

1999-00057



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

**BETONARME DOLGU İLE ONARILMIŞ
ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞI**

PROJE NO: İNTAG 537

İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu

Construction Technologies Research Grant Committee

YINCELİR

Betonarme dolgu ile onarılmış çerçeveler için mükemmel davranışlar gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, betonarme dolgu ile onarılmış çerçevelerin, çelik çerçevelere göre, deprem yükleri altında daha iyi davranış gösterdiğini göstermektedir.

Çerçeve davranışları, çerçeve dolgu ve dolgu kalınlığı ile çerçevelerin deprem yükleri altında davranışları arasında ilişki kurularak değerlendirilmiştir. Çerçeve dolgu kalınlığının, çerçevelerin deprem davranışları üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada çalığına İnc. Yük. Müh. Ömer Şenol (ODTÜ) ve İnc. Yük. Müh. Murat İnce (ODTÜ) katılmıştır. Çalışma, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Bilimi Anabilim Dalı'nda yapılmıştır.

BETONARME DOLGU İLE ONARILMIŞ ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞI

PROJE NO: İNTAG 537

Doç.Dr. Güney Özcebe

Prof.Dr. Uğur Ersoy

Prof.Dr. Tuğrul Tankut

AĞUSTOS, 1998

ANKARA

ÖNSÖZ

Betonarme dolgu ile onarılmış çerçevelerin deprem davranışının incelenmesi amacıyla yapılan bu araştırma, ODTÜ ve Boğaziçi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarlarında TÜBİTAK'ın desteği ile gerçekleştirilmiştir.

Projenin deneysel kısmı, her iki üniversitenin Laboratuvar teknisyenlerinin ve hizmetlilerinin özverili çalışmaları sayesinde başarı ile gerçekleştirilmiştir. Kendilerine teşekkürlerimizi sunarız.

Bu deneysel çalışma İnş.Yük.Müh. Onur Sonuvar (ODTÜ) ve İnş.Yük.Müh. Murat Türk'ün (Boğaziçi Üniversitesi) Doktora, İnş.Müh. Hakan Gürses'in Yüksek Lisans çalışmalarına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
Önsöz	i
Tablolar	iv
Şekiller	v
Semboller	vi
ÖZ	1
(ABSTRACT)	2
1. GİRİŞ	3
1.1 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	4
2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI ve AMACI	9
3. DENEYSEL PROGRAM	11
3.1 Deney Elemanları	11
3.2 Deney Düzenegi ve Yükleme	17
4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	21
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	29
5.1 Sonuçlar	29
5.2 Öneriler	30
6. KAYNAKLAR	31
7. EK-A	33
DENEY ELEMANLARININ YANAL YÜK ÖTELENME EĞRİLERİ	

BETONARME DOLGU İLE ONARILMIŞ DENEY
ELEMANLARININ, ÇATLAK HARİTALARI

TABLULAR

Sayfa

Tablo 1. Deney Elemanlarının Özellikleri

13

Tablo 2. Deney Elemanlarının Özellikleri

13

Tablo 3. Bağlantı Filizlerinin Özellikleri

15

Tablo 4. Deney Sonuçlarının Özeti

21

Tablo 5. Deney Elemanlarının Rijitlikleri

28

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1. Deney Elemanları	12
Şekil 2. Bağlantı Filizleri	14
Şekil 3. Hasır Donatısı	16
Şekil 4. Deney Düzeneği	18
Şekil 5. Elemana Uygulanan Yükler	18
Şekil 6. Tipik bir Çerçeve Yükleme	19
Şekil 7. Deplasman Ölçerlerin Yerleşimi	20
Şekil 8. Yanal Yük-Deplasman İlişkisi	22
Şekil 9. Bindirmeli Ek Uygulanmış veya Uygulanmamış Dolgulu Çerçeveler	24
Şekil 10. Bindirmeli Ek Uygulanmış ve Uygulanmamış Çerçevelerin Zarf Eğrileri	25
Şekil 11. Tüketilen Enerji-Deplasman Eğrileri	26
Şekil 12. Hasarlı ve Hasarsız Dolgulu Çerçevelerin Karşılaştırılması	26

SEMBOLLER

- ϕ :Donatı çapı
- f_{ck} :Beton karakteristik dayanımı
- f_{yk} :Donatı karakteristik dayanımı
- ρ_t :Kolon boyuna donatısı oranı
- N :Kolonlar üzerindeki aksenal yük
- F :Çerçeveye uygulanan yanal yük
- τ_{nom} :Nominal kesme gerilmesi
- V_{max} :Maksimum kesme kuvveti
- δ_2 :2. kat yanal deplasmanı
- δ_1 :1. kat yanal deplasmanı

ÖZ

Burada sonuçları verilen deneysel çalışmanın asıl amacı; çerçevedeki hasarın, dolgulu çerçeve davranışı üzerinde neden olduğu etkilerin incelenmesidir. Bu amaçla raporun hazırlandığı bu tarihe kadar, 8 adet bir-açıklıklı, iki-katlı betonarme çerçeve, depremi benzeştiren tersinen-tekrarlanan yükler altında belirgin bir hasar oluşuncaya kadar denenmiştir. Daha sonra bu çerçeveler yerinde döküm betonarme dolgular ile onarılıp güçlendirildikten sonra depremi benzeştiren yükler altında denenmiştir.

Birkaç eleman hariç, çerçeve elemanlarında yeterli sargı donatısı kullanılmamıştır. Ayrıca, elemanların detaylandırılmasında, deprem şartnamesinde belirtilen kriterler dikkate alınmamıştır. Gerçekte bu tip zayıflıklar, gerek Dinar, gerekse Erzincan depremlerinde oldukça yaygın olarak gözlemlenmiştir. Bu zayıflıklar kısaca; kolon-kiriş uç bölgelerinde sargı donatısında yeterli sıklaştırma uygulanmaması, kolon boyuna donatısındaki bindirme boyundaki yetersizlikler, kolon ve kiriş donatılarındaki detay veya uygulama hataları (kiriş alt donatısı, üst donatı gibi kolonun sonuna kadar sokulup 90° bükülmemiş, ucu kanca yapılarak bir miktar kolona sokulmuştur) ve kötü beton kalitesi olarak özetlenebilir.

Test edilen elemanların bir tanesinde, kolon boyuna donatısında bindirmeli ek bulunan bölge (yetersiz bindirme, 12 ϕ) çelik plakalar ile takviye edilmiş-mantolanmış, bunu takiben betonarme dolgu çerçeveye uygulanmıştır

Anahtar Kelimeler: Betonarme dolgu, takviye, onarım, güçlendirme.

ABSTRACT

The main objective of this experimental research was to investigate the effect of damage in the frame member on the behavior of the infilled frame. To this end, 8 one-bay, two-storey reinforced concrete frames were tested under reversed cyclic loading until considerable damage occurred. These frames were then repaired and strengthened by introducing cast-in-place reinforced concrete infills. Infilled frames were then tested under reversed cyclic loading simulating the seismic action.

With the exception of a few specimens, frame members were not confined at the ends and were not detailed properly in accordance with the requirements of seismic codes. In other words, majority of the test frames had the weaknesses observed in buildings after Dinar and Erzincan Earthquakes. These weaknesses were; lack of confinement, inadequate lapped splice length and poor concrete quality.

In one specimen, columns were jacketed with steel plates at the lapped splice zone, prior to introduction of the cast in place infill.

Keywords: Reinforced concrete infill, jacketing, repair, strengthening.

1. GİRİŞ

Ülkemizde, önemli deprem bölgelerindeki binaların birçoğu, orta şiddetteki bir deprem karşısında büyük oranda hasara uğrayacak, hatta göçecek durumdadır. Bunun nedeni, 1975 öncesinde yapılan binalarda yeterli yanal rijitlik, dayanım ve sünekliğin bulunmamasıdır. 1975'ten sonra yapılan binaların birçoğu da aynı zayıflıklara sahiptir, çünkü bu binaların tasarımlarında ve yapımlarında 1975 deprem yönetmeliği uygulanmamıştır. Tüm bu olumsuzluklara, konut ve işyeri türü yapıların büyük bir çoğunluğunun denetimsiz inşa edildiği eklenirse binalarımızın orta şiddetli bir depremde neden bu denli ağır hasar gördüğü kolayca anlaşılabilir.

Günümüz deprem şartnamelerindeki ana düşünce, yapıların, orta büyüklükte depremlerde ufak tefek yapısal hasarlar göstermesine; ender oluşan büyük depremlerde ise, göçmeye sebep olmayacak yapısal hasarlar göstermesine izin vermektir.

Ülkemizde, bu güne kadar tasarlanıp inşa edilmiş yapıların büyük çoğunluğu, büyük bir depreme karşı koyamayacak durumdadır. Bunun nedeni, yukarıda da bahsedildiği gibi, 75'e kadar yürürlükteki şartnamenin yetersizliği, 1975'ten sonra inşa edilen yapılarda şartnameye uyulmaması ve denetimsizliktir. Yapılarımızdaki en önemli ortak sorunlar, yetersiz yanal rijitlik ve yetersiz sünekliktir. 1992 Erzincan, 1995 Dinar ve son olarak da 1998 Ceyhan depremleri varolan bu problemleri bir kere daha göz önüne sermiştir.

Dünyada birçok ülkede, yapıların deprem altındaki davranışlarını iyileştirmek amacıyla onarım ve güçlendirme projeleri uygulanmaktadır. Bu çalışmaların amacı yapıların dayanımını, sünekliğini ve yatay rijitliğini arttırmaktır. Bu durumda iki seçenek vardır:

- Yapı yeterli bir yatay rijitliğe sahipse ve onarılması gereken eleman sayısı sınırlı ise, elemanların (kiriş, kolon) tek tek onarımı uygun olabilir. Fakat deprem bölgelerindeki gözlemlerden anlaşıldığı üzere ülkemizdeki durum bu ilk seçeneğe pek uymamaktadır.
- Ülkemizde karşılaşılan durumda ise, çerçeve elemanlarının çok büyük bir çoğunluğunda süneklik sorunlarının olması yanında, yapılar yeterli yanal rijitliğe sahip değildir. İşte bu gibi durumlarda dolgu betonarme duvarlar sorunla ilgili en

etkili çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu betonarme dolgular yerinde döküm veya öndöküm paneller şeklinde olabilir. Deprem altında gerekli davranışın elde edilebilmesi için, dolgunun ve çerçevenin birbiri ile çok iyi kaynaşmış olması gerekir. O zaman elde edilen yeni sistem, tek döküm bir eleman gibi, diğer bir deyişle, perde duvar gibi çalışacaktır. Bu bütünlüğü sağlamak için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. (1)

Burada önemli bir noktayı göz ardı etmemek gerekir. Dolgulu çerçeveler perde duvar gibi davranacağı için yapının yatay rijitliği önemli oranda artacak ve yatay deprem kuvvetlerinin tamamı veya tamamına yakını bu elemanlarca karşılanacaktır. Bu nedenle dolguların, düzenli ve simetrik olarak uygulanmaması durumunda; burulma gibi çok önemli problemler ortaya çıkacaktır. Ayrıca rijitliğin artması ile yapıya etkileyen eylemsizlik kuvvetlerinin artması da olasıdır.

Betonarme dolgular ile güçlendirme uygulaması ülkemizde sıkça kullanıldığı için, yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, pratik açıdan büyük önem taşımaktadır.

1.1 Konu ile İlgili Çalışmalar

Dolgulu çerçeveler konusunda gerek deneysel, gerekse teorik olarak önemli miktarda çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaktadır. Çalışmaların büyük bir çoğunluğu, dolgulu betonarme çerçevelerin, monotonik ve tersinen-tekrarlanan yükler altında gösterdiği davranış ve dayanım üzerinde odaklanmıştır. Bu çalışmalarda, donatı detayı, kolon boyuna donatı miktarı, kolon boyutları, çerçeve açıklıkları, eksenel yükler, çerçevelerin boyut oranları, çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı tipleri gibi birçok parametre göz önüne alınmıştır.

1957 yılında Benjamin ve Williams (5), 40 adet 1-katlı, 1-açıklıklı dolgulu betonarme çerçeveyi yanal yükler altında test etmiştir. Bu çalışmada, dolgudaki donatı detayı, duvarların geometrisi ve kolonlardaki donatı miktarı ana değişkenler olarak incelenmiştir. Bu çalışmadan çıkan sonuçlara göre aynı miktarda donatı kullanılması durumunda, karesel dolgu donatısının en iyi davranışı sağladığı görülmektedir. Bunun yanında; artan kolon boyuna donatısının,

dolgulu elemanın performansını iyileştirdiği, kolon boyutlarının ise fazla etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.

Hayashi, Niwa ve Fukuhara⁽⁶⁾, 5 adet 1-kat, 1-açıklıklı betonarme dolgulu çerçeveleri test etmiştir. Elemanlardan ilk ikisi, rijit boş çerçeve ile birlikte dökülmüş dolgulu elemanlardır. Diğer elemanlar ise değişik bağlantı tipleri uygulanarak dökülmüş dolgu duvarlar ve boş çerçevelerden meydana gelmiştir. Elemanlar aksenel yük sabit tutularak, tersinen-tekrarlanan yükler altında denenmiştir. İlk iki çerçevenin göçme şekli kesme kırılması şeklinde olmuştur. Dolgu ve çerçeve arasında, beton kesme kilitleri ile sağlanan bağlantılar zayıf bir davranış sergilemiştir. Değişik şekillerde çerçeveye tutturulan filizler ile sağlanan dolgu-çerçeve bağlantılarının oldukça iyi davrandıkları gözlenmiştir.

Jirsa⁽⁷⁾ betonarme yapıların güçlendirilmesi çalışmalarında kullanılan, epoksi'li harç kullanılarak ekilmiş filizlerin ve civataların davranışları konusunda bir makale yayımlamıştır. Bu makalede farklı deney programları ve sonuçları kısaca özetlenmiştir. Makalede ele alınan 5 deney programında;

- Değişik metodlar kullanılarak temizlenmiş deliklere, epoksi'li harç kullanılarak ekilmiş filizler üzerindeki çekme deneyleri,
- Aynı elemanlar üzerindeki kesme deneyleri,
- Epoksi'li harç kullanılarak ekilmiş civatalar vasıtasıyla betona monte edilmiş çelik elemanlar üzerindeki deneyler,
- Kolon boyutlarının artırılması veya çelik mantolar ve epoksi'li harç kullanılarak ekilmiş filizler vasıtasıyla elde edilmiş, 2/3 oranında, 2-kat 2-açıklıklı çerçeveler üzerindeki deneyler,
- Epoksi'li harçla ekilmiş filizlerin kullanıldığı dolgulu çerçeveler üzerindeki deneyler.

Bu deneyler sonucunda epoksi'li harçla ekilmiş filizlerin ve dişli civataların; dolgu ve çerçeve arasında bağ konusunda; etkili, güvenilir ve pratik bir çözüm oluşturduğu anlaşılmıştır. Bu filizlerden ve civatalardan randıman alabilmek için, yerleştirilecekleri

deliklerin özellikle tozdan iyice temizlenmiş olmasına dikkat edilmesi gerekliliği anlaşılmıştır.

1993 yılında Valluvan, Kreger ve Jirsa, kolon boyuna donatısındaki bindirmeli eklerin yetersiz olması nedeniyle sünek olmayan betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi konusunda yaptıkları deneylerin sonuçlarını yayımlamışlardır ⁽⁸⁾. Gerçekten de, varolan betonarme çerçevelerin en zayıf olduğu noktalardan biri, sadece eksenel basınca göre tasarlanmış kolonların çekme kuvvetleri altında gerekli dayanıma ve sünekliğe sahip olmamasıdır. Çünkü, deprem dikkate alınmadan yapılan detaylandırmada kolon boyuna donatısındaki bindirmeli ekler gerektiğinden kısadır ve çoğunlukla bu bindirme, kolonların alt uç bölgelerinde uygulanmaktadır. Bunlara ilaveten, bu bölgede yeterli etriye sıklaştırması da uygulanmamaktadır. Bu tipteki yapılara uygulanacak güçlendirme çalışmalarında, yüksek deformasyon kapasitesine ulaşabilmek için, eksenel çekme kuvvetlerine maruz kalabilecek kolonlardaki bindirme bölgelerine özel güçlendirme metodları uygulanmalıdır. Bu deneysel çalışmadaki asıl amaç, kolon bindirme bölgelerinde uygulanacak değişik güçlendirme yöntemlerinin geçerliliğini incelemektir. Bu amaçla 4 farklı güçlendirme tekniği üzerinde çalışılmıştır.

