİRİŞ

İnşaat mühendislerinin görevi insanların içlerinde yaşadıkları mekanları, mümkün olduğu kadar güvenli aynı zamanda ekonomik ve amacına uygun olacak şekilde planlamak ve inşa etmektir. Bu amaca yönelik olarak inşaat mühendisi, projelerinde ve uygulamalarında gelişen teknolojiye azami ölçüde yararlanmak ve bu teknolojiyi kullanmak zorundadır. Her gün gelişen teknik imkanların uygulamaya aktarılmasında mühendislere çok önemli görevler düşmektedir.

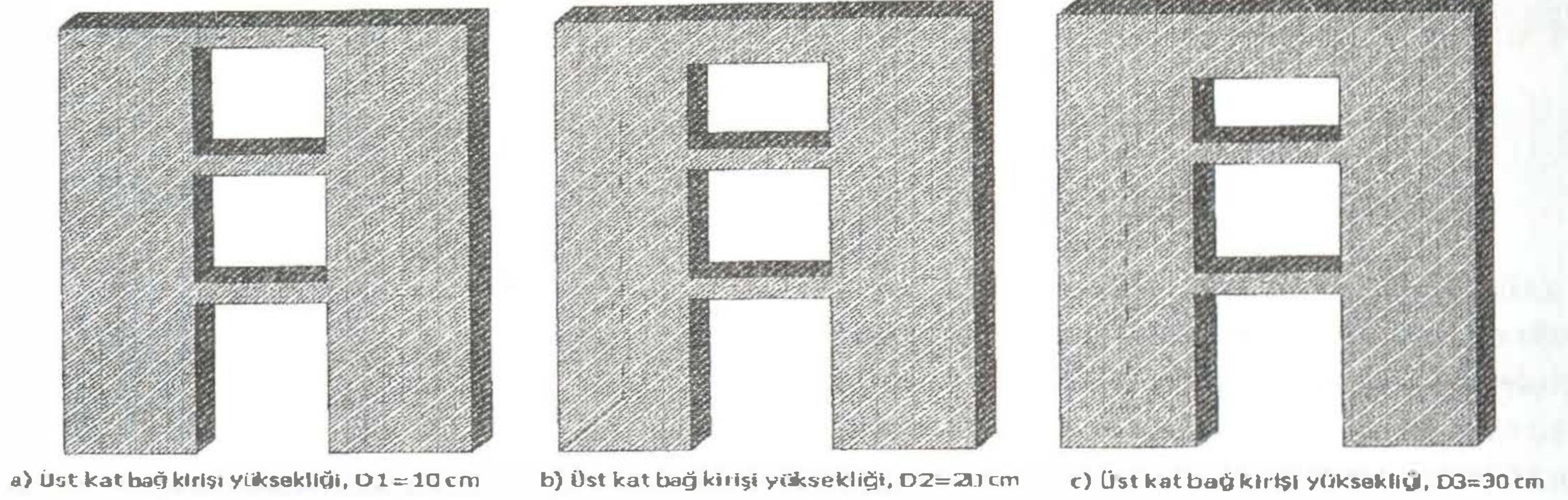
Günümüzde depremlerde oluşan hasarların meydana geliş nedenleri bilinmektedir. Bu hasarların nasıl önleneceği de her mühendis tarafından bilinmesi gereken esaslardandır. Depremlerin yol açtığı can ve mal kaybının tümünün yapılarda meydana gelen hasarın sonucu olması ve bina yapmanın da inşaat mühendisinin görevi oluşu her inşaat mühendisinin depreme dayanıklı yapı tasarımını bilmesini gerektirmektedir. Ülkemizde gözlenen deprem hasarlarının büyük bir çoğunluğu seçilen mimari ve taşıyıcı sistemin depreme uygun olmamasından kaynaklandığı görülmüştür. Bunun bedelini daha önceki depremlerde olduğu gibi 18 Ağustos Adapazarı ve 12 Kasım Düzce depremlerinde de çok ağır bir biçimde ödeme durumunda kaldık.

Yapının depreme dayanıklı olarak nitelenmesi için gerekli olan şartlardan biri de, yapının yeterli miktarda yatay rijitliğe sahip olmasıdır. Çok katlı binalarda, artan kat sayısı ile birlikte bina daha fazla yatay kuvvete maruz kalmaktadır. Artan bu yatay tesirlere karşı emniyeti sadece çerçevelerle temin etmek, kolon boyutlarının aşırı derecede büyülteceğinden, gerek alt katlardaki hacim kaybı nedeniyle, gerekse maliyet bakımından uygun çözüm şekli değildir. Yapılarda büyük deprem kuvvetlerini taşıyabilme ve yatay ötelenmeleri kısıtlamak için perde duvarlı taşıyıcı sistemler en uygun çözüm şeklidir.

Bu çalışmada, boşluklu perde duvarlarda, perde duvar-bağ kirişi etkileşimi ve üst kat bağ kirişi yüksekliğinin değiştirilmesinin boşluklu perde davranışına etkisi

deneysel olarak araştırılmıştır. Şekil 1' de görüldüğü gibi, üç katlı boşluklu bir perde duvar 1/5 ölçeğinde küçültülerek modellenmiştir. Sadece üst kattaki bağ kirişi yüksekliği ($D=10,20$ ve 30 cm) olan 3 farklı perde duvar modeli hazırlanmış ve her model için 3'er

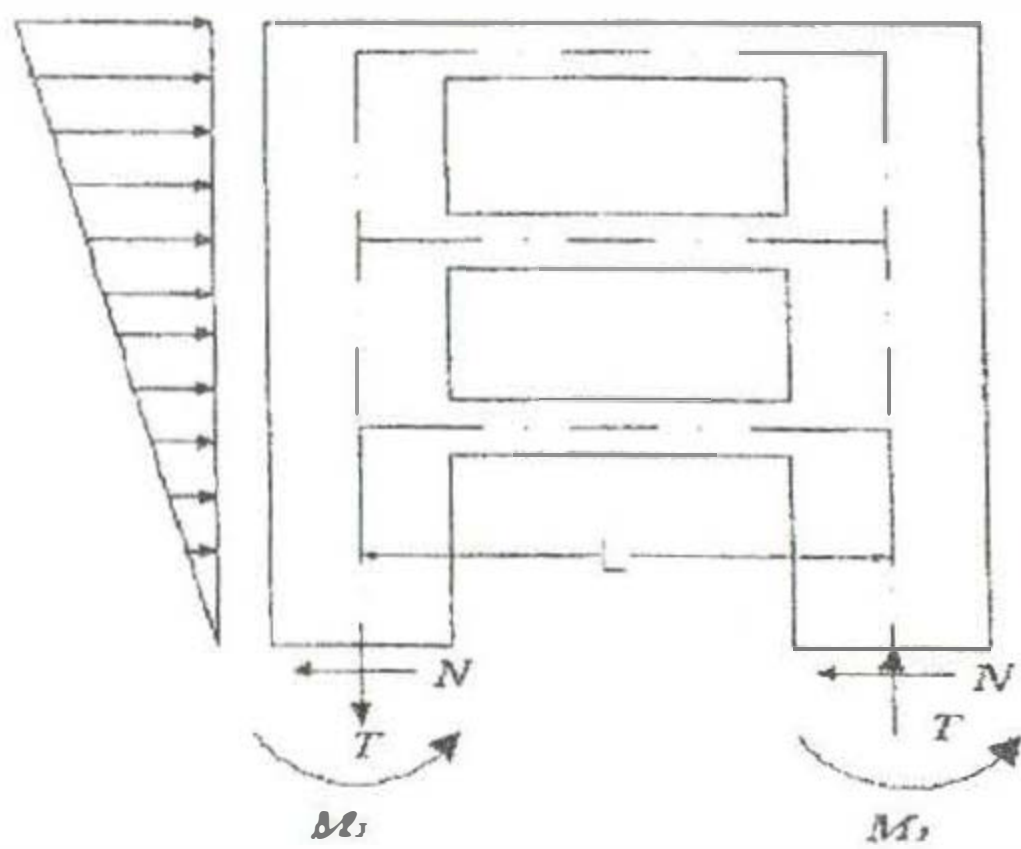
adet olmak üzere toplam 9 deney numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan bu numuneler sabit bir yükseklikten yatay yük etki ettirilerek test edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.



Şekil 1: Perde duvar modellerinin görüntüsü

II. PERDE DUVAR- BAĞ KİRİŞİ ETKİLEŞİMİ

Perde duvarlar birbirlerine normal betonarme kirişlerle bağlı olabileceği gibi, bazı durumlarda kirişler büyük bir perde duvarda açılmış olan boşluklar nedeni ile de ortaya çıkabilir. Böyle durumlarda perde duvarların birbirleri ile etkileşimi bu kirişlerde oluşan uç kuvvetleri ile sağlanır. Sisteme etki eden kuvvetlerin perde kesitlerinde meydana getirdiği M_0 momenti, Şekil 2' de görüldüğü gibi, perde duvar kesitlerindeki M_1 ve M_2 momentleri yanında, perde duvarlar arasındaki bağ kirişlerinin ucunda oluşan kesme kuvvetlerinin toplamından oluşan perde normal kuvvetlerinin oluşturduğu moment ile karşılanır, [2].