- Bindirme bölgesindeki boyuna donatıların birbirine kaynaklanması,
- Kolon köşelerine köşebentlerin yerleştirilip, bu köşebentlerin çelik elemanlarla birbirine bağlanması,
- Yetersiz bindirme uygulanmış bölgenin dıştan uygulanmış bağ çubukları ile sargılanması,
- Gene aynı bölgedeki kabuk betonun kırılarak ilave sargı donatısı uygulanması.

Deney sonuçlarına göre, bindirme bölgesinde birbirine kaynaklanmış donatıların, tersinen-tekrarlanan yükler altında tatmin edici bir şekilde davrandığı görülmüştür. Bu metod, kolon boyutlarının değişmediği durumlarda oldukça iyi bir çözüm olarak görülmektedir. Fakat bu noktada kaynak işlemleri sırasında çok dikkatli olunması gerektiği unutulmamalıdır. Bindirme bölgesinin dış bağ çubukları ile sargılanmasının eleman performansını artırdığı görülmüştür. Kabuk betonun kaldırılması ile uygulanmış iç sargıların ise yeterince etkili olmadığı gözlemlenmiştir.

Konu ile ilgili olarak ODTÜ'deki ilk deneysel çalışma⁽²⁾ 1970 yılında yapılmıştır. Bu deneylerde 1-katlı ve 1-açıklıklı dolgulu çerçeveler yatay yükler altında test edilmiştir. Bu testlerin ana amacı, 1970 Bartın depreminden sonra betonarme dolgular ile güçlendirilmiş çerçevelerin gerekli dayanıma kavuşup kavuşmadığını incelemektir.

Daha sonraki yıllarda, ODTÜ grubu, çerçeveli yapıların sismik güçlendirmeleri amacıyla, yerinde döküm betonarme dolguları oldukça yaygın bir şekilde kullanmıştır.⁽³⁾

1988 yılında, ODTÜ'de betonarme dolgulu çerçevelerin davranışları ile ilgili yeni bir deneysel çalışma başlatılmıştır. Bu projede, dolgunun çerçeveye olan bağlantısı ile ilgili birçok farklı teknik denenmiştir.⁽⁴⁾ 14 adet 1-açıklıklı, 2-katlı betonarme dolgu ile güçlendirilmiş çerçeve, depremi benzeştiren tersinen-tekrarlanan yükler altında denenmiştir. Bu deneylerde araştırılan ana değişkenler şöyle sıralanabilir:

- Çerçeve ve dolgu arasındaki bağlantı,
- Kolon dayanımının önemi,
- Kolon eksenel yük etkisi.

Bu araştırma programında kullanılan çerçevenin elemanları, 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak tasarlanmıştır. Buna ek olarak, dolgu duvarlar herhangi bir ön hasara uğratılmamış çerçeveler üzerine uygulanmıştır.

Bu çalışmalarda anlaşıldığı üzere, dolgu duvarların çerçeveye olan bağlantısını sağlayan en başarılı teknik, dolgudan önce çerçeve elemanlarına (kolon ve kirişler) açılan deliklere epoksi'li harçla filizlerin ekilmesi şeklindedir. Bu uygulama esnasındaki en önemli husus, işçilik kalitesidir. Filizler yerleştirilmeden deliklerin içi tamamen temizlenmeli, epoksi'li harç bundan sonra uygulanmalıdır. Ayrıca deliklerin konumuna göre, uygulanan epoksi de dışarıya bir sızma varsa bu konuda önlem alınmalıdır.

Başarılı bir betonarme dolgu, hem yapının dayanımını, hem de yanal rijitliğini önemli ölçüde arttırmaktadır.

Gene aynı çalışmada, arttırılan kolon boyuna donatısının, dolgulu çerçeve davranışını iyileştirdiği gözlenmiştir.

Bunların dışında kolonlar üzerine aksenal yük uygulanması, dolgulu çerçeve davranışını iyi yönde etkilemektedir.

Bütün bu çalışmaların ışığında, Dinar depremi sonrasında, hasara uğrayan binaların tamiri için, betonarme dolgulu çerçeveler kullanılmıştır.

2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI VE AMACI

Erzincan, Dinar ve Ceyhan depremlerinde görüldüğü gibi, hasara uğramış çerçeveli yapıların büyük bir çoğunluğunda 3 tür zayıflık (detay veya yerinde uygulama hatası şeklinde) vardır.

- Çerçeve sistemleri yeterli yatay rijitliğe sahip değildir,
- Kullanılan betonun kalitesi kötüdür,
- Çerçeve elemanları gerekli şekilde detaylandırılmamıştır. Kiriş ve kolonların uç bölgelerinde gerekli etriye sıklaştırılması yapılmamıştır. Buna ek olarak, kolon boyuna donatısında uygulanmış olan bindirme boyları yetersizdir. Bu bindirmelerin kat hizalarında (kolonlardaki muhtemel mafsallaşmaların oluşacağı bölgede) olması durumu daha da kritik yapmaktadır.

Dinar depremi sonrası, ODTÜ grubu, onarımlar esnasında eldeki test sonuçlarından yararlanırken bir takım kuşku duymuştur. Çünkü yapılmış deneylerdeki elemanların aksine, onarılabacak yapılardaki;

- Çerçeve elemanlarında ön hasar mevcuttur,
- Elemanlar şartnamelere göre detaylandırılmamıştır,
- Yeterli sargı donatısı kullanılmamıştır,
- Kullanılan beton genelde kötüdür,
- Bindirmeli ekler genelde yetersizdir.

Bu deneysel araştırma programının asıl amacı, hasara uğramış çerçevelere uygulanan betonarme dolgularla elde edilmiş elemanların davranışını gözlemlemektir. Bu amaç doğrultusunda üretilen çerçeveler, Dinar ve Erzincan'daki binaların genelde 'sahip olduğu zayıflıkları içermektedir. Betonarme dolgular, tek bir eleman dışında, depremi benzeştiren yükler altında hasara uğratılmış çerçevelere uygulanmıştır.

Elemanların bazılarında, kolon boyuna donatısı 2 kat boyunca kesintisiz devam ettirilmiştir (bindirme yok), bazı elemanlarda ise bindirme (kat hizalarında) uygulanmıştır.

Bindirme boyu, kolon boyuna donatısının çapının 12 ila 40 katı arasında değişmektedir. Elemanların bir tanesinde (elemanın kat hizasındaki bindirme boyu= $12\phi\approx 100$ mm), dolgunun uygulanmasında önce, kolonun bindirmeli ek bulunan bölgesine çelik plakalar ve epoksi'li harç kullanılarak takviye uygulanmıştır.

İnşaatın bitiminde yapı tamamlandıktan sonra, yapıda meydana gelen çatlakların tespiti için yapıya boyalı çatlak izleme ağı uygulanmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır.

Yapı tamamlandıktan sonra, yapıda meydana gelen çatlakların tespiti için yapıya boyalı çatlak izleme ağı uygulanmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır.

Yapı tamamlandıktan sonra, yapıda meydana gelen çatlakların tespiti için yapıya boyalı çatlak izleme ağı uygulanmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır.

Yapı tamamlandıktan sonra, yapıda meydana gelen çatlakların tespiti için yapıya boyalı çatlak izleme ağı uygulanmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır.

Yapı tamamlandıktan sonra, yapıda meydana gelen çatlakların tespiti için yapıya boyalı çatlak izleme ağı uygulanmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır. Çatlak izleme ağı, yapıya boyalı çatlak izleme ağı olarak kullanılmıştır.

3. DENEYSEL PROGRAM

3.1 Deney Elemanları

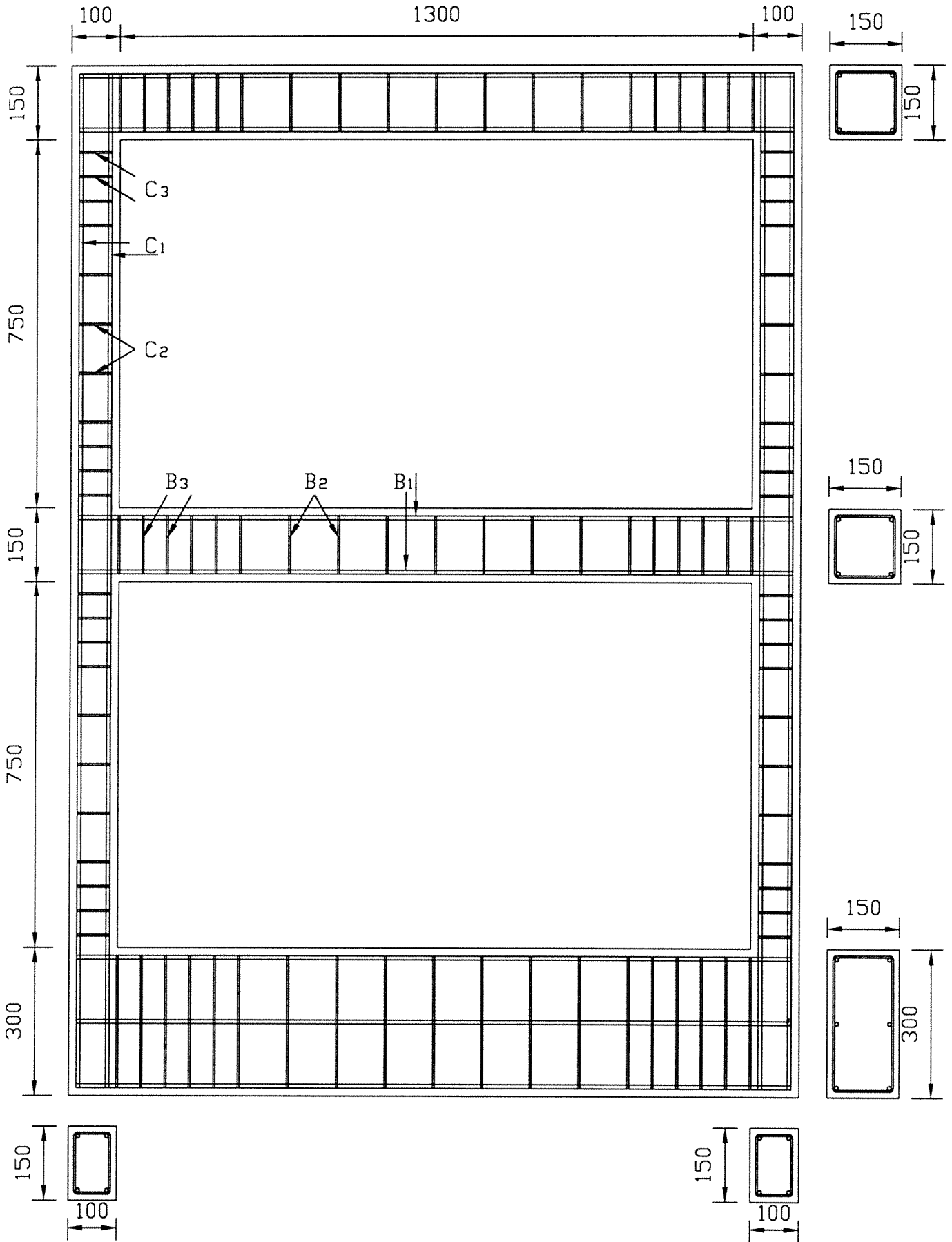
Deney çalışmaları esnasında, daha önce ODTÜ deneylerinde kullanılmış numuneler ile aynı geometrik boyutlara sahip ⁽⁴⁾, bir-açıklıklı, iki-katlı çerçeveler kullanılmıştır. Deney elemanları yaygın olarak kullanılan çerçeve boyutlarına göre, yaklaşık 1/3 ölçekli bir model olarak kabul edilebilir. Deneysel çalışmalarda kullanılan beton dolgunun kalınlığı 50 veya 60 mm'dir. Çalışmalar süresince kullanılan deney çerçevelerinin boyutları Şekil 1 de gösterilmiştir.

Her bir elemanın malzeme özellikleri, dolgu beton kalınlıkları ve donatı detayları, Tablo 1 de özetlenmiştir. Tek sayılarla belirtilmiş elemanlar boş çerçeveleri, takip eden çift sayılarla tanımlanmış elemanlar ise, hasara uğratılmış boş çerçevelerden elde edilmiş dolgulu çerçeveleri göstermektedir.

Daha önce bahsedildiği üzere, dolgunun çerçeveye olan bağlantısı, nervürlü filizlerin epoksi'li harçla çerçeveye tutturulması şeklinde olmuştur. Şekil 2 de bu filizlerin çerçeveye olan bağlantıları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Filizler için, $\phi 10$ 'luk nervürlü donatı kullanılmıştır. Tablo 3 te çerçeveye ekilen filizler ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Boş çerçeveler hasara uğratıldıktan sonra çerçevenin belirli noktalarına açılan deliklere, epoksi'li harç kullanılarak nervürlü filizler ekilmiştir. Bu işlemten sonra perde donatısı iki sıra halinde yerleştirilmiş ve dolgu betonu dökülmüştür. Dolguda kullanılan donatı, her iki yönde iki sıra halinde $\phi 6/150$ mm olarak düzenlenmiştir. Şekil 3 te dolgu betonu için kullanılan donatının yerleşimi görülmektedir.

Deney elemanlarından 2 tanesi (MT-A2 ve MT-A4) daha önceden ODTÜ'de yapılan deneylerde ⁽⁴⁾ kullanılan elemanlarla aynı özelliklere sahiptir. Ancak daha önceki deney serilerinde dolgular hasar görmemiş çerçevelere uygulanmışken, yeni deney dizisinde, dolgular hasara uğratılmış çerçevelere uygulanmıştır.



Not: Kiriş ve kolonlardaki C₁,C₂,C₃,B₁,B₂,B₃ değerleri için Tablo 2' ye bakınız.
Boyutlar "mm" cinsinden verilmiştir.