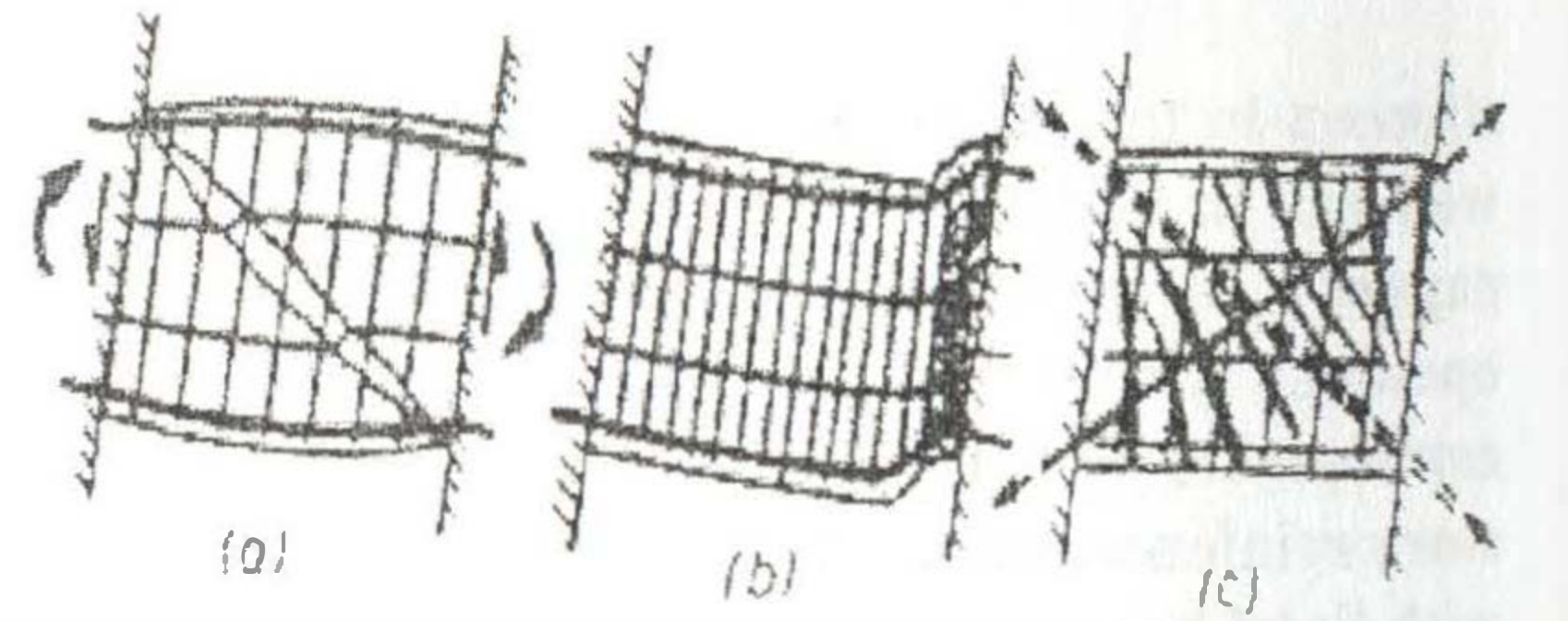


Şekil 2: Boşluklu perde duvar ve bağ kirişi

$$M_0 = M_1 + M_2 + T \cdot L \quad (1)$$

Bağ kirişlerinin esas amacı kesme kuvvetinin perdeler arası geçişini sağlamaktır. Bağ kirişleri, özellikle deprem etkisinde, yön değiştiren kesit zorlarına maruz kalırlar. Bağ kirişlerinin rijitlikleri büyüdükçe perdelerin beraber çalışması daha etkili olarak ortaya çıkar. Buna karşılık bağ kirişlerindeki kesme kuvvetleri dolayısı ile de perde elemanlardaki T normal kuvvetleri artacaktır.

Normal kiriş gibi donatılandırılan kısa açıklıklı bağ kirişleri Şekil 3.a' da gösterildiği gibi, kesitin eğilme kapasitesine ulaşmadan, eğik çekme gerilmeleri nedeni ile göçme durumuna gelir. Etriyelerin uygun biçimde düzenlenmesi ile kesme kuvveti kapasitesi yüksek tutulabilir ise de yön değiştiren yüklerde aderansın zayıflaması, eğilme çatlaklarının iki tarafta birleşmesine neden olabilir, Şekil 3.b de görüldüğü gibi. Özellikle kısa açıklıklı bağ kirişlerinde, Şekil 3.c' de görüldüğü gibi, köşegen doğrultusunda donatıların yerleştirilmesi uygun sonuç verir.



Şekil 3: Perdeler arası bağ kirişlerinin göçme biçimleri

III. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

III. 1 Malzeme Deneyleri

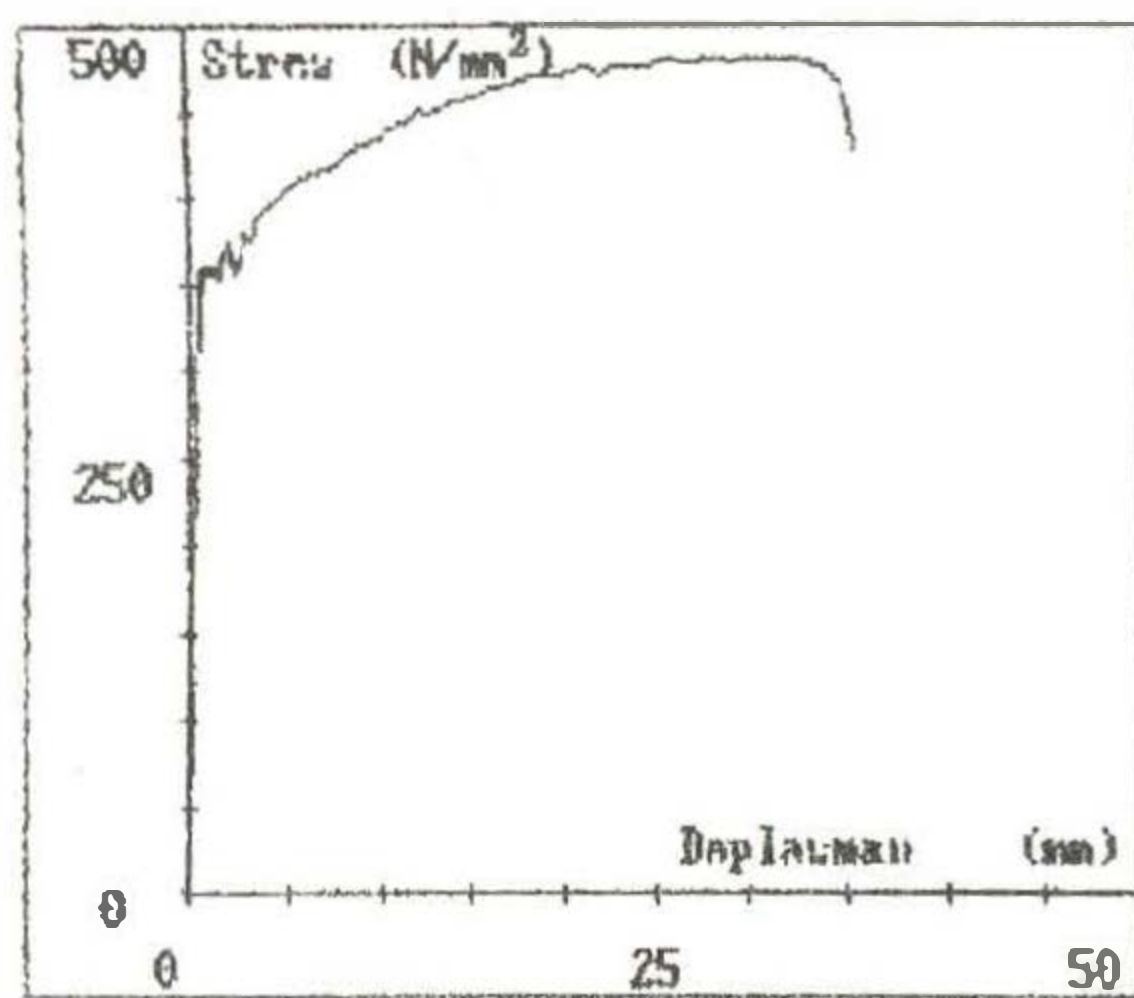
Bilindiği gibi taşıyıcı elemanların davranışında malzeme özellikleri çok etkilidir. Özellikle betonarme gibi heterojen bir yapıya sahip taşıyıcı elemanlarda, yapı elemanının davranışını etkileyen faktörler çok daha çeşitlidir. Özellikle kullanılan malzemenin nitelikleri taşıyıcı sistemin davranış ve dayanımı üzerinde belirleyici bir role sahiptir. Bu nedenle de aşağıda verilen malzeme deneylerinin yapılması gerekli görülmüştür.

III.1.1 Çekme Testleri

Deneysel çalışmalarda betonarme donatısı olarak $\phi 8$ mm kalınlığında St37 kalitesinde BÇI.a demir donatısı kullanılmıştır. Kullanılan demir çubuklardan TS 138/Mart 1978, [3] standardına göre çekme numuneleri alınmış ve test edilmiştir. Elde edilen çekme test sonuçlarının TS 708/Ekim 1985, [4]' de verilen değerlerle karşılaştırması aşağıda Tablo-1' de verilmiştir. Ayrıca çekme testleri sonucu çelik malzemenin "Gerilme-Şekil değiştirme" davranışı Şekil-4' de gösterilmiştir.

TABLO-1: Çekme test sonuçları

	Test-1	Test-2	Test-3	Test-4	TS 708
Rm (N/mm ²)	486,00	493,00	489,00	484,00	340,00
ReH (N/mm ²)	360,00	383,00	380,00	375,00	320,00
ReL (N/mm ²)	353,00	367,00	365,00	354,00	220,00
Rp-0.5 (N/mm ²)	358,00	367,00	376,00	355,00	-
Ae (%)	-	0,50	0,50	1,00	-
A _{5.65} (%)	46,00	31,00	47,00	33,50	-
At (%)	19,50	13,50	20,00	14,00	-
Z (%)	3,00	3,30	-	-	-



Şekil-4: Çelik Malzeme Gerilme-Şekil değiştirme eğrisi

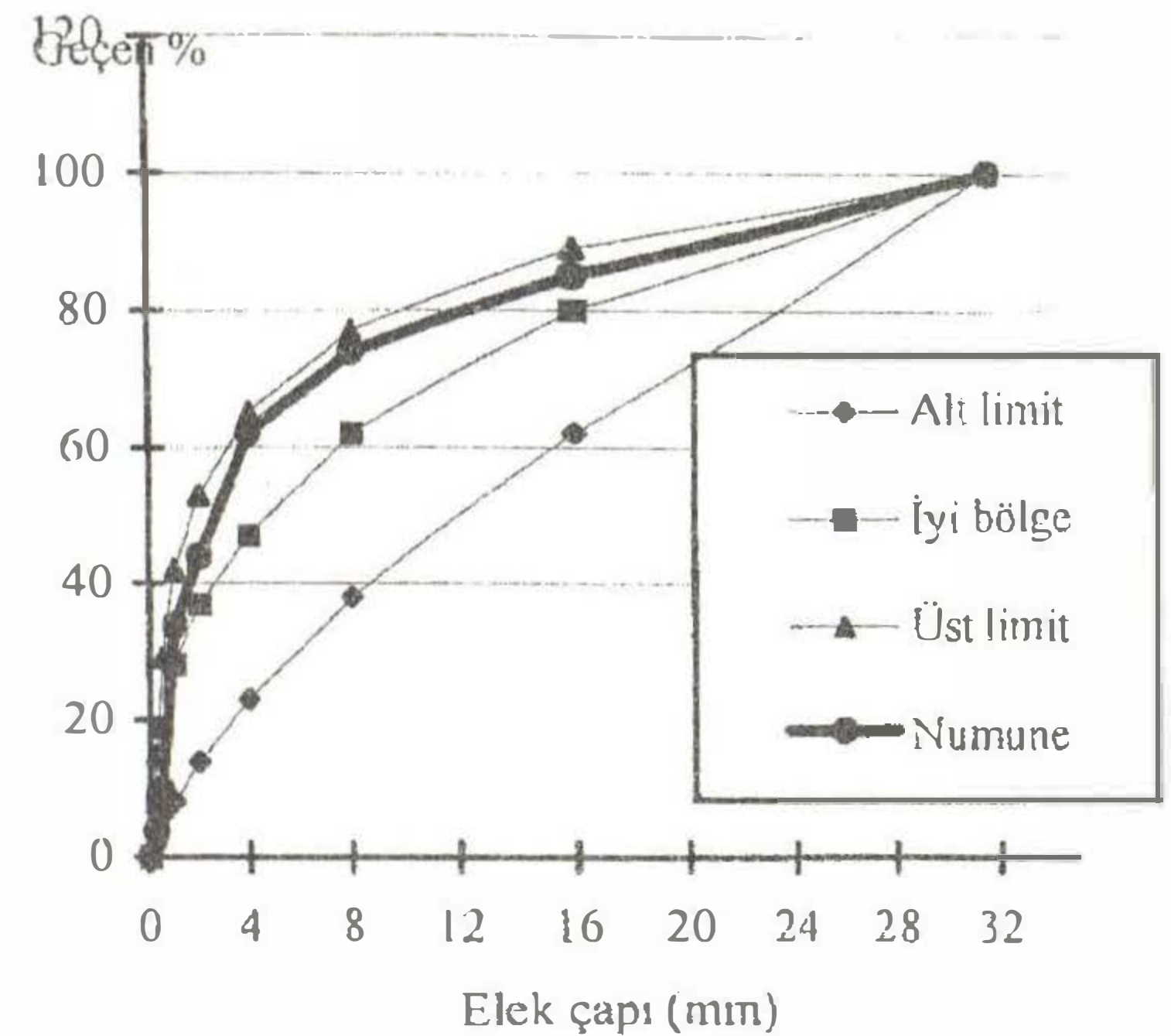
III.1.2 Elek Analizleri

Boşluklu perde duvar deney numunelerinin hazırlanmasında B160 kalitesinde beton kullanılmıştır. Bu kalitede beton elde etmek için TS 802/1985, [5]' de verilen karışım hesap esasları dikkate alınarak kullanılacak olan beton agrega malzemesi üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Elde edilen elek analizi sonuçları Tablo 2' de verilmiştir. Şekil 5' de verilen granülometri eğrisinde görüldüğü gibi kullanılacak olan beton agregasının tane çapı dağılımı üst limit ile iyi bölge arasında elde edilmiştir.

Tablo 2: Agrega Elek Analiz Sonuçları

Elek Çapı	Elekte Kalan	Küm. Top.	Elekte Kalan	Küm. Kalan	Geçen
-----------	--------------	-----------	--------------	------------	-------

(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
31.5	-	-	-	-	100
16	145.83	145.83	14.58	14.58	85.41
8	116.67	262.50	11.67	26.25	73.75
4	116.67	379.17	11.67	37.92	62.08
2	183.33	562.50	18.33	56.25	43.75
1	100.00	662.50	10.00	66.25	33.75
0.5	241.67	904.17	24.16	90.41	9.58
0.25	58.50	962.67	5.85	96.26	3.75
	37.50	1000.00	3.75	100.00	0.00



Şekil 5: Kullanılan Agreganın Granülometri Eğrisi

III.1.3 Çökme (Slamp) Deneyi

Bilindiği gibi, çökme (slamp) deneyi taban çapı 20 cm, üst çapı 10 cm ve yüksekliği 30 cm olan metalden yapılmış kesik koni şeklindeki bir deney aparatı kullanılarak TS2871/Aralık 1977, [6] ' standardına uygun olarak yapılır. Bu çalışmada, üç farklı model üzerinde çalışıldığı için her farklı model için farklı zamanlarda beton dökülmüştür. Her farklı boşluklu perde duvar tipi için üçer adet model hazırlanmıştır. Sonuç olarak toplam dokuz adet boşluklu perde duvar deney modeli hazırlanmış olup her model için ayrı bir çökme deneyi yapılmıştır. Yapılan çökme deney sonuçları Tablo 3' de verilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi için TS5930/Ağustos 1988, [9]' da verilen sınır değerleri Tablo 4' de ayrıca verilmiştir.

Tablo 3: Çökme (Slamp) değerleri

Model Döküm No.	Üst kat bağ kirişi yüksekliği (cm)		
	D=10	D=20	D=30
I. Döküm	90,0	107,0	114,0
II. Döküm	85,0	130,0	105,0
III. Döküm	70,0	150,0	120,0

Tablo 4: Çökme sınır değerleri ve beton sınıfları, (TS5930/Ağustos 1988).

Beton Sınıfı	Çökme Miktarı (mm)
S ₁	10-40
S ₂	50-90
S ₃	100-150
S ₄	≥160

III.1.4 Beton Basınç Deneyleri

Boşluklu perde duvar deney numunelerinin basınç dayanımlarının belirlenmesi için her farklı döküm esnasında 15*30 boyutlarında dört adet silindirik numune alınmıştır. Bu numuneler TS 3068/1978, [8]' de verilen esaslar dikkate alınarak laboratuvar ortamında havuz içersinde 28 gün bekletilmiştir. Bu süre sonunda numuneler havuzdan çıkartılmış ve basınç testine tabi tutulmuşlardır. Elde edilen test sonuçları Tablo 4' de verilmiştir. Bu tabloda verilen değerler incelendiği zaman, kullanılan betonun deney basınç dayanım değerlerinin standart basınç değerinden daha büyük olduğu görülür.