Şekil 1. Deneç Elemanları

Tablo 1. Deney Elemanlarının Özellikleri

Seri no	Eleman no (*)	Dolgu kalınlığı (mm)	Beton Dayanımı		Donatı Akma Dayanımı		
			f_{ck} Çerçeve (MPa)	f_{ck} Dolgu (MPa)	f_{yk} Kolon (MPa)	f_{yk} Kiriş (MPa)	f_{yk} Dolgu (MPa)
1	MT-A1	-	22.4	-	520	478	-
1	MT-A2	50	22.4	22.9	520	478	396
1	MT-A3	-	23.1	-	473	478	-
1	MT-A4	50	23.1	21.10	473	478	396
2	MT-A5	-	11.7	-	317	478	-
2	MT-A6	50	11.7	25.9	317	478	396
2	MT-A7	-	10.7	-	317	478	-
2	MT-A8	50	10.7	23.3	317	478	376
2	MT-A9	-	12.2	-	317	478	-
2	MT-A10	50	12.2	19.5	317	478	376
3	OS-B1	-	24.8	-	224	224	-
3	OS-B2	60	24.8	33.0	224	224	354
3	OS-B3	-	14.7	-	224	224	-
3	OS-B4	60	14.7	32.1	224	224	320
3	OS-B5	-	28.1	-	224	224	-
3	OS-B6	60	28.1	22.7	224	224	320

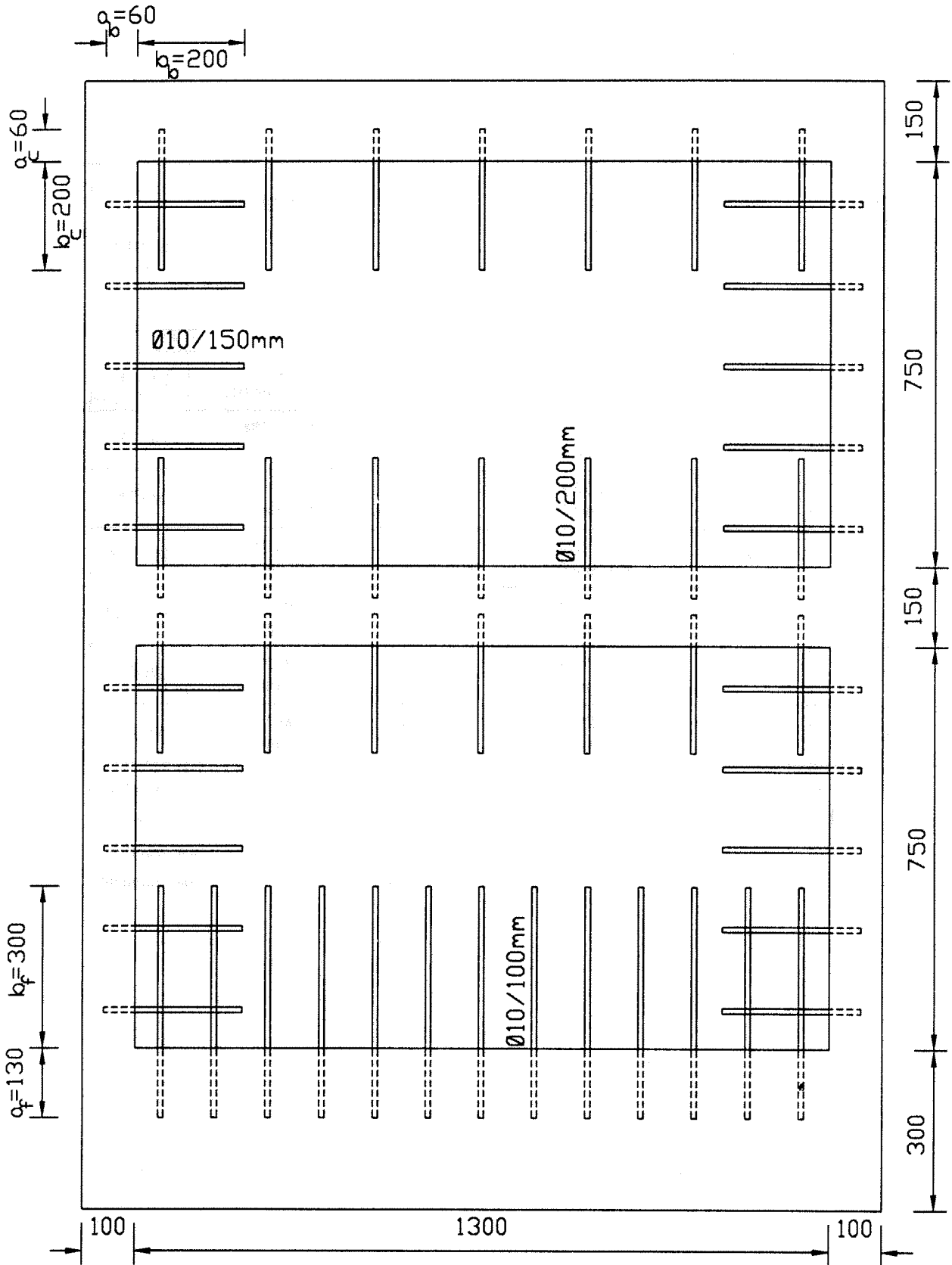
Tablo 2. Deney Elemanlarının Özellikleri

Seri no	Eleman no (*)	Donatı				
		Kolon Boyuna Donatısı <i>sayı-çap (mm)</i>	Kolon Boyuna Donatısı ρ_t	Kolon Etriyeleri <i>çap/mm (**)</i>	Kiriş Etriyeleri <i>çap/mm (**)</i>	Bindirme ve uzunluğu
1	MT-A1	8-10	0.042	$\phi 6/80(40)$	$\phi 4/80(40)$	bindirme yok
1	MT-A2	8-10	0.042	$\phi 6/80(40)$	$\phi 4/80(40)$	bindirme yok
1	MT-A3	4-14	0.041	$\phi 6/80(40)$	$\phi 4/80(40)$	bindirme yok
1	MT-A4	4-14	0.041	$\phi 6/80(40)$	$\phi 4/80(40)$	bindirme yok
2	MT-A5	4-8	0.013	$\phi 6/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	var, 40 ϕ
2	MT-A6	4-8	0.013	$\phi 6/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	var, 40 ϕ
2	MT-A7	4-8	0.013	$\phi 6/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	var, 15 ϕ
2	MT-A8	4-8	0.013	$\phi 6/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	var, 15 ϕ
2	MT-A9	4-8	0.013	$\phi 6/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	var, 40 ϕ
2	MT-A10	4-8	0.013	$\phi 6/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	var, 40 ϕ
3	OS-B1	4-8	0.013	$\phi 4/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	bindirme yok
3	OS-B2	4-8	0.013	$\phi 4/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	bindirme yok
3	OS-B3	4-8	0.013	$\phi 4/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	bindirme yok
3	OS-B4	4-8	0.013	$\phi 4/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	bindirme yok
3	OS-B5	4-8	0.013	$\phi 4/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	var, 12 ϕ
3	OS-B6	4-8	0.013	$\phi 4/100(100)$	$\phi 4/100(100)$	var, 12 ϕ

NOT : Seri 1 ve 2'de kiriş boyuna donatısı 4- $\phi 8$ üstte ve 4- $\phi 8$ altta. Seri 3'de ise kiriş boyuna donatısı, 3- $\phi 8$ üstte ve 3- $\phi 8$ altta. Bütün elemanların dolgusunda, herbir yönde ve her iki yüz için $\phi 6/150$ mm donatı kullanılmıştır.

(*) Tek numaralı elemanlar boş çerçeveleri, çift numaralı elemanlar ise dolgulu çerçeveleri göstermektedir.

(**) Parantez içinde verilen etriye aralıkları kolon uçlarında sıkılaştırma uygulanan bölgeler için geçerlidir (mm.).



OS-B6 Elemanı için Bağlantı Filizleri (Diğerleri için Tablo 3' e bakınız.)
Boyutlar "mm" cinsinden verilmiştir

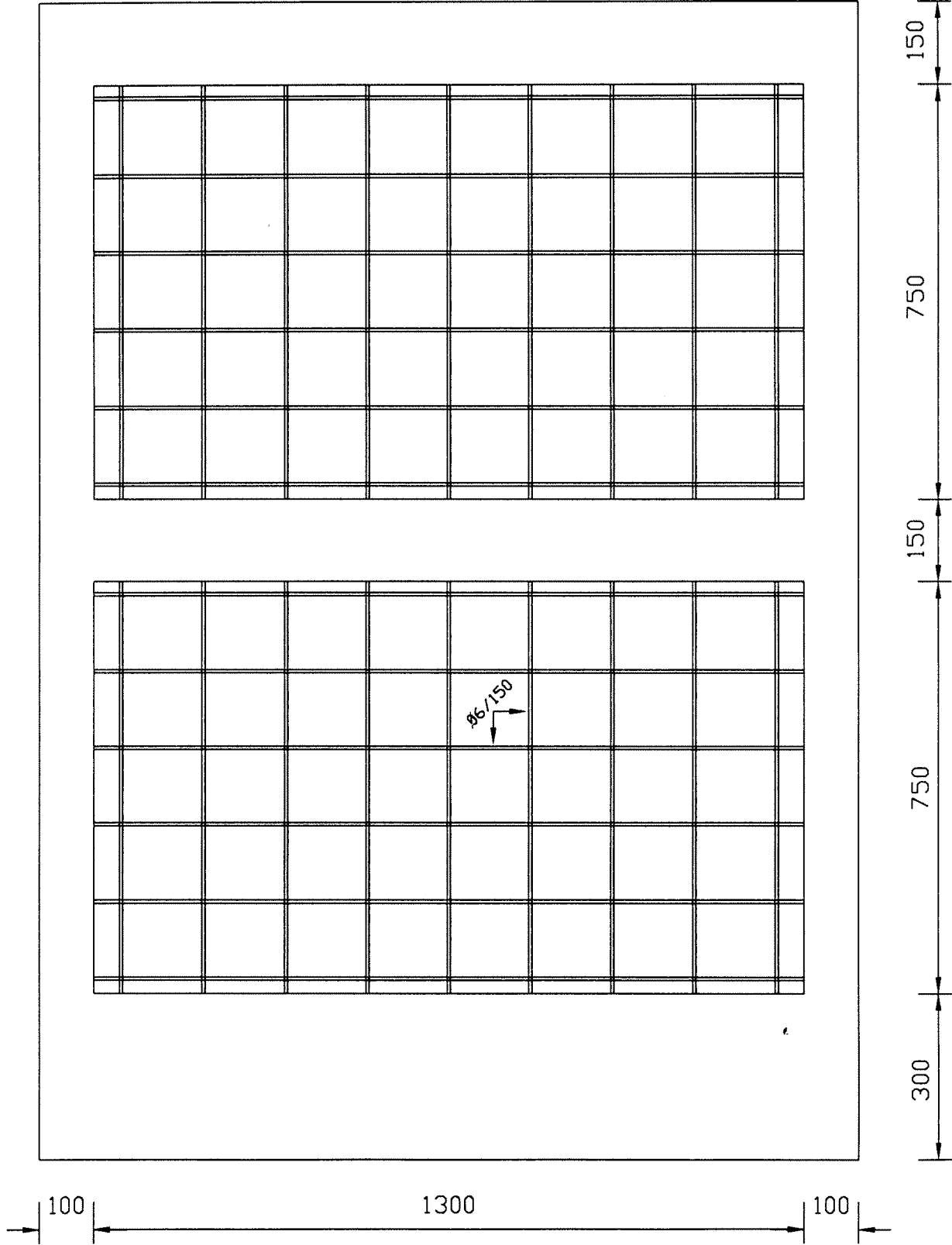
Şekil 2. Bağlantı Filizleri

Tablo 3. Bağlantı Filizlerinin Özellikleri

Seri no.	Eleman no	<u>Kirişlerdeki Filizler (*)</u> • Çap/Aralık(mm) • $b_b - a_b$ (**)	<u>Kolonlardaki Filizler (*)</u> • Çap/Aralık(mm) • $b_c - a_c$	<u>Temel girişindeki Filizler (*)</u> • Çap/Aralık(mm) • $b_f - a_f$	Akma Dayanımı Çerçeve filizleri (MPa)	Akma Dayanımı Temel filizleri (MPa)
1	MT-A2	$\phi 8/120$ 250 mm-15 ϕ	$\phi 8/120$ 250 mm-10 ϕ	$\phi 8/120$ 250 mm-19 ϕ	478	478
1	MT-A4	$\phi 8/120$ 250 mm-15 ϕ	$\phi 8/120$ 250 mm-10 ϕ	$\phi 8/120$ 250 mm-19 ϕ	478	478
2	MT-A6	$\phi 8/120$ 250 mm-15 ϕ	$\phi 8/120$ 250 mm-10 ϕ	$\phi 8/120$ 250 mm-19 ϕ	478	478
2	MT-A8	$\phi 8/120$ 250 mm-15 ϕ	$\phi 8/120$ 250 mm-10 ϕ	$\phi 12/120$ 250 mm-15 ϕ	478	478
2	MT-A10	$\phi 8/120$ 250 mm-15 ϕ	$\phi 8/120$ 250 mm-10 ϕ	$\phi 12/120$ 250 mm-15 ϕ	478	478
3	OS-B2	$\phi 10/200$ 200 mm-15 ϕ	$\phi 10/150$ 200 mm-6 ϕ	$\phi 10/100$ 300 mm-13 ϕ	400	400
3	OS-B4	$\phi 10/200$ 200 mm-15 ϕ	$\phi 10/150$ 200 mm-6 ϕ	$\phi 10/100$ 300 mm-13 ϕ	400	400
3	OS-B6	$\phi 10/200$ 200 mm-15 ϕ	$\phi 10/150$ 200 mm-6 ϕ	$\phi 10/100$ 300 mm-13 ϕ	400	400

(*) a ve b için Şekil 2'ye bakınız.

(**) Bütün elemanlarda, ikinci kat girişlerindeki filizlerin ankraj derinliği 120 mm. dir



Her yüzde, iki doğrultuda $\emptyset 6/150$ mm (Bütün Elemanlarda)

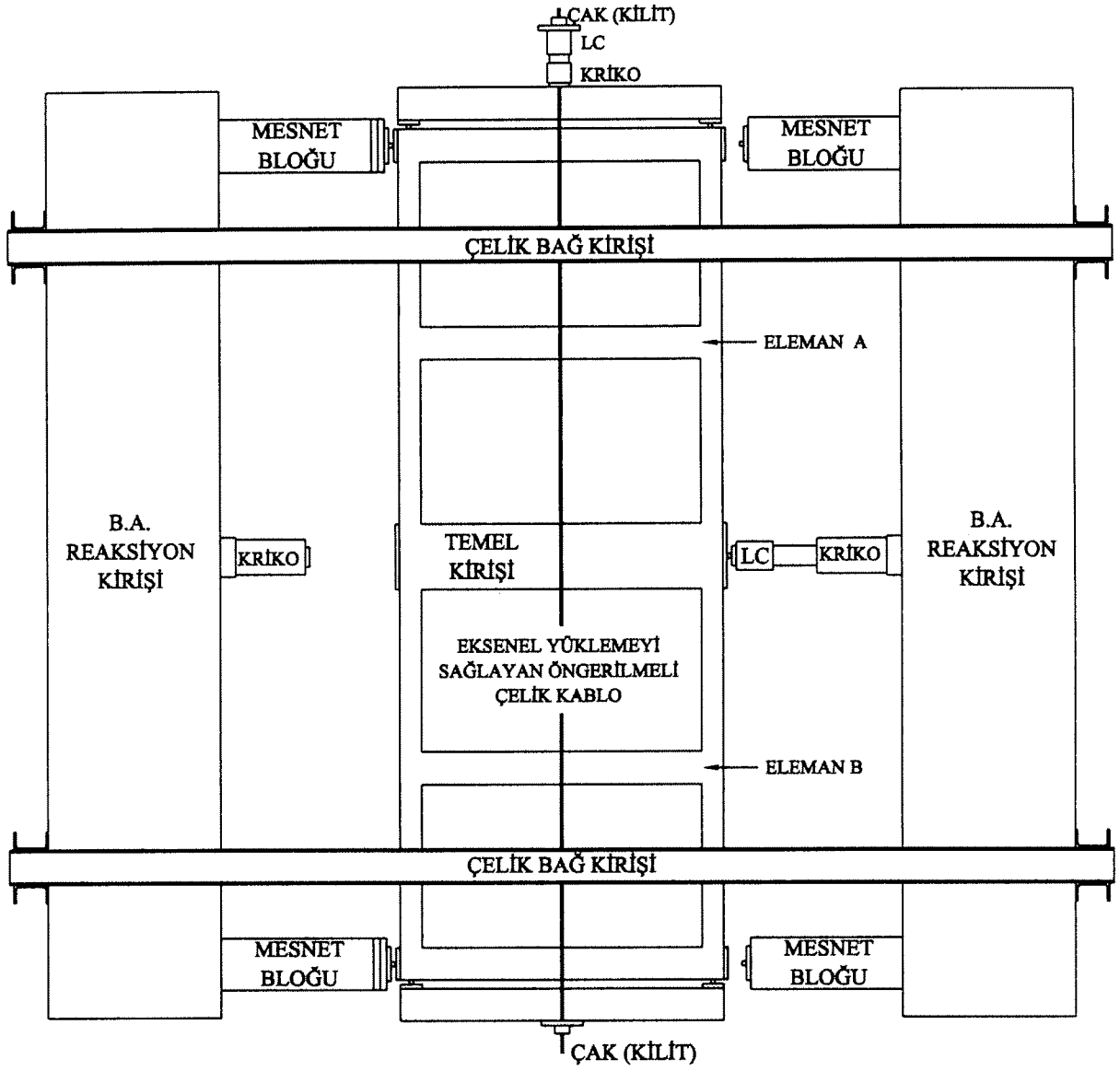
Şekil 3. Dolgu Duvar Donatısı

3.2 Deney Düzenegi ve Yükleme

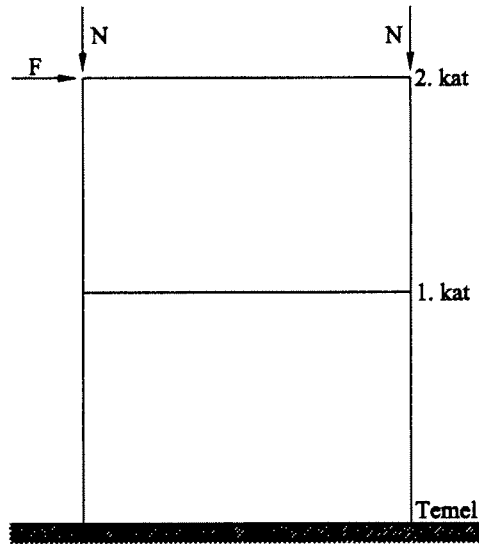
Her deney elemanı, birbirine ortak bir temel kiriş ile bağlanmış iki adet deney çerçevesinden oluşmuştur. Elemanların kür işlemleri tamamlandıktan sonra Şekil 4 de ayrıntılı olarak gösterilen deney düzenegine yerleştirilmişlerdir. Düzenekte, birbirine çelik profillerle bağlanmış iki adet büyük reaksiyon kirişi mevcuttur. Depremi benzeştiren tersinen-tekrarlanan yükler, ikiz elemanlara temel kirişi seviyesinden uygulanmakta ve reaksiyonlar her iki çerçevenin ikinci kat düzeyindeki yanal yükü oluşturmaktadır. Deneylere başlamadan önce, hidrolik kriko aracılığı ile öngerme verilmiş çelik kablolar kullanılarak kolonlara eksenel yük uygulanmış ve bu eksenel yük deney boyunca sabit tutulmuştur. Denenen ikiz elemanlardan bir tanesi üzerindeki yükleme, Şekil 5 de gösterilmiştir.

Elemanların düzenek içine yerleştirilmesinden sonra, deney esnasında gerekli okumaları almak üzere, eleman üzerinde belirlenmiş noktalara deplasman ölçerler (LVDT ve DG) monte edilmiştir. Deney boyunca sabit tutulan eksenel yükün uygulanmasından sonra, elemanlar tersinen-tekrarlanan yükler altında denenmiştir. Deneyler esnasında uygulanan tipik bir yanal yükleme programı, Şekil 6 da görülmektedir

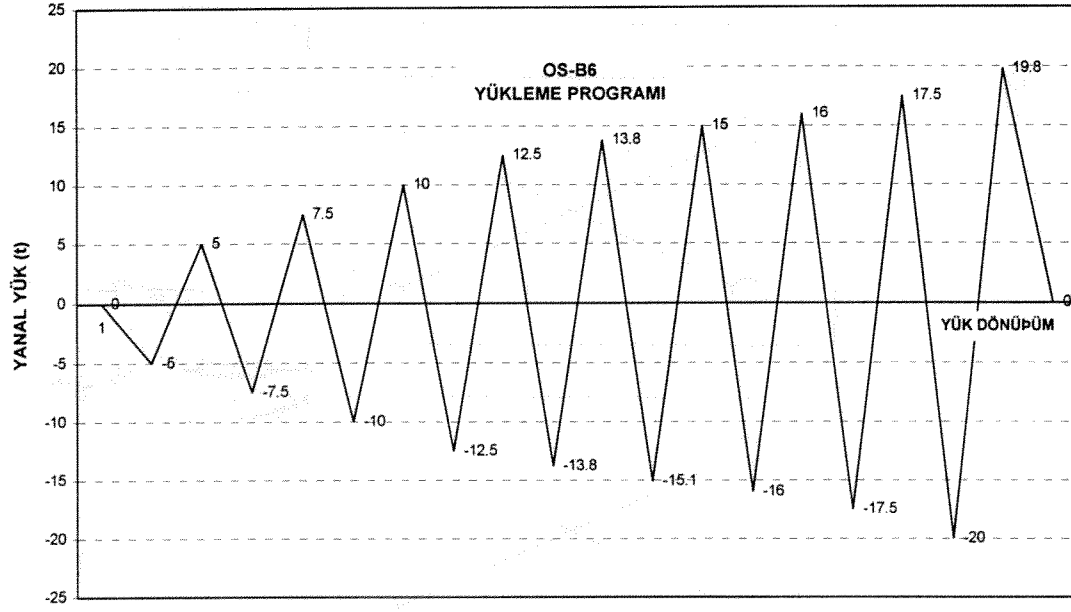
Deney esnasında, eleman üzerindeki deplasmanları, dönmeleri ve kesme deformasyonlarını ölçmek amacı ile kullanılan deformasyon ölçerlerin yerleşim planı, Şekil 7 de gösterilmiştir. Vericilerden ve yükleme hücrelerinden yollanan voltaj sinyalleri, veri toplama sistemi tarafından kaydedilmiş ve sisteme entegre edilmiş bir kişisel bilgisayar tarafından işlenmiştir.



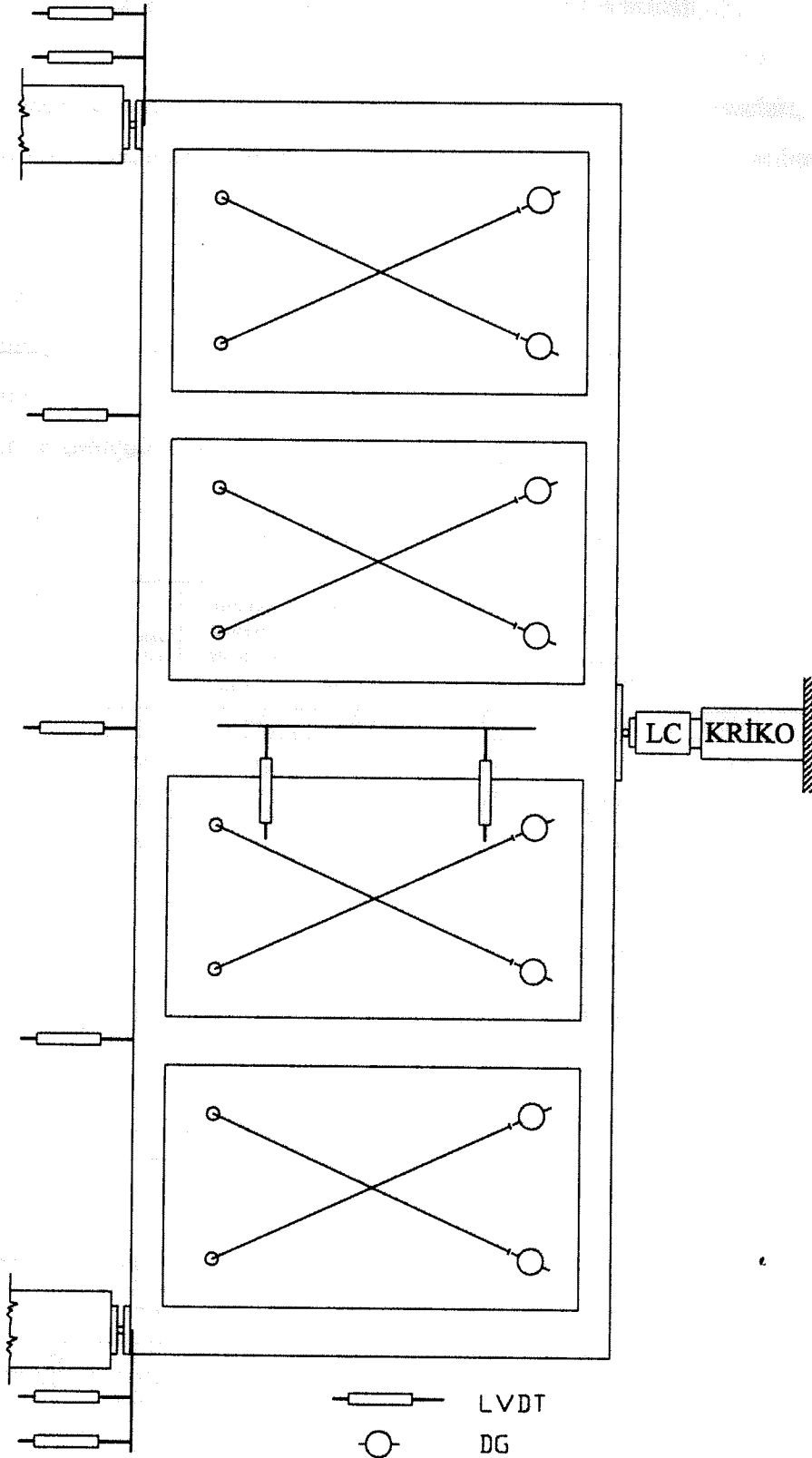
Şekil 4. Deney Düzenegi



Şekil 5. Elemena Uygulanan Yükler



Şekil 6. Tipik bir Çerçeve Yükleme Programı



Şekil 7. Deplasman Ölçerlerin Yerleşim Planı

4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Daha önce verilen ara raporlarda etraflıca anlatılan deneylerin sonuçları, Tablo 4. de detaylı olarak verilmektedir. Deney elemanların, yanal yük-ötelenme ilişkilerini gösteren eğriler EK-A'da, çatlak haritaları EK-B'de verilmiştir.

Burada birinci serideki iki dolgulu çerçeve (MT-A2 ve MT-A4) Türk Deprem Yönetmeliğine göre detaylandırılmış olduğundan, süneklik düzeyi yüksek çerçeve olarak kabul edilebilirler. Bu elemanlardaki kolon boyuna donatısında kat hizalarında bindirmeli ek yapılmamıştır ve kullanılan betonun dayanımı çok düşük değildir.

Tablo 4. Deney Sonuçlarının Özeti

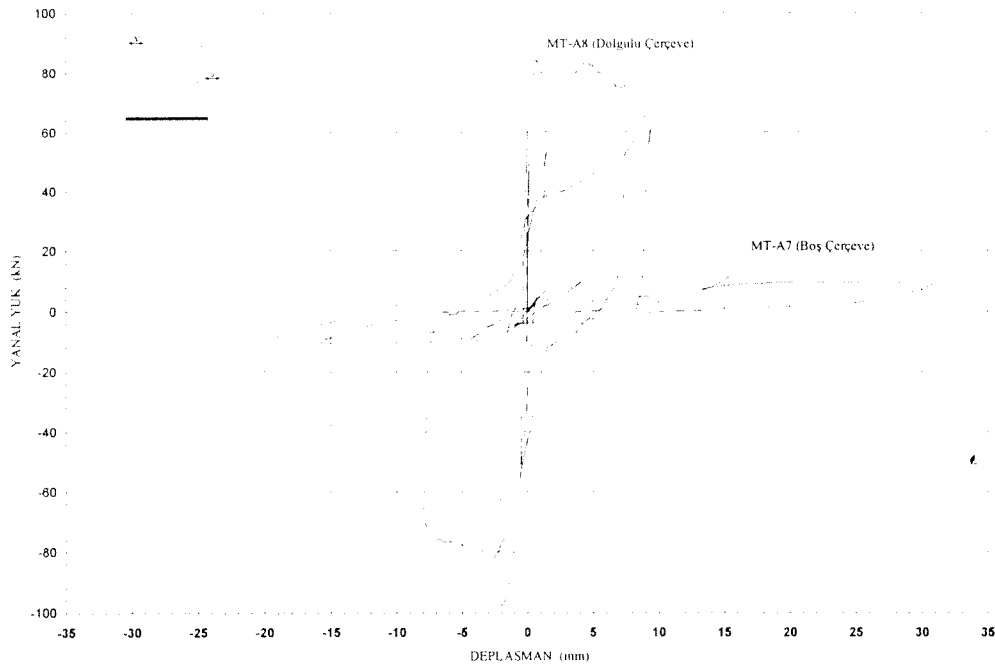
Seri no	Eleman no	Eksenel yük, her kolona (kN)	V_{max} (kN)	Nominal kesme dayanımı τ_{nom} (*)	Max. yükte 2.kat deplasmanı δ_2 (mm)	Max. yükte 1.kat deplasmanı δ_1 (mm)	2. kat görelî kat ötelenmesi $(\delta_2-\delta_1)/H_2$	1. kat görelî kat ötelenmesi $(\delta_1)/H_1$	Hasar düzeyi ve dolgulu çerçevenin göçme modu
1	MT-A1	146	33.3	$0.23 \sqrt{f_{ck}}$	49.0	25.3	0,0263	0.0306	Hafif hasar
1	MT-A2	146	286.4	$1.00 \sqrt{f_{ck}}$	16.5	7.4	0.010	0.0089	Eğilme ve kayma kesmesi
1	MT-A3	146	34.1	$0.23 \sqrt{f_{ck}}$	48.4	30.1	0.0203	0.0364	Ağır hasar
1	MT-A4	146	310.9	$1.10 \sqrt{f_{ck}}$	10.6	4.5	0.0067	0.0054	Eğilme ve kayma kesmesi
2	MT-A5	58	13.5	$0.13 \sqrt{f_{ck}}$	25.5	13.3	0.0134	0.0161	Ağır hasar
2	MT-A6	58	137.3	$0.45 \sqrt{f_{ck}}$	13.5	5.6	0.0087	0.0068	Eğilme ve filizlerin temel kırıştan sıyrılmaması
2	MT-A7	58	11.8	$0.12 \sqrt{f_{ck}}$	21.5	12.3	0.0102	0.0148	Ağır hasar
2	MT-A8	58	98.1	$0.33 \sqrt{f_{ck}}$	9.1	4.8	0.0047	0.0058	Eğilme ve filizlerin temel kırıştan sıyrılmaması
2	MT-A9	-	-	-	-	-	-	-	Hasar yok
2	MT-A10	100	180.4	$0.68 \sqrt{f_{ck}}$	8.1	4.5	0.004	0.0054	Eğilme ve filizlerin temel kırıştan sıyrılmaması
3	OS-B1	100	12.6	$0.17 \sqrt{f_{ck}}$	29.2	13.6	0.0173	0.0165	Ağır hasar
3	OS-B2	100	137.5	$0.33 \sqrt{f_{ck}}$	34.3	18.8	0.0172	0.0228	Erken filiz sıyrılmaması
3	OS-B3	100	12.2	$0.21 \sqrt{f_{ck}}$	14.1	8.9	0.0058	0.0108	Ağır hasar
3	OS-B4	100	153.5	$0.38 \sqrt{f_{ck}}$	16.1	10.0	0.0075	0.0121	Eğilme
3	OS-B5	100	12.5	$0.16 \sqrt{f_{ck}}$	14.7	8.2	0.0072	0.0099	Ağır Hasar
3	OS-B6	100	200.0	$0.58 \sqrt{f_{ck}}$	21.1	12.2	0.0099	0.0148	Eğilme ve kayma kesmesi

(*) $\tau_{nom} = V_{max} / (0.8 \times 1500 \times t)$

İkinci serideki elemanlarda, dolguların uygulandığı boş çerçeveler Türk deprem Yönetmeliğinde öngörülen süneklik düzeyi yüksek çerçeve koşullarını sağlamamaktadır. Bu serinin çerçevelerinde, elemanların uç bölgelerinde herhangi bir etriye sıklaştırmasına gidilmemiştir. Kullanılan betonun dayanımı da düşük olarak nitelenebilir. Kolon boyuna donatısında, kat hizasında bindirmeli ek yapılmıştır. Kolon boyuna donatısı, ilk serideki elemanların yaklaşık 1/3'ü oranındadır.