Tablo 4: Ortalama silindirik beton basınç dayanım değerleri

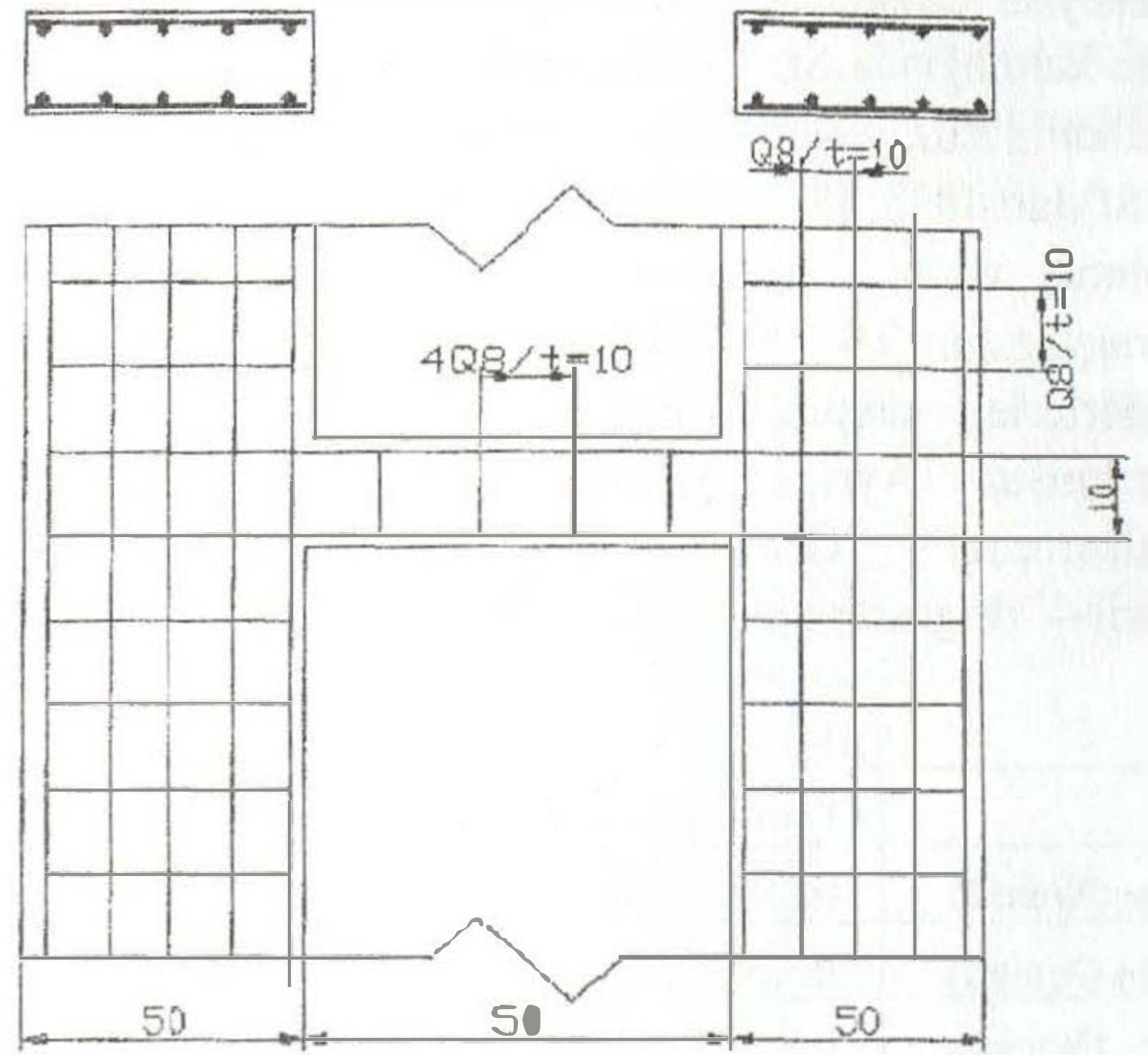
Üst kat bağ kirişi yüksekliği, (cm)		
D=50	D=100	D=150
σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)
198	207	205

III.2 Boşluklu Perde Modellerinin Hazırlanması

Perde duvar deney numuneleri laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Betoniyer ile karılış olan 300 Dozlu B160 betonu önceden hazırlanmış olan çelik kalıplar içersine yerleştirilmiştir. Bir hafta kalıplarda bekletilen numuneler daha sonra kalıplardan çıkartılmış ve 28 günlük dayanımlarına kazanabilmeleri için laboratuvar şartlarında bekletilmiştir. Bu bekleme esnasında numune boyutları çok büyük olduğu için, içi suyla dolu kür havuzlarına yerleştirilememiştir. Fakat mutad olarak günde en az üç defa bolca sulanmış ve prizlerini almaları sağlanmıştır.

III.3 Donatı Detayları

Perde duvar deney numunelerinin hazırlanmasında $\phi 8$ ' lik BÇIa (S220) çeliği kullanılmıştır. Düşey donatılar eşit aralıklarla çift taraflı olarak yerleştirilmiştir. Yatay donatılarda yine eşit aralıklı olarak etriye şeklinde yerleştirilmiştir. Yatay donatılar yerleştirilirken kolonlarda olduğu gibi perde duvar uçlarında etriye sıkılaştırılması yapılmamıştır. Donatı yerleşiminde pas payı olarak 1.0 cm alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan donatı yerleşim detayı Şekil 6' da gösterilmiştir.