Üçüncü serideki çerçeveler, yönetmeliğin öngördüğü biçimde detaylandırılmamıştır. Bu nedenle bu elemanları sünek çerçeve olarak sınıflandırmak mümkün değildir. Bu serinin ilk iki boş çerçevesinde kolon boyuna donatısında bindirmeli ek bulunmamaktadır. Daha sonraki iki boş çerçevede ise kat hizalarında kolon boyuna donatısında bindirmeli ek yapılmıştır. Bindirme boyu olması gerekenden çok daha kısadır ($12\phi \cong 100$ mm).

Şekil 8 de MT-A8 dolgulu çerçevesi ile MT-A7 çıplak çerçevesinin yanal yük-ötelenme ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 8. Yanal Yük-Ötelenme İlişkisi

Şekilden anlaşılacağı gibi, hasara uğratılmış MT-A7 çerçevesinden elde edilen dolgulu MT-A8 çerçevesinin dayanımında ve rijitliğinde çok önemli miktarlarda artışlar görülmektedir.

Kolonlar üzerindeki aksenal yük miktarı çok fazla olmadığı için, kolon betonunun dayanımı, dolgulu çerçevenin kapasitesini ve davranışını çok fazla etkilememektedir.

Daha önceki ODTÜ deneylerinde (hasarsız çerçevelerden elde edilen dolgulu çerçeveler) elde edilen sonuçlara göre, kolon boyuna donatısının miktarı arttıkça dolgulu çerçevenin kapasitesi de artmaktadır ⁽⁴⁾. Benzer sonuç, hasarlı çerçevelerden elde edilmiş dolgulu çerçeveler için de geçerli görülmektedir. Bunun sebebi ise, kolon boyuna donatısının, dolgu donatısına göre çok daha büyük bir moment koluna sahip olmasıdır. Buradan çıkan sonuç, kolon boyuna donatısının dolgulu çerçeve kapasitesi üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olduğu yönündedir.

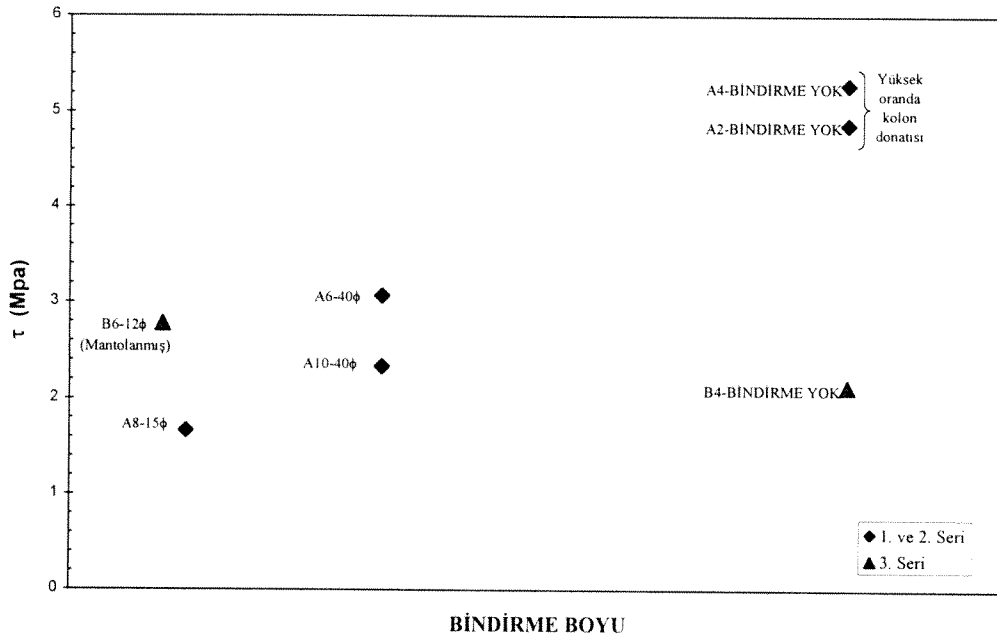
İkinci seri deney sonuçlarından anlaşılacağı üzere, kat seviyesinde uygulanan bindirmelerdeki yetersiz boy, çerçeve kapasitesini önemli oranda azaltmaktadır. Bunun nedeni, kolon boyuna donatısı akma dayanımına ulaşmadan, yetersiz bindirmeden kaynaklanarak, donatı ve beton arasındaki aderansın kaybolması olarak gösterilebilir.

OS-B6 dolgulu çerçeve elemanı detaylandırılırken, yetersiz bindirme boyundan kaynaklanan bu kapasite kaybını önlemek amacıyla, dolgudan önce kolon uç bölgeleri çelik plakalar ve epoksi'li harç kullanılarak takviye edilmiştir. Takviyenin uygulanacağı bölgede elemanın kabuk betonu kırılmış ve bu bölge çepçevre 4mm kalınlığında çelik plakalar ile sarmalanmıştır. Plakalar kaynak yapıldıktan sonra, plakalar arası epoksi'li harç ile doldurulmuştur. Takviyenin boyu bindirme boyunun 1.5 katı olarak seçilmiştir ($\cong 150\text{mm}$). Bu işlemi takiben, betonarme dolgu uygulanmış ve OS-B6 elemanı elde edilmiştir.

Şekil 9 da değişik bindirme boyuna sahip elemanların dayanımları karşılaştırılmaktadır. Şekilden, kolon boyuna donatısında, kat seviyesinde uygulanan yetersiz bindirmenin neden olduğu güç kaybı, gayet net bir şekilde görülmektedir. Diğer taraftan, dolgudan önce uygulanmış yerel güçlendirmelerin (OS-B6 elemanı), dolgulu çerçeve

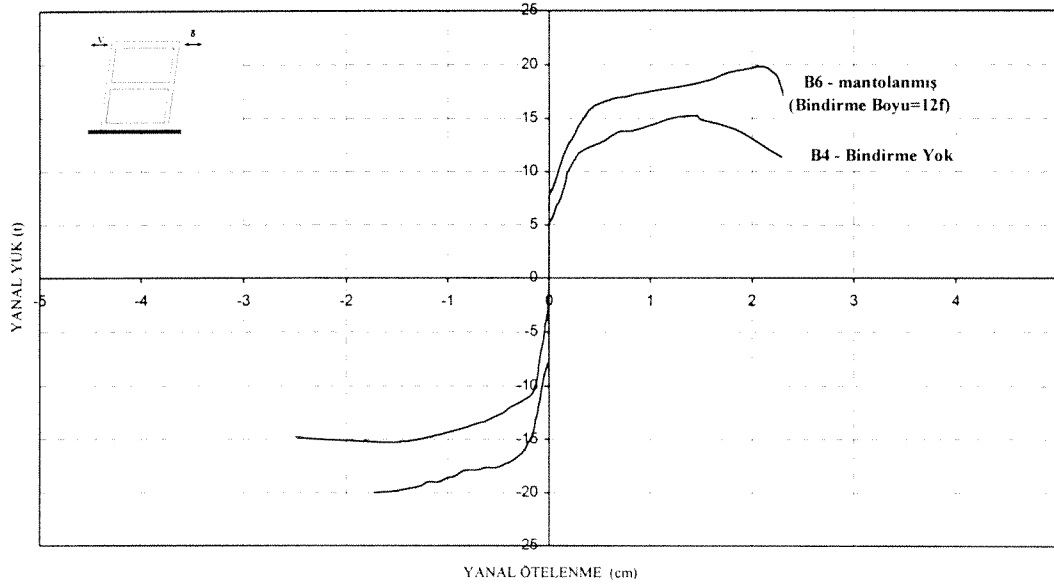
davranışını önemli oranda iyileştirdiğini gözlemlenmektedir. Öyle ki, yetersiz bindirme uygulanmış OS-B6 elemanı, tamamen aynı özelliklere sahip ve bindirme uygulanmamış OS-B4 elemanından çok daha iyi bir davranış göstermiştir. Bu gerçekten cesaretlendirici bir sonuçtur. Nitekim şu anda imalatı devam etmekte olan OS-B10* elemanında, bu sonuçtan yola çıkarak, farklı bir yerel güçlendirme tekniği uygulanmaktadır.

OS-B4 (bindirme yok) ve OS-B6 (bindirme boyu 12ϕ , fakat yerel güçlendirme uygulanmış) elemanlarının yük-ötelenme zarf eğrileri Şekil 10 da verilmiştir. OS-B6 elemanı oldukça yetersiz bir bindirme boyuna sahip olduğu halde, OS-B4 elemanına göre çok daha iyi bir davranış sergilemektedir. Bu sonuç, uygulanan yerel güçlendirmelerin etkisini çok iyi bir şekilde göstermektedir.



Şekil 9. Bindirmeli Ek Uygulanmış veya Uygulanmamış Dolgulu Çerçevesel

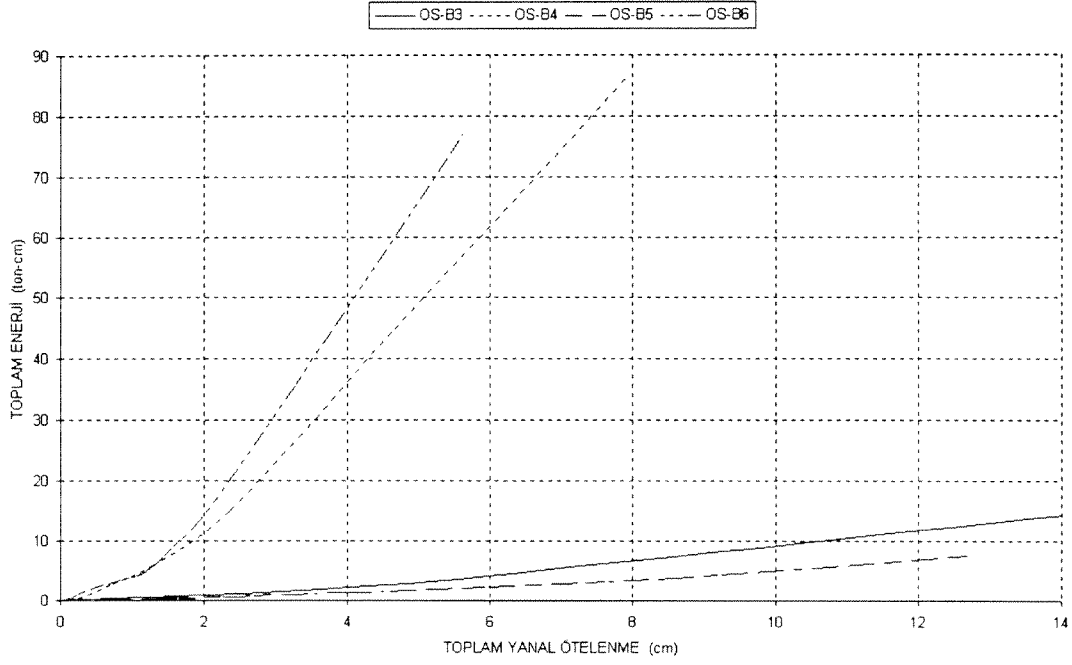
* OS-B10 elemanı TÜBİTAK'a önerilen çalışma programında yer almamaktadır. Projenin ilerleyen aşamalarında yapılması gerekli görülmüştür. Bu kapsamda fazladan 4 deney yapılacaktır.



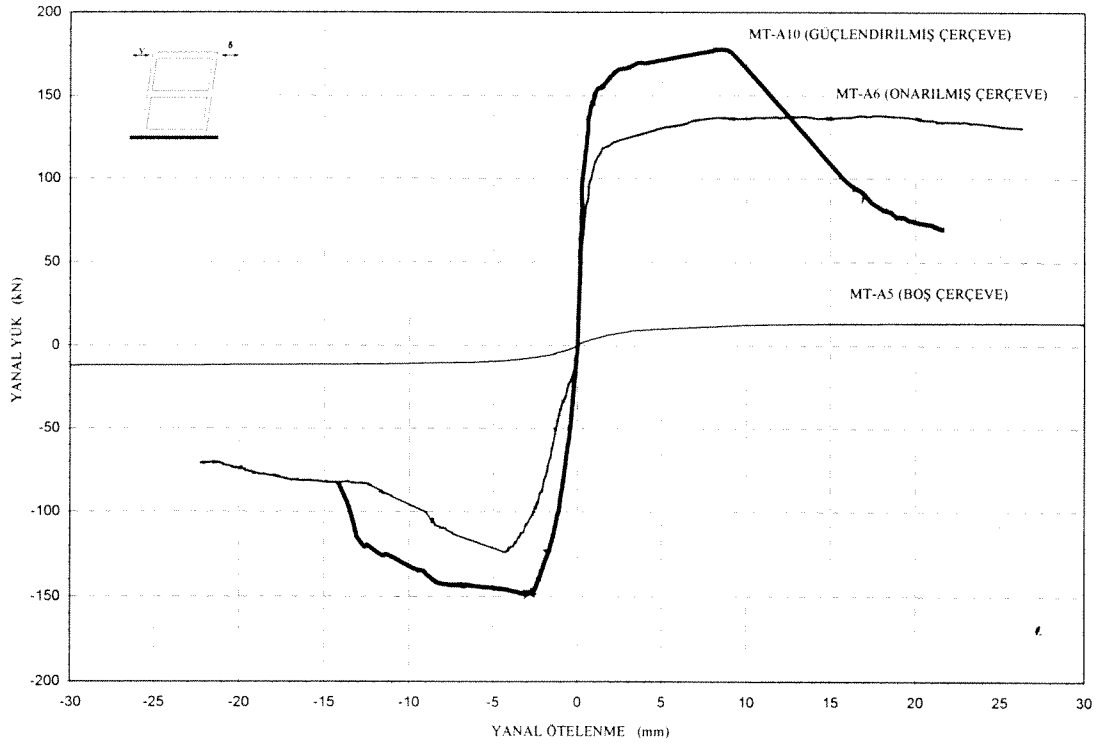
Şekil 10. Bindirme Uygulanmış ve Uygulanmamış Çerçeveslerin Zarf Eğrileri

OS-B4 ve OS-B6 elemanlarının tükettikleri toplam enerji Şekil 11 de gösterilmektedir. Bu şekilden görülebileceği gibi, dolgu uygulanmış çerçeveler (OS-B4, OS-B6), boş çerçevelere (OS-B3 ve OS-B5) göre çok daha fazla enerji tüketmektedir. Ayrıca, kolon uç bölgelerine uygulanmış ekstra takviyeler enerji tüketimini artırmakta, başka bir deyişle elemanın deprem yükleri altındaki performansını iyileştirmektedir.

Onarılmış (hasarlı çerçeve) ve güçlendirilmiş (hasarsız çerçeve) elemanlar arasındaki fark, MT-A6 (hasarlı) ve MT-A10 (hasarsız) elemanlarının davranışlarının karşılaştırılması sonucunda anlaşılabilir. Bu elemanların yük-ötelenme zarf eğrileri Şekil 12 de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, hasarlı çerçevedeki güç ve rijitlik kaybı, hasarsız çerçeveye oranla daha hızlı olmaktadır. Ayrıca, hasarlı çerçevenin gücü, hasarsız çerçeveye oranla yaklaşık 20% daha azdır.



Şekil 11. Tüketilen enerji-Yanal Ötelenme Eğrileri



Şekil 12. Hasarlı ve Hasarsız Dolgulu Çerçevelerin Karşılaştırılması

OS-B2 elemanında erken (premature) bir göçme gözlemlenmiştir. Bu erken göçme, birinci kat kirişine ekilmiş olan filizlerin yerinden sökülmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, filizlerin açılan deliklerle olan ankrajının kötü olmasıdır. Bu örnek, onarım ve güçlendirme işlerinde işçiliğin ne kadar önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Elemanlardaki göçme nedeni öncelikle eğilmeden kaynaklandığı için, çerçeve betonunun dayanımının dolgulu çerçeve davranışını pek fazla etkilemesi beklenmez. Burada önemli olan nokta, ekilen filizlere iyi bir ankraj sağlanmasıdır. Çerçeve betonunun kötü olduğu durumlarda, bağlantı filizlerinin kenetlenmesi sorun olabilmektedir. Filizlerin ankrajının iyi olup olmaması, dolgulu çerçeve davranışı tümünden etkilemektedir.

Tablo 5 de elemanların rijitlikleri özetlenmiştir. Test elemanlarının ilk rijitlikleri, ilk elastik dönüşüm sırasında, yük-ötelenme eğrisinin eğimi olarak hesaplanmıştır. Verilen rijitlik değerlerinden dolgunun önemi açıkça anlaşılmaktadır. Eğer erken göçme gösteren OS-B2 elemanı bir kenara bırakılırsa, dolgu, çerçeve rijitliğini 18 ile 29 kat arasında artırmıştır. Bu oranlar daha önceki ODTÜ testlerine göre ⁽⁴⁾ bir miktar daha düşüktür. Fakat unutmamak lazım ki, geçmiş testlerde dolgu, hasara uğramamış çerçevelere uygulanmıştır ve bu çerçeveler şartnameye uygun olarak tasarlanmıştır. Bu deney dizisindeki tek benzer örnek, MT-A10 elemanıdır. Nitekim bu elemanın ilk rijitliği, diğer bütün elemanlardan yaklaşık 30% daha fazla olmuştur.

Tablo 5 de verilen ilk rijitlikler karşılaştırıldığı zaman, düşük çerçeve dayanımına sahip dolgulu çerçevelerin rijitliklerinin bir miktar daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak fark fazla belirgin değildir.

Tablo 5. Deney Elemanlarının Rijitlikleri (*)

Seri no	Eleman no	İlk Rijitlik (kN/mm)	Göçme Öncesi Rijitlik (kN/mm)	Rijitlik Azalması (%)	Düzeltilmiş İlk Rijitlik (kN/mm) (**)	İlk Rijitliklerin Oranı (Dolgulu Çerçeve/Boş Çerçeve)
1	MT-A1	4.3	0.78	81	4.0	1.0
1	MT-A2	104.0	1960	81	96.1	24.0
1	MT-A3	4.9	1.05	78	4.5	1.0
1	MT-A4	94.1	26.10	72	91.0	20.2
2	MT-A5	3.5	1.10	68	4.5	1.0
2	MT-A6	100.0	14.00	86	86.9	19.3
2	MT-A7	3.3	0.93	71	4.5	1.0
2	MT-A8	96.1	11.76	87	88.2	19.6
2	MT-A9	-	-	-	-	-
2	MT-A10	127.5	68.64	46	127.8	-
3	OS-B1	7.1	0.29	96	6.4	1.0
3	OS-B2	24.0	4.34	82	21.8	3.4
3	OS-B3	5.7	0.07	98	4.1	1.0
3	OS-B4	66.7	5.20	92	52.6	12.8
3	OS-B5	4.6	0.24	95	4.0	1.0
3	OS-B6	100.0	8.76	91	93.8	23.4

(*) Rijitlik = Yük-ötelenme eğrisinin eğimi

(**) Tüm elemanların rijitlikleri $f_{ck} = 20$ MPa.'a göre düzeltilmiştir. Düzeltme faktörü= $(\sqrt{20} / \sqrt{f_{ck}})$

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. Hasar görmüş çerçevelere uygulanan betonarme dolgular, yatay kuvvet dayanımını çok büyük oranda artırmaktadır. Yapılan deneylerde bu artış, 8 ila 16 kat arasında değişmiştir. Bu nedenle, 3 boyutlu hasara uğramış yapılarda, dolguların yapı içindeki konumu çok iyi seçilmelidir. Öyle ki, daha sonra oluşabilecek deprem hareketleri karşısında yapıda burulma oluşmaması gerekir.
2. Dolgular yanal rijitliği çok önemli ölçüde artırmaktadır. Dolgulu çerçeve rijitlikleri, elde edildikleri boş çerçevelere oranla (erken göçen OS-B2 hariç) 13 ila 24 kat daha fazladır. Unutmamak gerekir ki bu artış, ağır hasara uğramış çerçevelerden elde edilen dolgulu çerçevelerin deneylerinden elde edilen bir sonuçtur.
3. Hasarlı ve hasarsız çerçevelerden elde edilen dolgulu çerçeveler karşılaştırıldığında (MT-A6 ve MT-A10), çerçeve hasarı nedeniyle hem dayanım hem de rijitlik azalması gözlemlenmektedir. Bu azalma, dayanımda 20%, rijitlikte ise 30% dolaylarında olmuştur.
4. Göçme mekanizması çoğunlukla eğilme kökenli olduğu için, kolon boyuna donatısının dolgulu çerçeve dayanım ve davranışı üzerinde önemli bir etkisi vardır.

5. Çerçeve betonunun dayanımı, dolgulu çerçeve davranışı üzerinde pek fazla etkisi olmadığı görülmüştür. Ancak, çerçevedeki beton kalitesinin ekilen filizlerin ankrajı için büyük bir öneme sahip olduğu unutulmamalıdır.
6. Kolon boyuna donatısında, kat düzeylerinde uygulanan bindirmeli eklerde, bindirme boyu yetersiz olduğu zaman, dolgulu çerçeve dayanımı azalmaktadır.
7. Çelik plakalar kullanılarak, yetersiz bindirmenin uygulandığı bölgede yapılmış takviyeler, hem dayanımı, hem de davranışı iyileştirmektedir.
8. Çerçeveye ekilen filizlerin başarısı, bu filizlerin çerçeveye olan ankrajına bağlıdır. Filiz ankrajının sağlanmasında işçilik büyük önem taşımaktadır.

5.2 Öneriler

Deney elemanları tek açıklıklı çerçeveler olduğundan gerçek durumu çok sağlıklı biçimde yansıtmamakta; kolonlardan birinde her zaman büyük çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Çoğu zaman kapasiteyi de kolon boyuna donatısı (Sonuç 4’de belirtildiği gibi) büyük ölçüde etkilemektedir. İleride üç yada en az iki açıklıklı çerçeveler denenirse gerçeği çok daha iyi yansıtan sonuçlar alınabilir.

Bu durumun farkında olan proje ekibimiz, Haziran 1994’de TÜBİTAK’a ‘sunduğu proje önerisinde “C Dizisi” adı ile bir seri deney daha yapılması gerektiğini ifade etmiş ve bu deneylerin “zaman ve parasal olanakların elvermesi durumunda yapılabileceğini” TÜBİTAK’a bildirmişti.

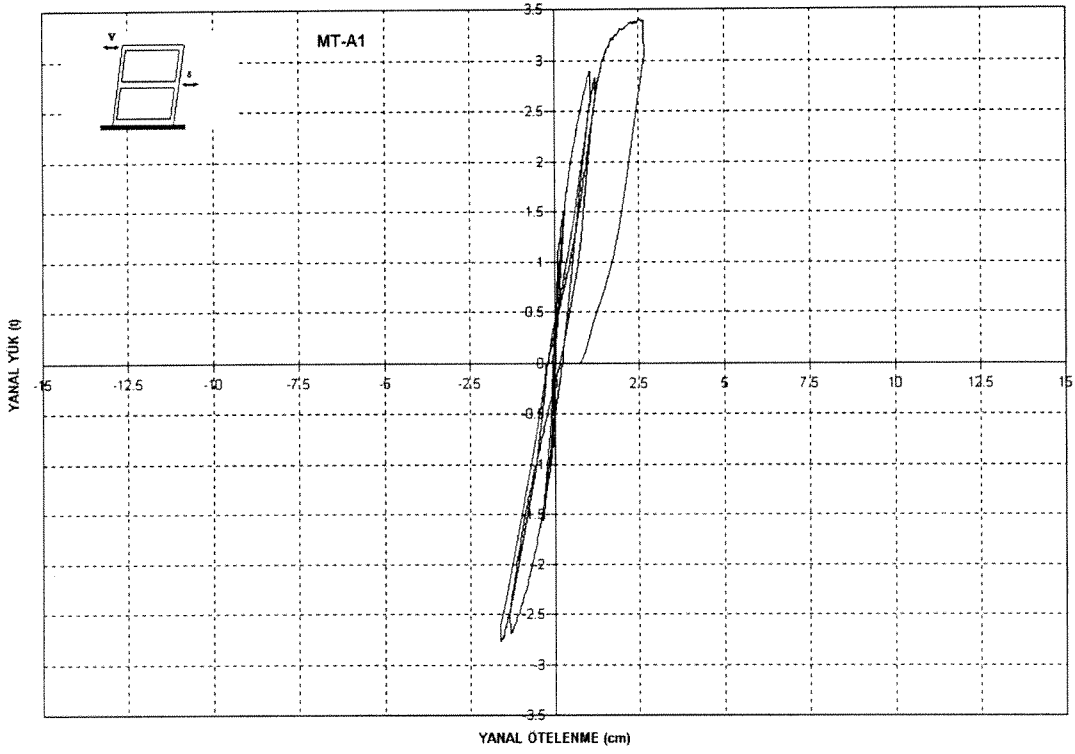
Proje alışmaları suresince bu konu üzerinde de durulmuştur. Bu dizide yer alan deneyler, ODTÜ Yayı Mekaniki Laboratuvarında bir doktora öğrencisinin doktora tez çalışmasını oluşturacaktır. Öğrenci konu üzerindeki çalışmalarında ilerlemeler kaydetmiştir. Deney elemanı tasarımı tamamlanmış deney düzeneği üzerindeki çalışmalar ise devam etmektedir. Deneylerde amaç, iki katlı –  açıklıklı bir çerçevede dolguların (betonarme ve tuğla) davranışa etkisini araştırmak ve uyum olayını incelemektir.

KAYNAKLAR

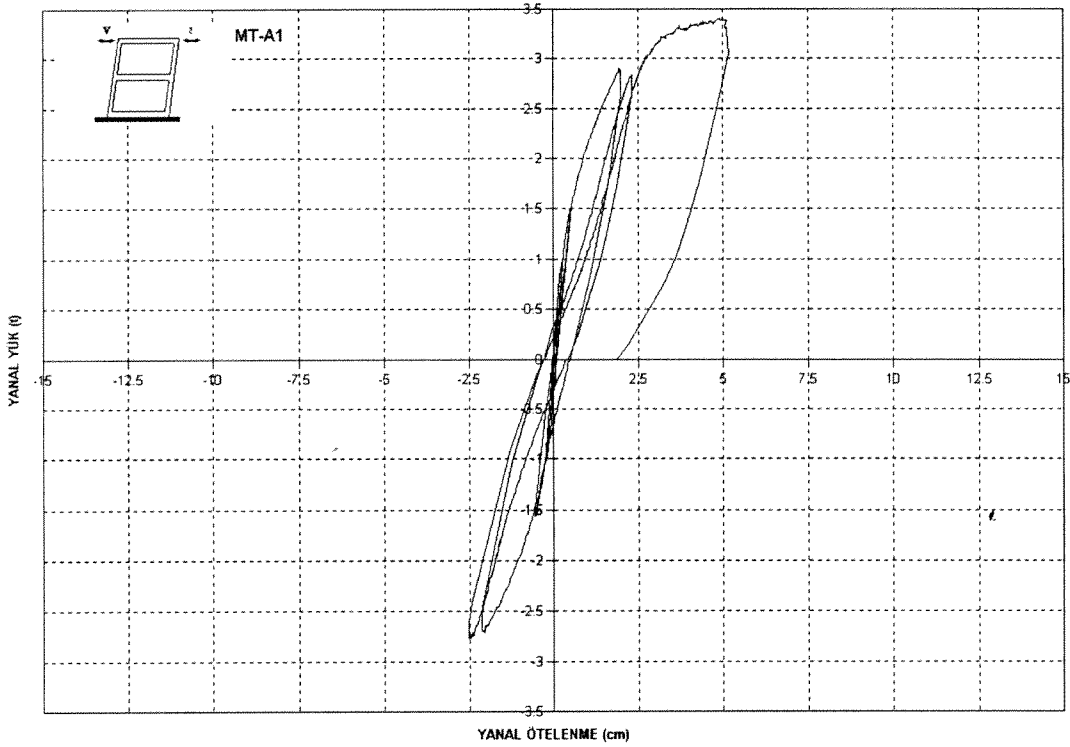
1. Ersoy, U., "Seismic Rehabilitation - Application Research and Current Needs", 11. World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, 1996 (invited paper).
2. Ersoy, U., and Uzsoy, Ş., "Strength and Behavior of Infilled Frames - An Experimental Study", Scientific and Technical Research Foundation of Turkey (TÜBİTAK), Report no. MAG-205, 1971 (in Turkish).
3. Ersoy, U., and Tankut, T., "Current Research at METU on Repair and Strengthening of RC Structures", Bulletin of ITU, V.45, No. 1-3, İstanbul, 1992 (invited paper).
4. Altın, S., Ersoy, U., and Tankut T., "Hysteretic Response of RC Infilled Frames", ASCE Structural Journal, V. 118, No.8, August 1992.
5. Benjamin, J.R., and Williams, H.A., "The Behaviour of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls", ASCE Journal of the Structural Division, Vol.83, No.ST3, May 1957, paper 1254.
6. Hayashi, T., Niwa H. and Fukuhara M., "The Strengthening Methods of the Existing Reinforced Concrete Buildings", Proceedings of the 7th WCEE, İstanbul, Turkey, September 1980, Vol.4, pp. 89-96.
7. Jirsa, J.O., "Behaviour of Epoksi-Grouted Dowels and Bolts Used for Repair or Strengthening of Reinforced Concrete Structures", Proc. of 9th WCEE, Tokyo, August 1988, Vol.VII, pp.371-376.
8. Valluvan, R., Kreger, M. and Jirsa, J.O., "Strengthening of Column Splices for Seismic Retrofit of Nonductile Reinforced Concrete Frames", ACI Structural Journal, V.90, No.4, July-August 1993, pp.432-440.