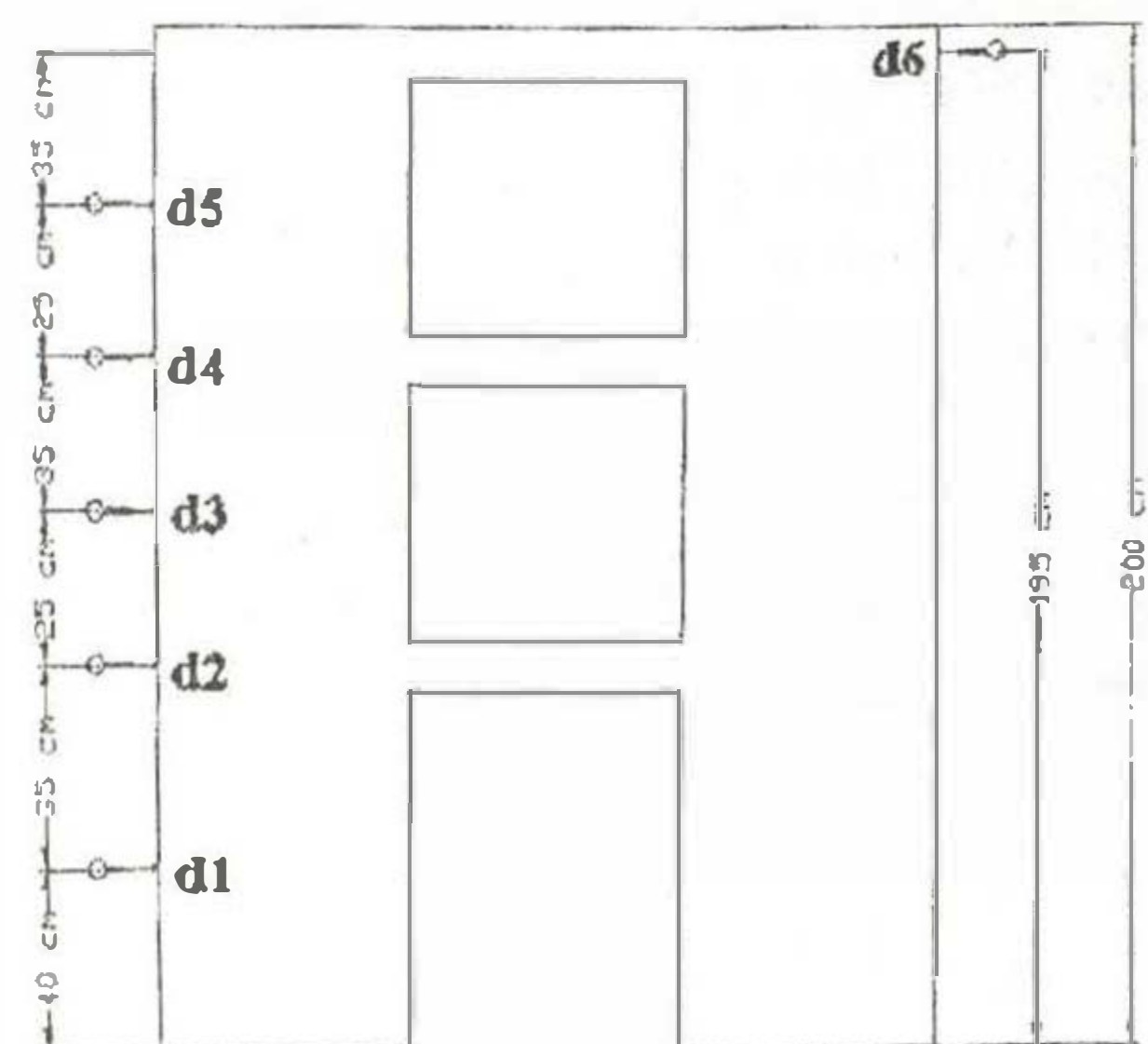


Şekil 6: Boşluklu perde duvar donatı detayı

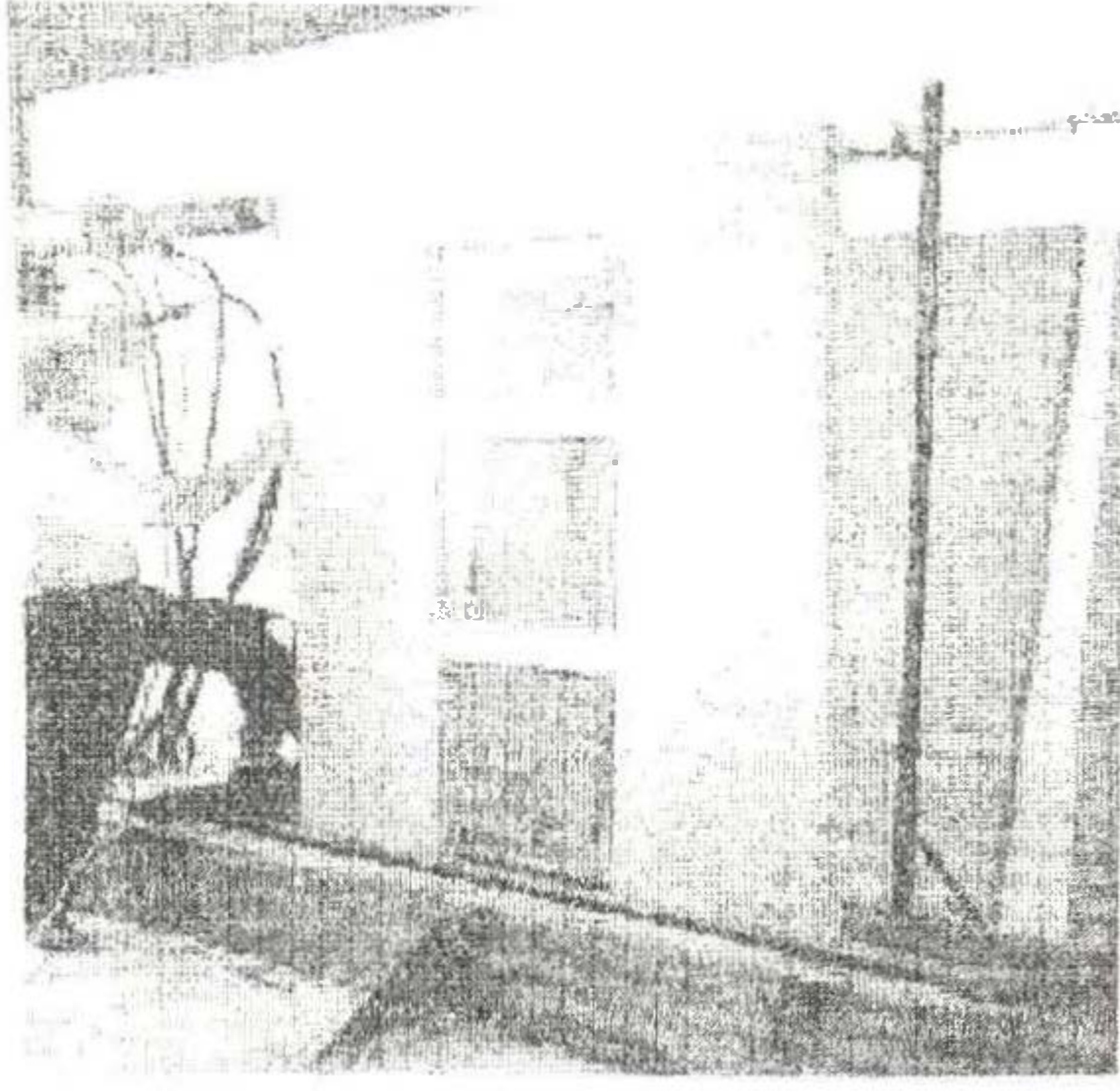
III.4 Ölçüm Düzeneginin Hazırlanması

Yükleme etkisi altında perde duvarda meydana gelen deplasmanların ölçümü için mekanik deplasman ölçerler kullanılmıştır. Kullanılan bu deplasman ölçerler 0.01 mm hassasiyetinde olup numune üzerine 6 farklı noktada yerleştirilmiştir. Test çerçevesine yerleştirilmiş ve ölçüm düzenegi hazırlanmış olan bir deney numunesi Şekil 8' de verilmiştir.

Bu noktaların yerleri deneye başlamadan önce belirlenmiş olup deneyler boyunca bütün numuneler için sabit tutulmuştur (Şekil 7). Deplasman ölçerlerin 5 tanesi perde duvar numunesinin sol kenarına, yükün uygulandığı noktaya deplasman ölçer yerleştirilemediği için 6.' sı da sağ üst köşesine yerleştirilmiştir. Bu işlem simetrik boşluklu perde duvarlarda her iki perdenin de aradaki bağ kirişlerinin mafsallaşma anına kadar aynı yatay deplasmanı yaptığı kabulünden hareket ederek yapılmıştır.



Şekil 7: Ölçüm düzeneginin yerleşimi

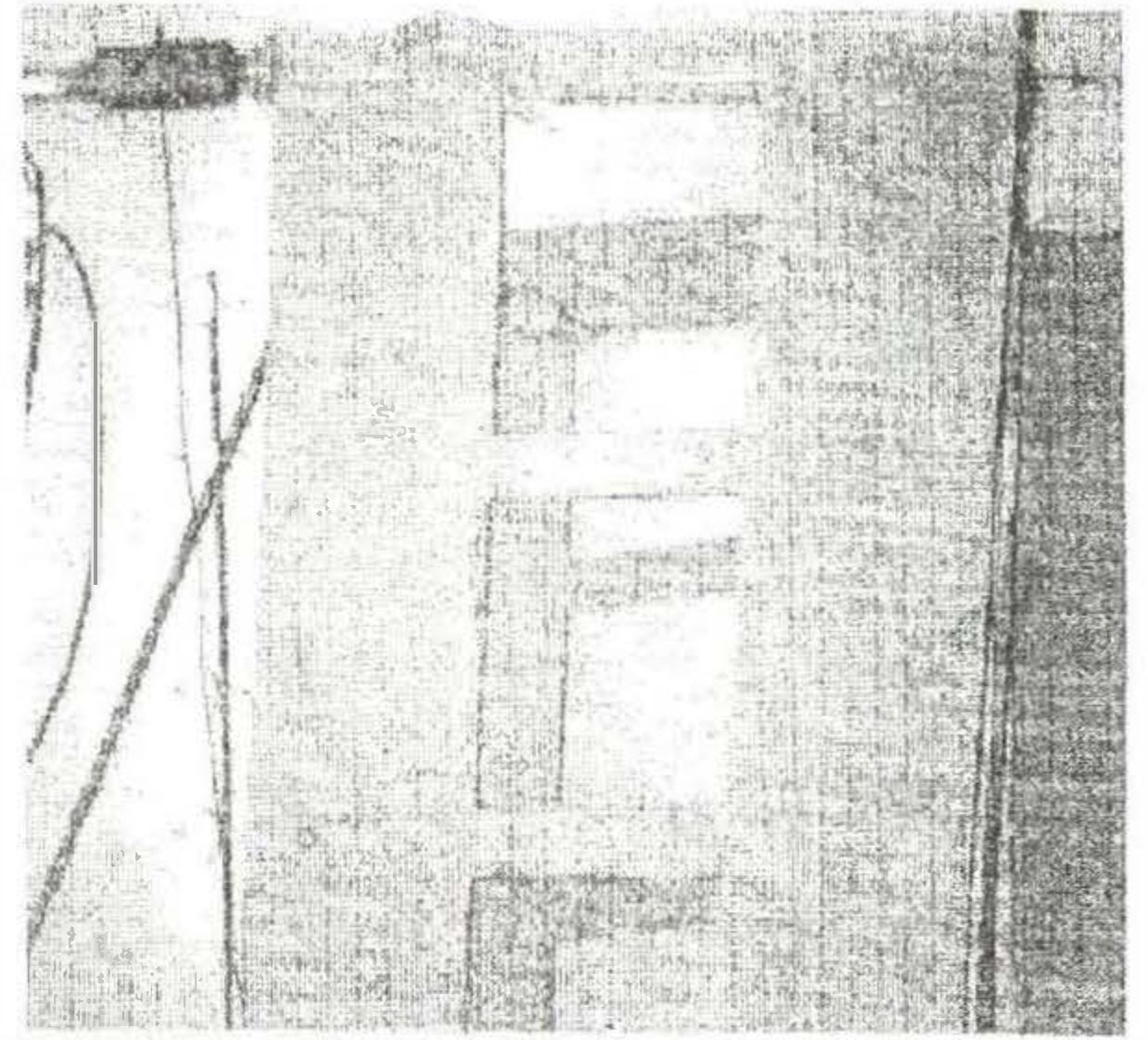


Şekil 8: Test çerçevesine yerleştirilmiş deney numunesi ve ölçüm düzeneğinin görünüşü, ($D_2=20$ cm)

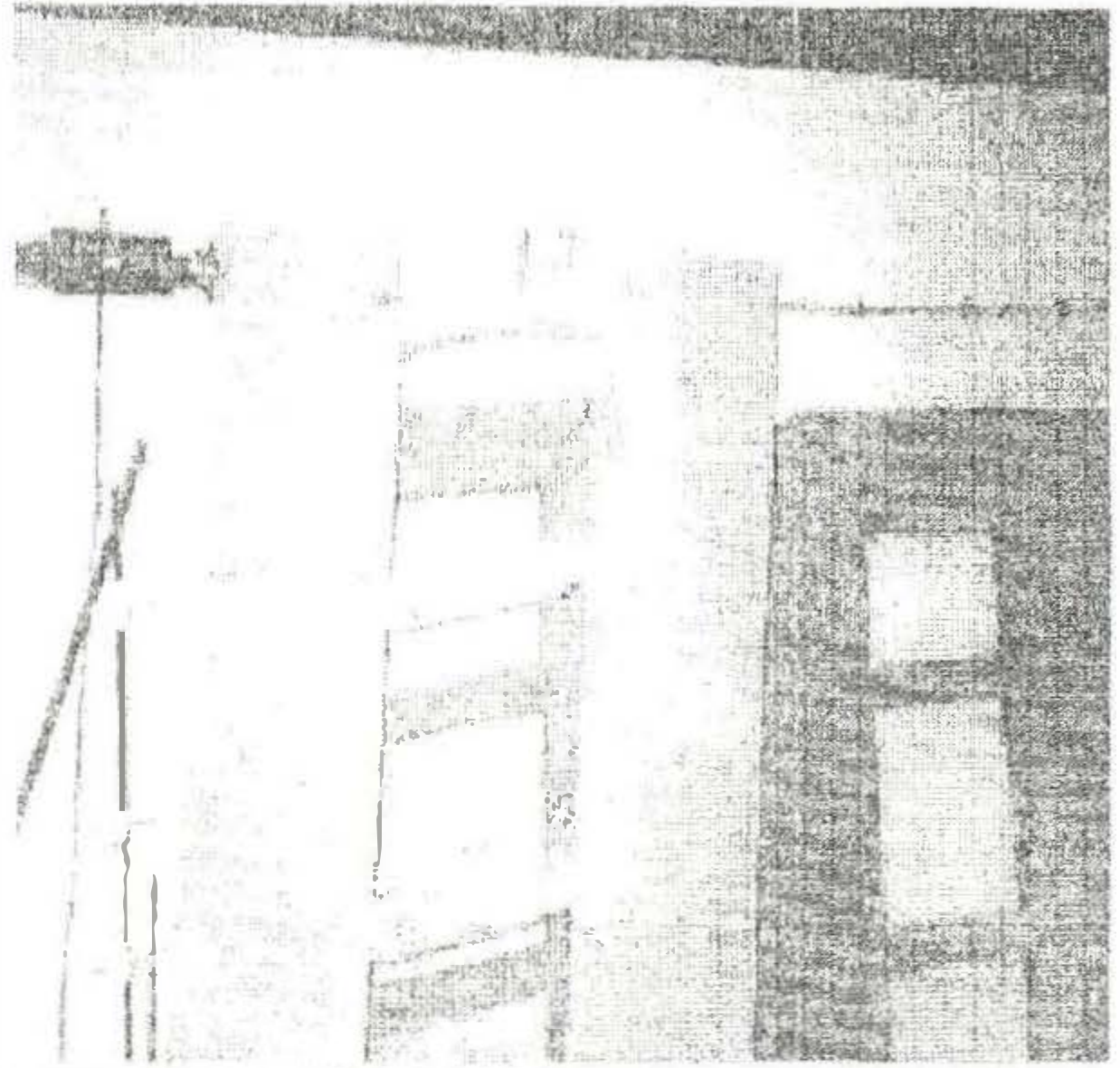
III.5 Boşluklu Perde Duvar Deneyleri

Deney numuneleri üzerine Şekil 8' den de görülebileceği gibi sadece perde duvar üst kat bağ kirişi eksen çizgisi seviyesinden yükleme yapılmıştır. Uygulanan yük statik olup yükün uygulanma noktası ve uygulama hızı sabit tutulmuştur. Yükleme anında, yük miktarı 0' dan başlayarak belli miktarlarda kademeli olarak artırılmak sureti ile tatbik edilmiştir. Her yük artırımının sonunda numunede oluşan deplasman değerleri ölçülmüştür.

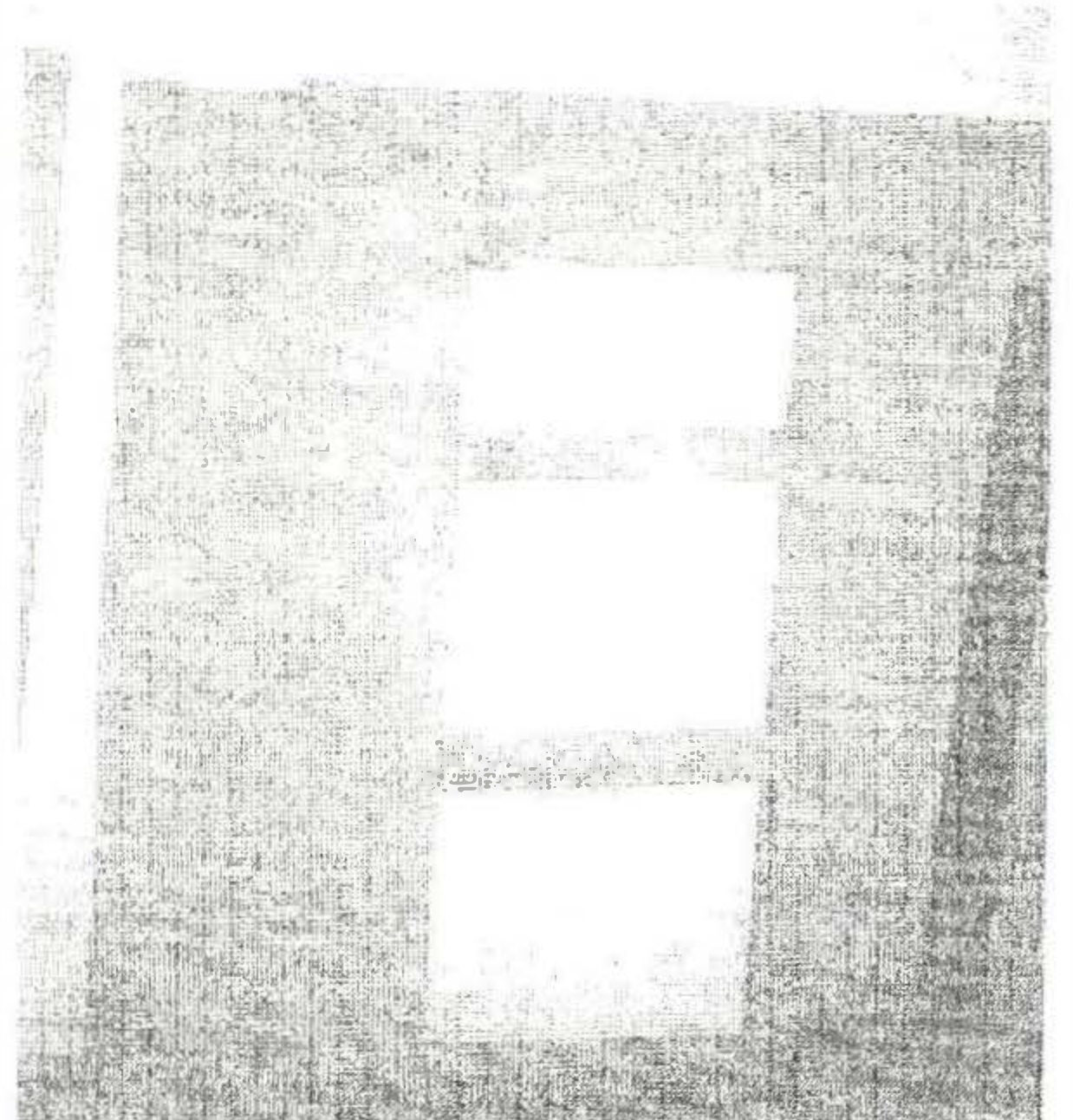
Uygulanan yük miktarı belirli bir değere ulaştığında, perde duvar-bağ kirişi birleşim yerlerinde kesme çatlakları oluşmaya başlamıştır. Bu çatlaklar bağ kirişinin sol tarafında kesme kuvvetinden dolayı kiriş altında oluşurken, bağ kirişinin sağ tarafında ise kesme kuvvetinin yön değiştirmesinden dolayı kirişin üst kısmında oluşmuş ve yük artırılmaya devam ettikçe kiriş derinliği boyunca yayılarak yarıklar haline dönüşmüş ve daha belirgin hale gelmiştir. Perde duvarların rijitliği bağ kirişlerine oranla çok büyük olduğu için çatlaklar ilk önce bağ kirişlerinde oluşmuş ve perde duvarlar yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmadan bağ kirişleri mafsallaşmıştır. Bu çalışmada amaç, bağ kirişlerinin davranışlarını gözlemlemek olduğu için perde duvar elemanlarının temel birleşim yerlerindeki deformasyon davranışı ele alınmamıştır. Şekil 9-11' de numunelerin kırılma anındaki davranış biçimleri verilmiştir.