EK-A

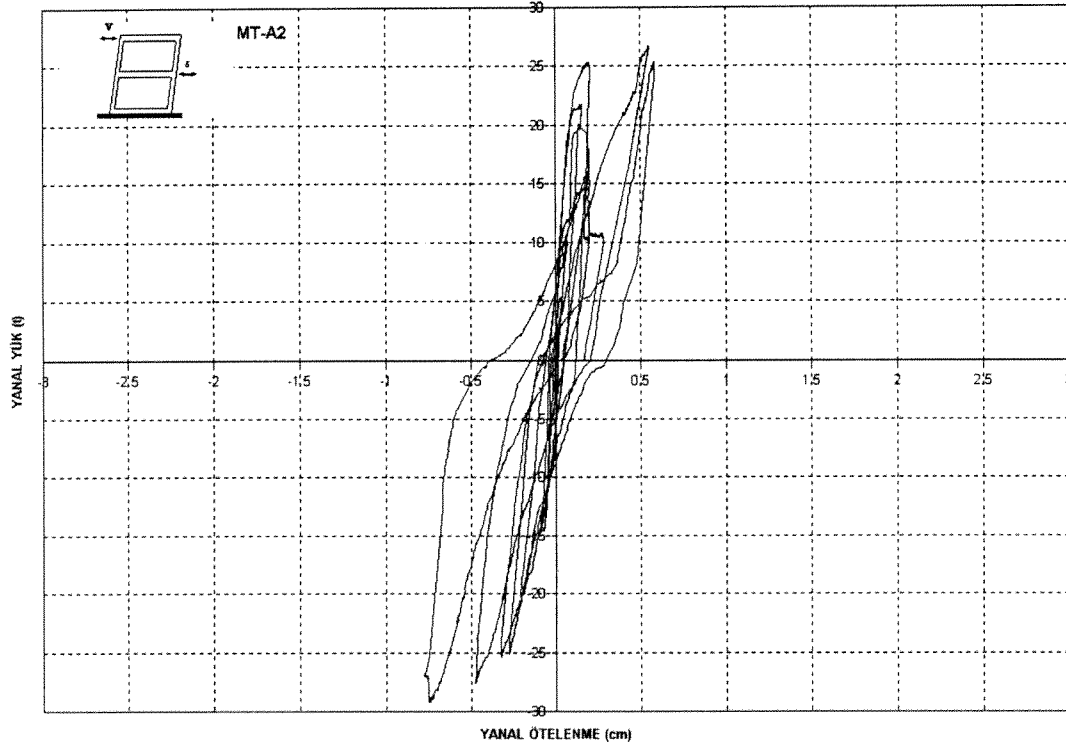
DENEY ELEMANLARININ,
YANAL YÜK - ÖTELENME
EĞRİLERİ



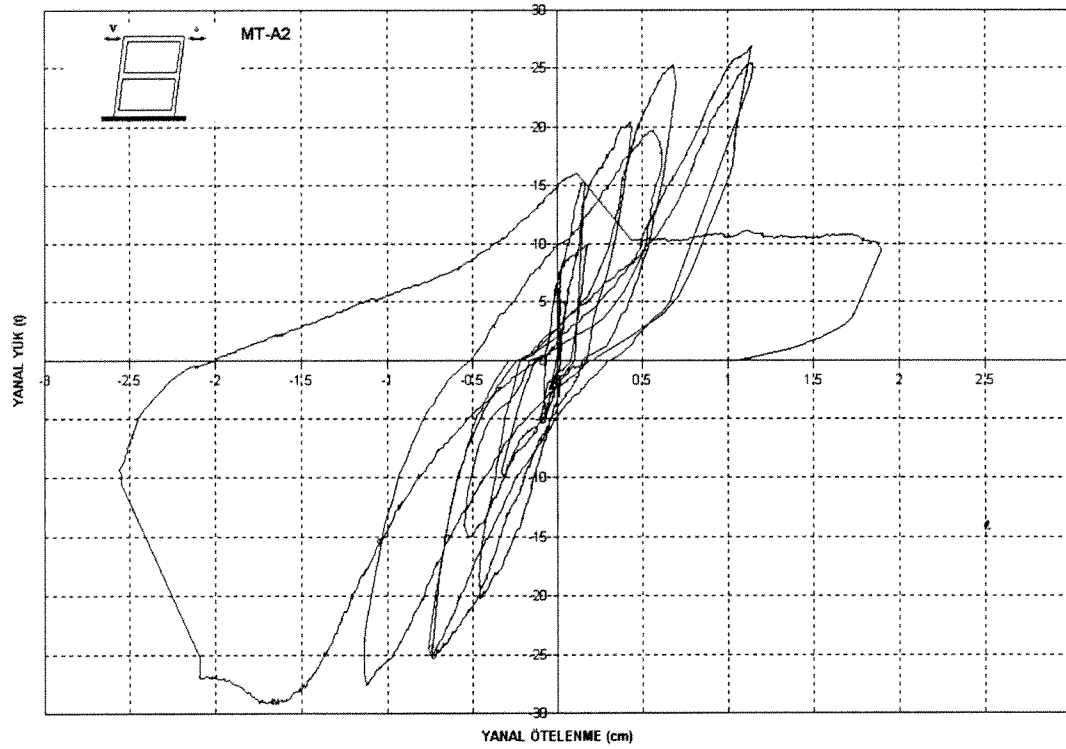
Şekil A1. Eleman MT-A1
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



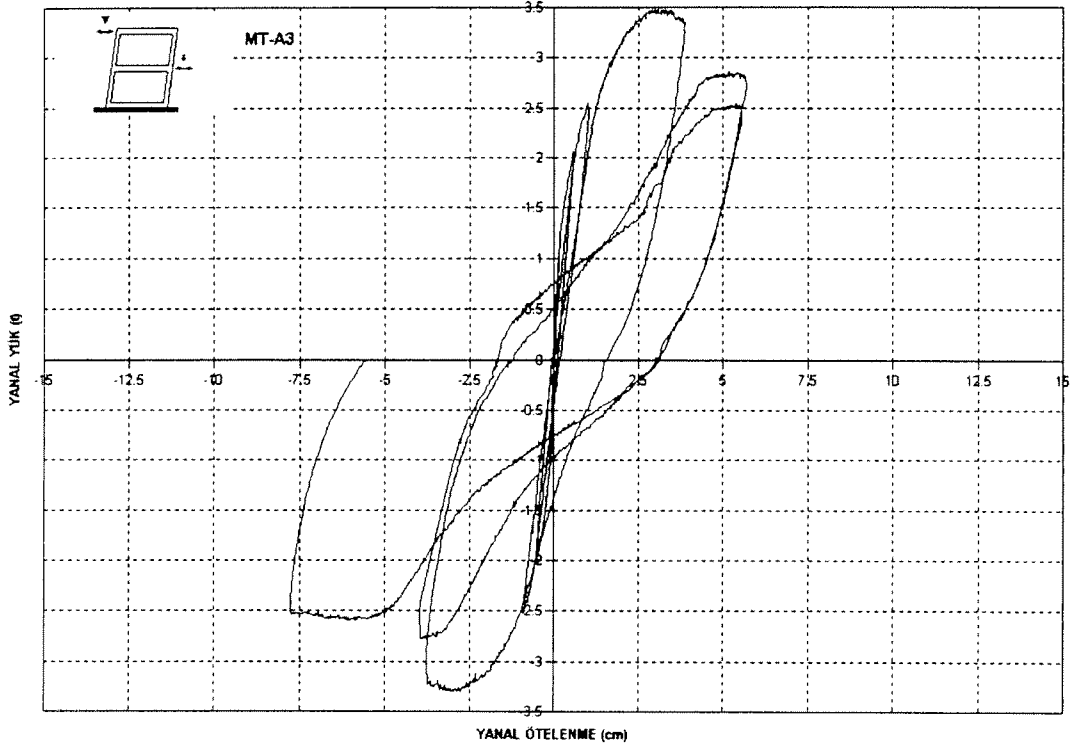
Şekil A2. Eleman MT-A1
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



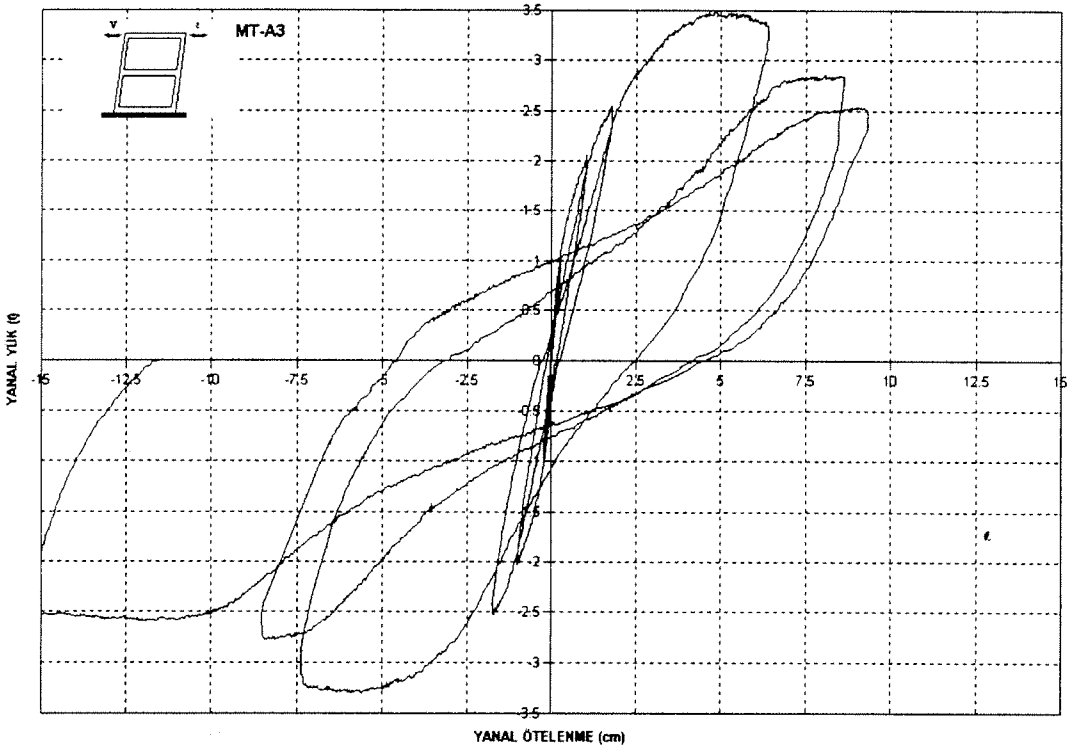
Şekil A3. Eleman MT-A2
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



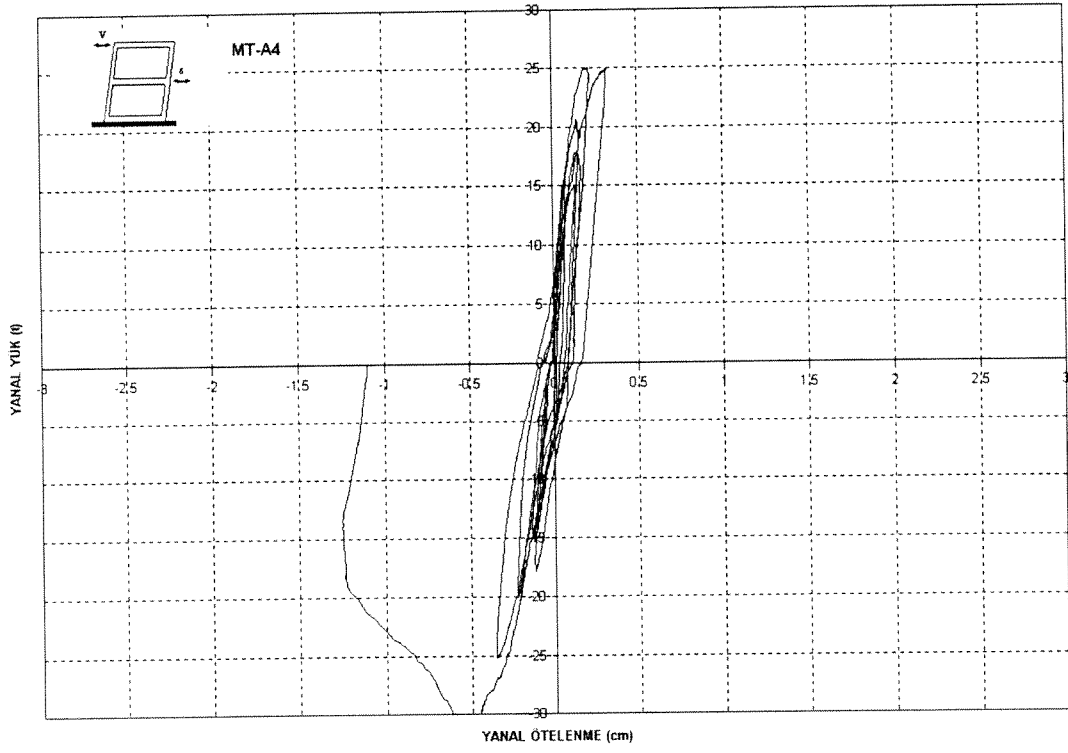
Şekil A4. Eleman MT-A2
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



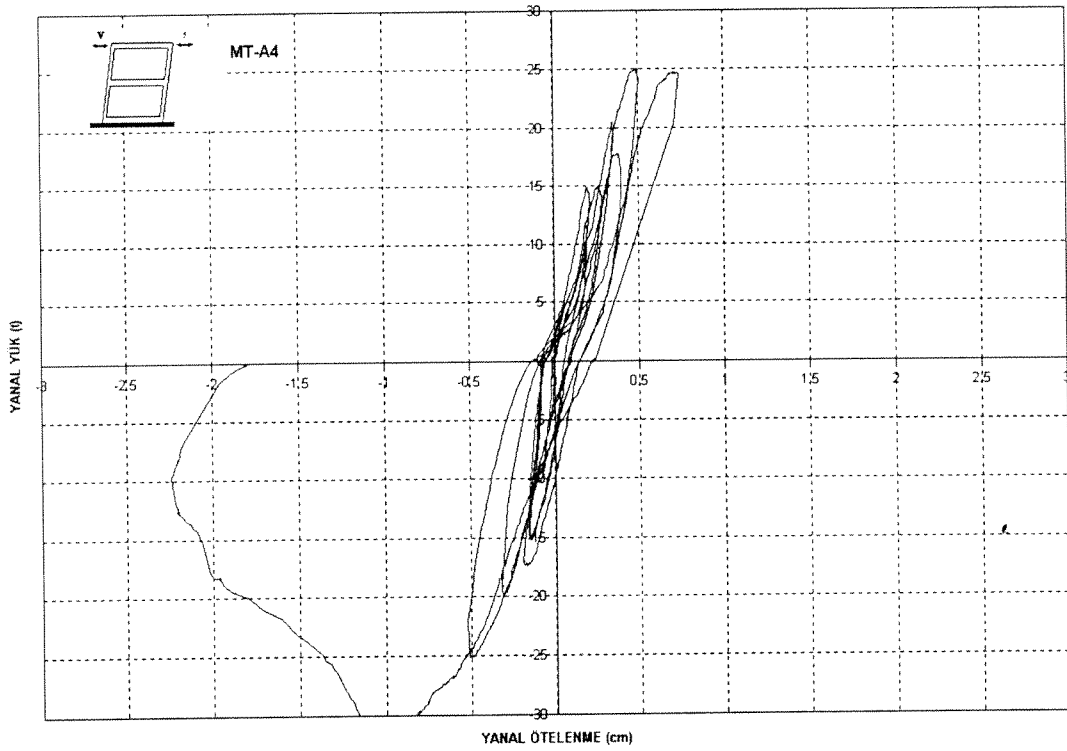
Şekil A5. Eleman MT-A3
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



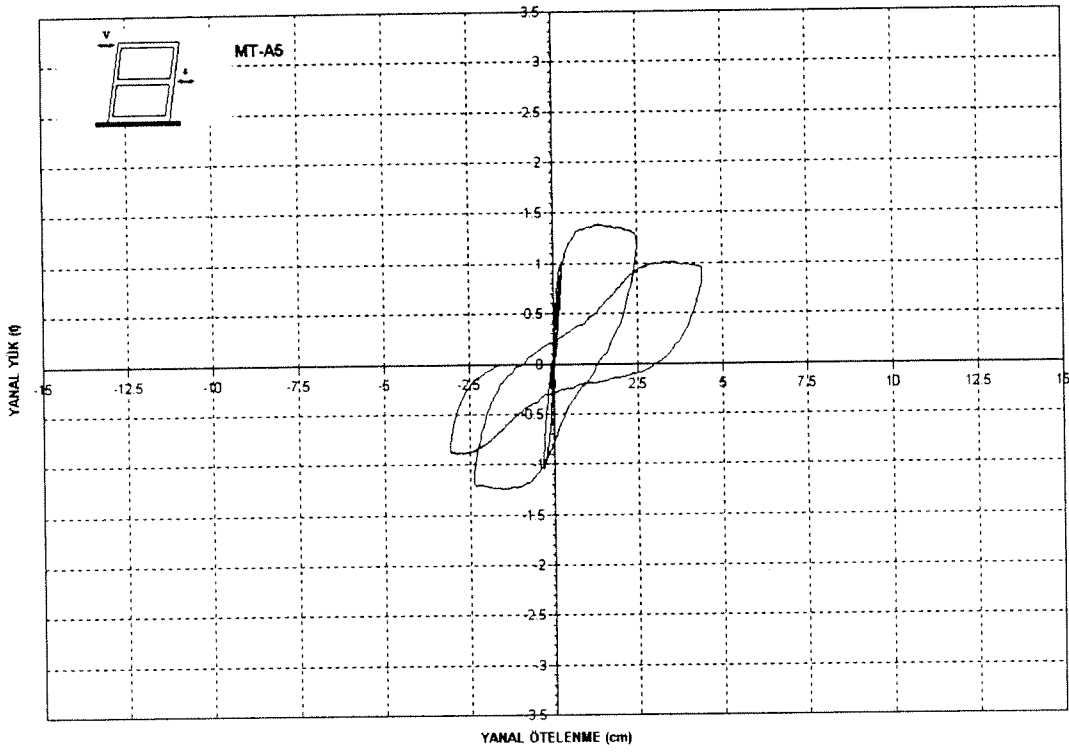
Şekil A6. Eleman MT-A3
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