Şekil 9: Bağ kirişi kırılma davranışı ($D_1=10$ cm)



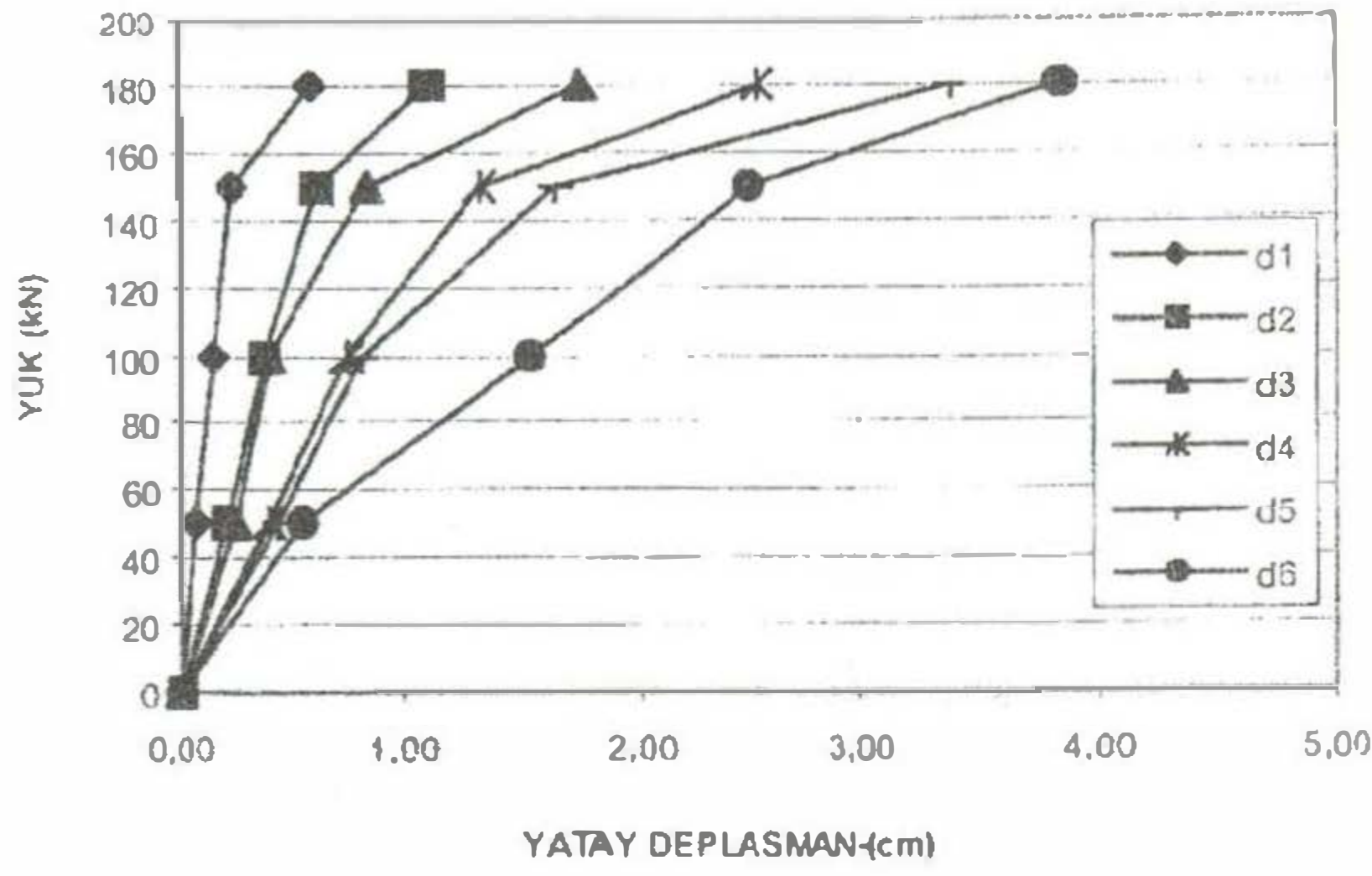
Şekil 10: Bağ kirişi kırılma davranışı ($D_2=20$ cm)



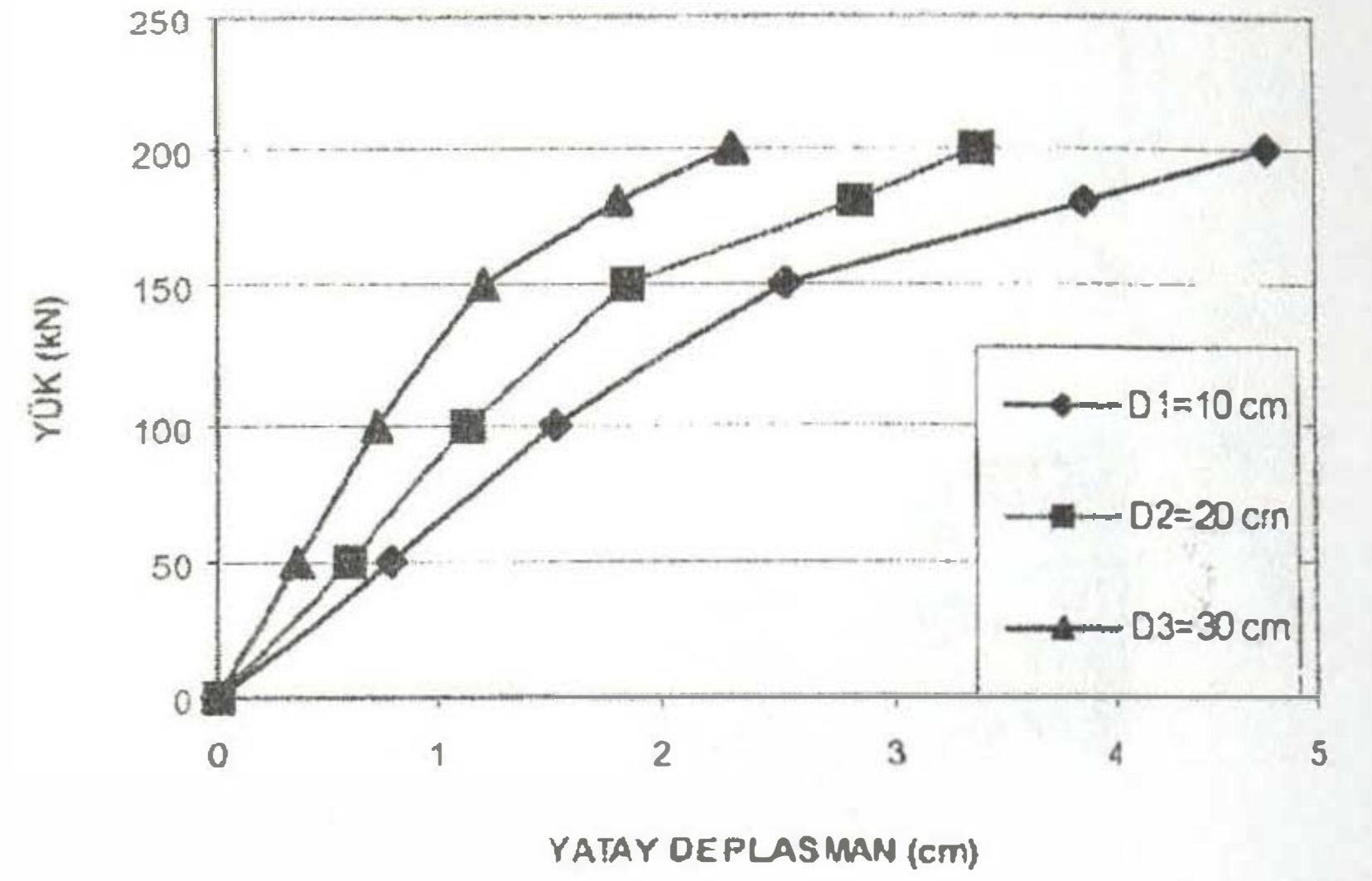
Şekil 11: Bağ kirişi kırılma davranışı ($D_3=30$ cm)

IV. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deney ölçüm düzeneğinde yer alan 6 farklı noktadaki yük-deplasman değişimleri incelenmiştir. Boşluklu perde modelleri aynı mesnet şartları altında incelenmiştir. Mesnetler mafsallaşma anına kadar ankastrelilik özelliğini korumuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu üst kat bağ kirişi yükseklikleri $D=10$, 20 ve 30 cm olarak modellenen boşluklu perde duvarlar için elde edilen yatay yük-yatay deplasmanların değişimi Şekil 12-14' de gösterilmiştir.



Şekil 12: Yatay yük-yatay deplasman değişimi (Üst kat bağ kirişi yüksekliği $D_1=10$ cm)

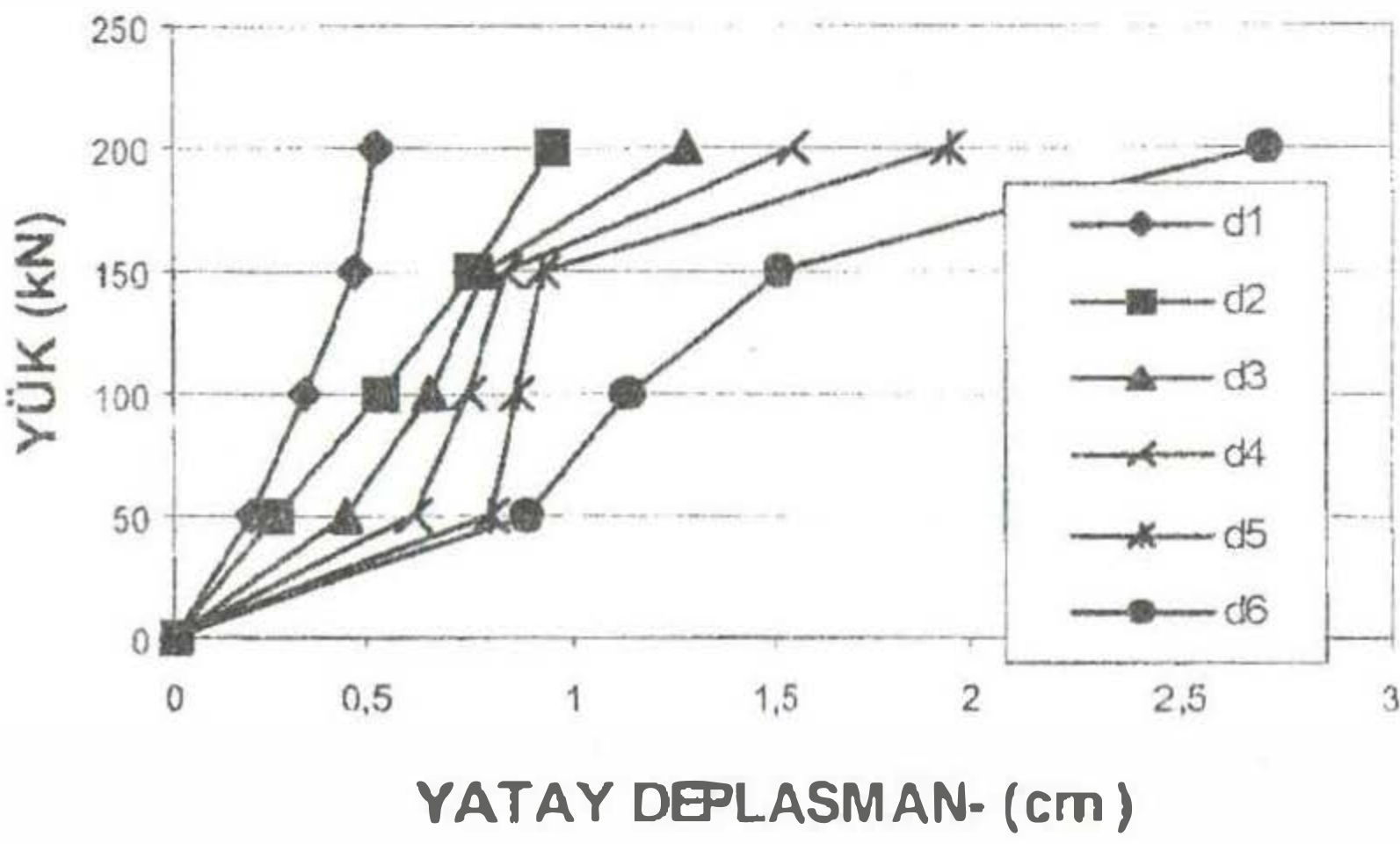


Şekil 15: 6 numaralı ölçüm noktasındaki yatay deplasman değerlerinin yüke bağlı değişimi

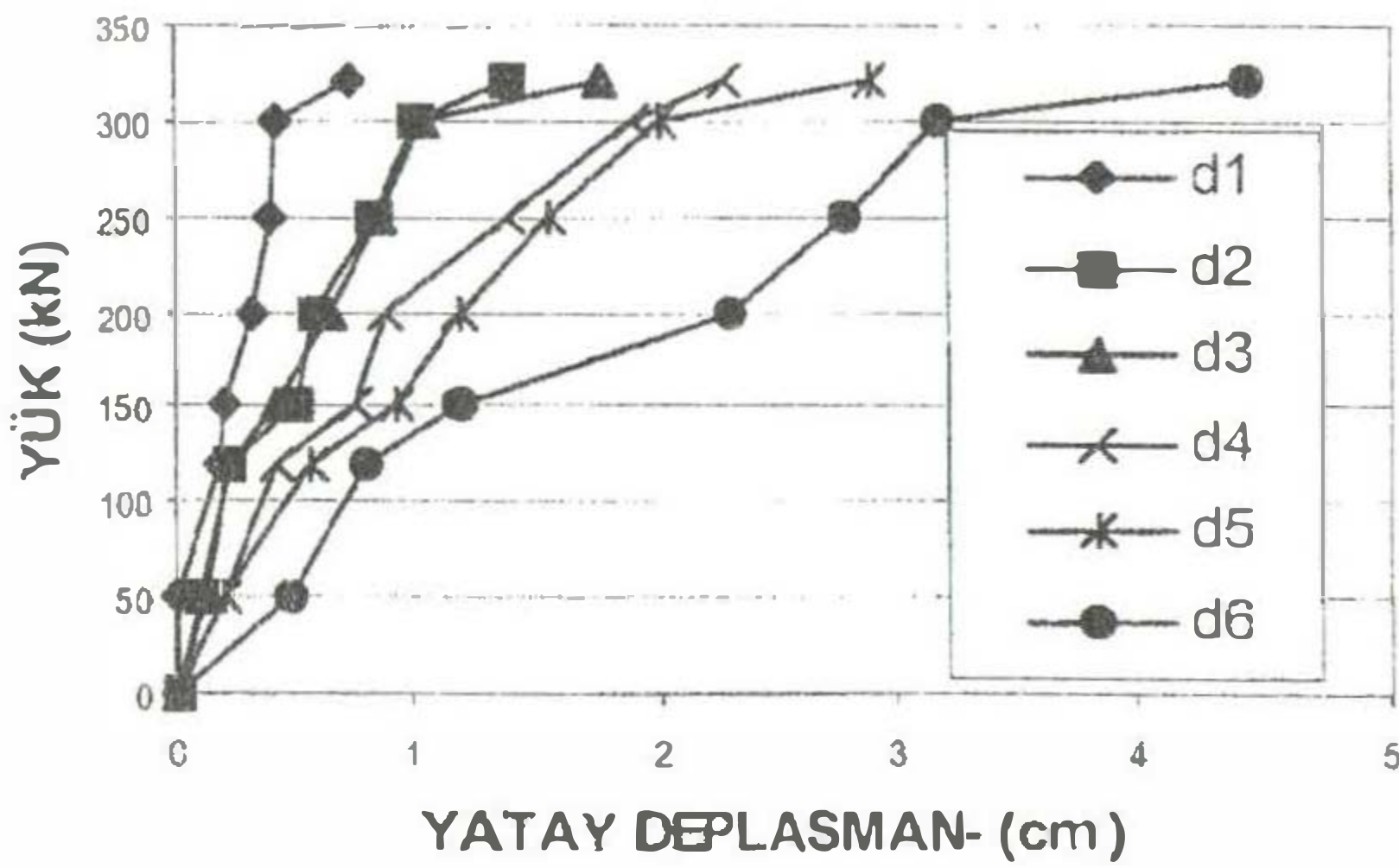
V. SONUÇLAR

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için yanal deplasmanların sınırlandırılması gerekmektedir. Bunun için binalarda mutlaka perde duvar kullanılmalıdır. Perde duvarlarda açılan büyük boşluklar veya iki perde duvarın bir birine bağlanması ile bağ kirişi perde sistemi ortaya çıkmaktadır. Bu sistemlerin sadece üst kat bağ kirişi yükseklikleri değiştirilerek yatay deplasmanları kontrol edilebilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. Üst kat bağ kirişi yüksekliği arttıkça, boşluklu perdenin yük taşıma kapasitesi de artmaktadır.
2. Boşluklu perdede göçme, bağ kirişi hasarı ile olmuştur (Şekil 9-11). Bunun sebebi, perdelerin daha güçlü donatılmış olmasıdır. Mafsallaşma öncelikle bağ kirişleri uçlarında meydana gelmiştir.
3. Bağ kirişi-Perde birleşim yerlerinde, kiriş uçlarında kesit büyütülmesi veya donatı ile ilgili detaylar yapılarak önlem alınması halinde, boşluklu perdenin yük taşıma kapasitesinin artırılacağı söylenebilir.
4. Modelin daha küçük tutulması kolaylıklar getirecektir. Ancak Gerçek sistemin temsil edilmesi için büyük modellerle çalışmak faydalıdır.
5. Deprem bölgelerinde yapılan çok katlı yapıların en üst katlarında, yüksek kiriş teşkil edilerek yatay yük taşıma kapasiteleri artırılabilir. Şekil 15' de görüleceği gibi üst kat bağ kirişi yüksekliği arttıkça sistemin yatay deplasman miktarı da önemli ölçüde azalmıştır.



Şekil 13: Yatay yük-yatay deplasman değişimi (Üst kat bağ kirişi yüksekliği $D_2=20$ cm)



Şekil 14: Yatay yük-yatay deplasman değişimi (Üst kat bağ kirişi yüksekliği $D_3=30$ cm)

Her üç model için ($D=10, 20$ ve 30 cm) 6 numaralı ölçüm noktasında oluşan yatay deplasmanların yüke bağlı değişimi Şekil 15' de verilmiştir.

KAYNAKLAR

1. KAPLAN, H., TAMA, Y.S., "Bağ Kirişi-Perde Sistemlerde Üst Kat Bağ Kirişi Yüksekliğinin Sistem Davranışına Etkileri", Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 1, Sayı:1, yıl-1995
2. KAPLAN, H., TAMA, Y.S., "Boşluklu Perdelerde Üst Kat Bağ Kirişi Boyutlarının Sistem Davranışına Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması", , Proje Numarası: 01/1994-MF.01/İNŞ.01, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Eylül-1996.
3. TS 138/Mart 1978 "Metalik Malzemeler İçin Çekme Deneyleri"
4. TS 708/Ekim 1985, "Beton Çelik Çubukları"
5. TS 802/Ocak 1985, "Beton Karışım Hesap Esasları"
6. TS 2871/Aralık 1977, "Taze Beton Kıvam Geneyi (Çökme Hunisi Metodu İle)"
7. TS 2940/Şubat 1978, "Taze betondan numune alma metodları"
8. TS 3068/Mart 1978, "Laboratuarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı".
9. TS 5930/Ağustos 1988, "Taze Beton -Kıvam Sınıflandırması".