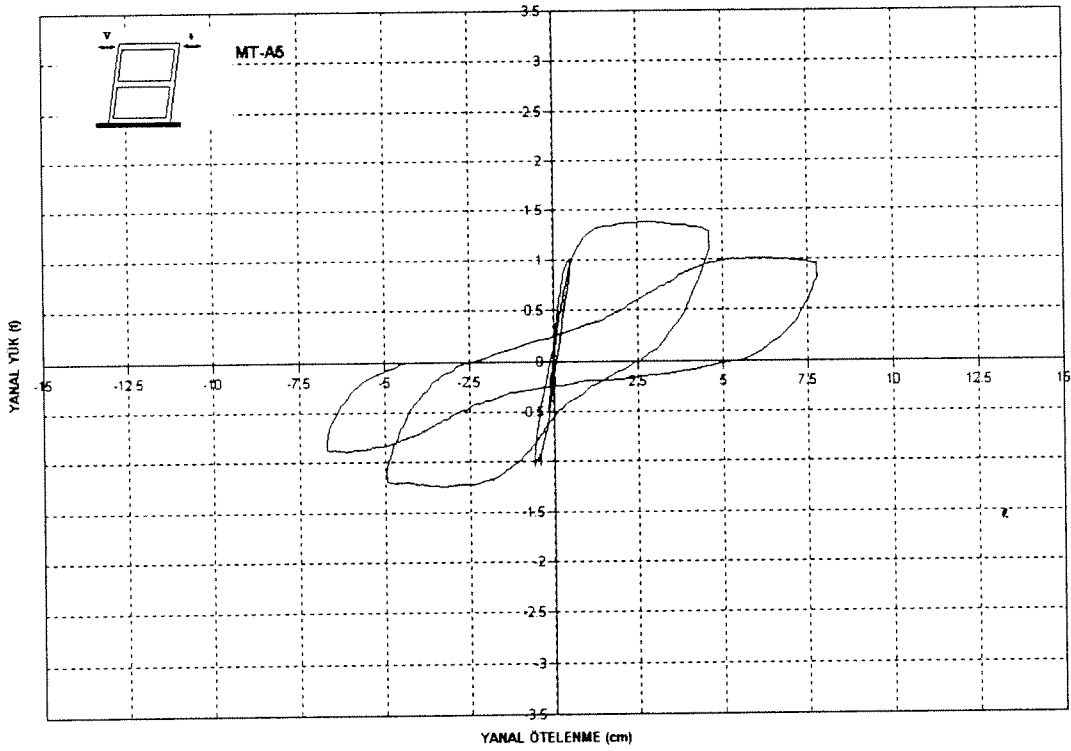
Şekil A7. Eleman MT-A4
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



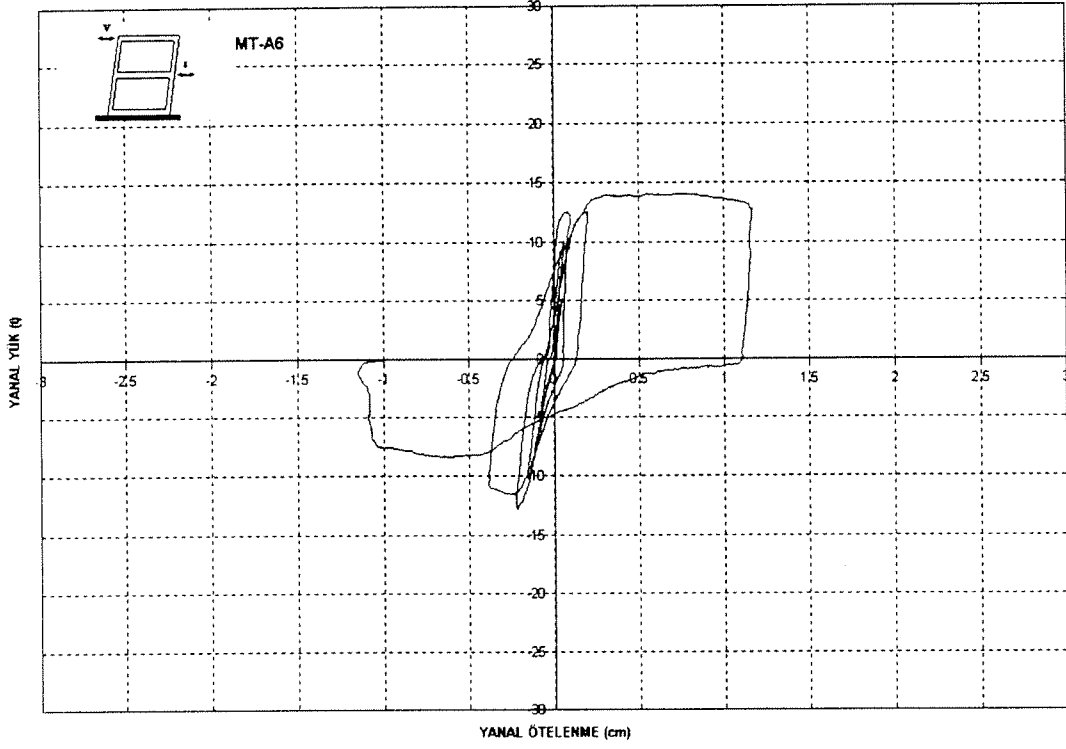
Şekil A8. Eleman MT-A4
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



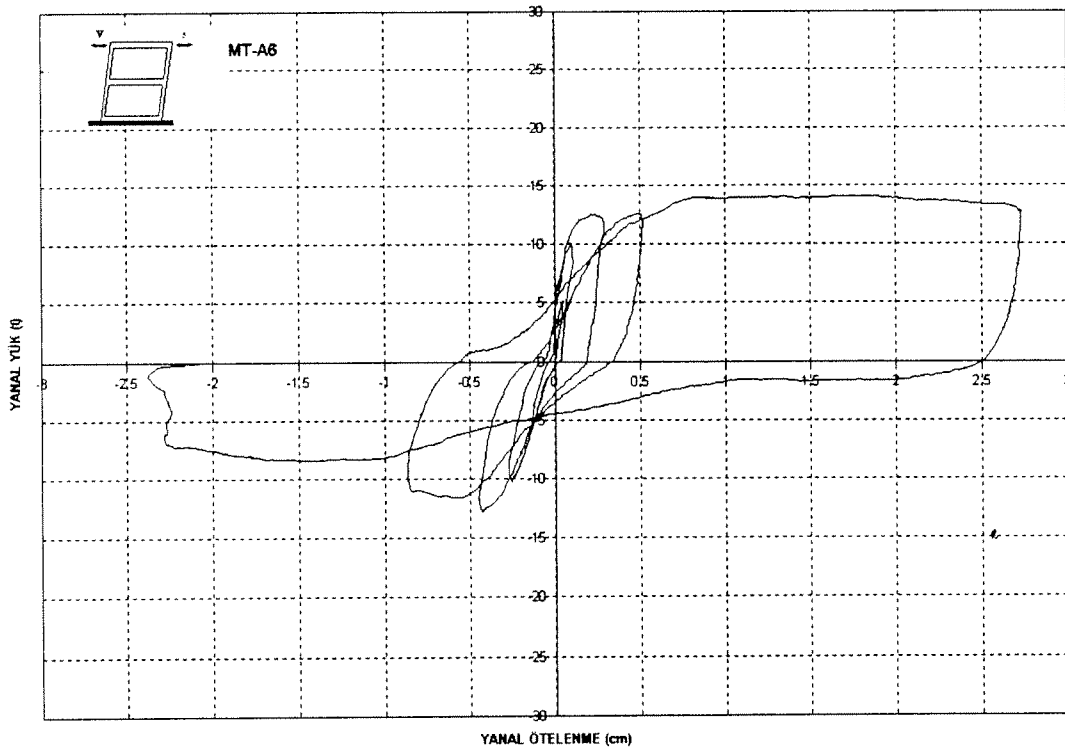
Şekil A9. Eleman MT-A5
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



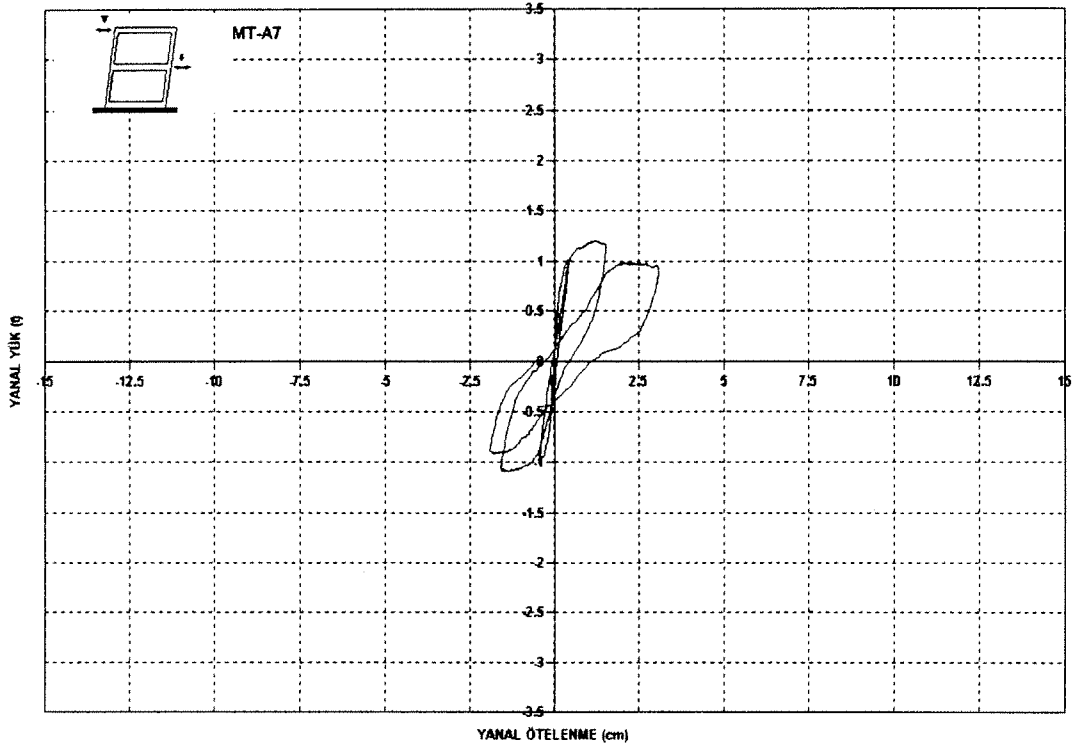
Şekil A10. Eleman MT-A5
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



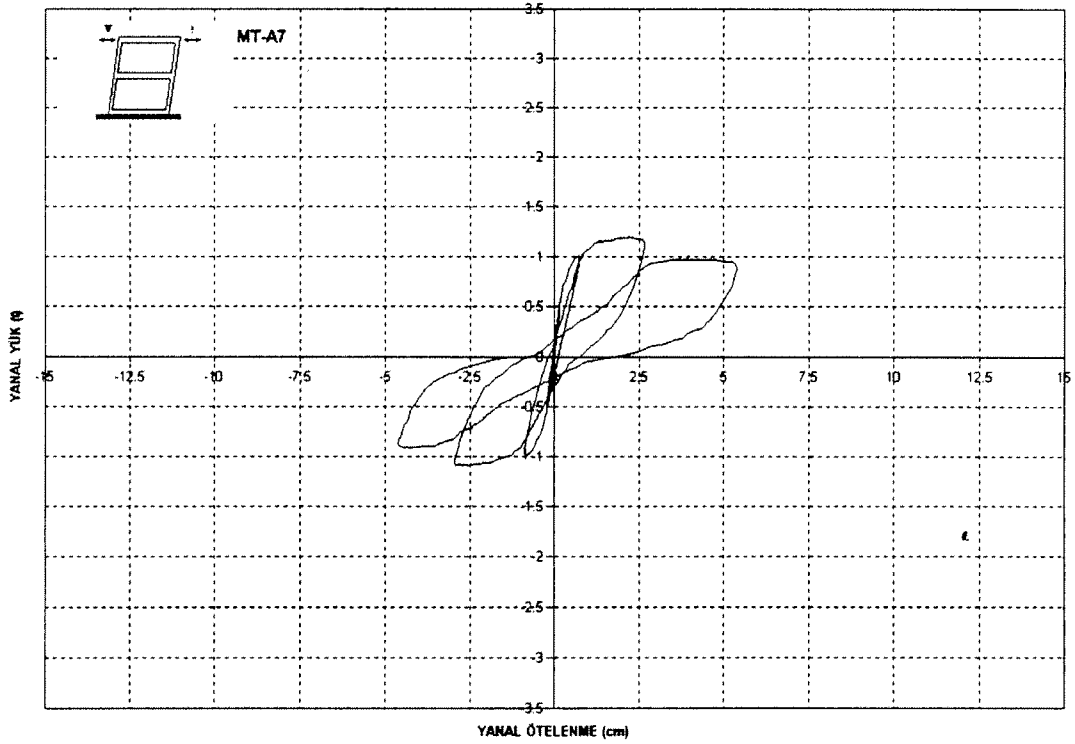
Şekil A11. Eleman MT-A6
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



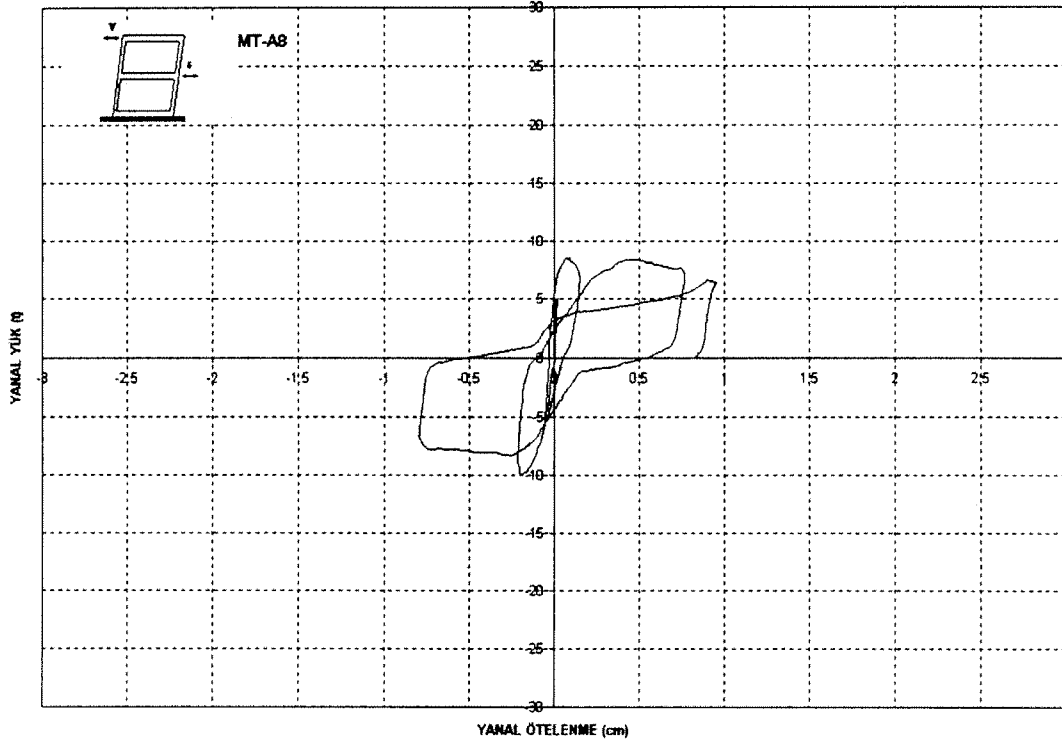
Şekil A12. Eleman MT-A6
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



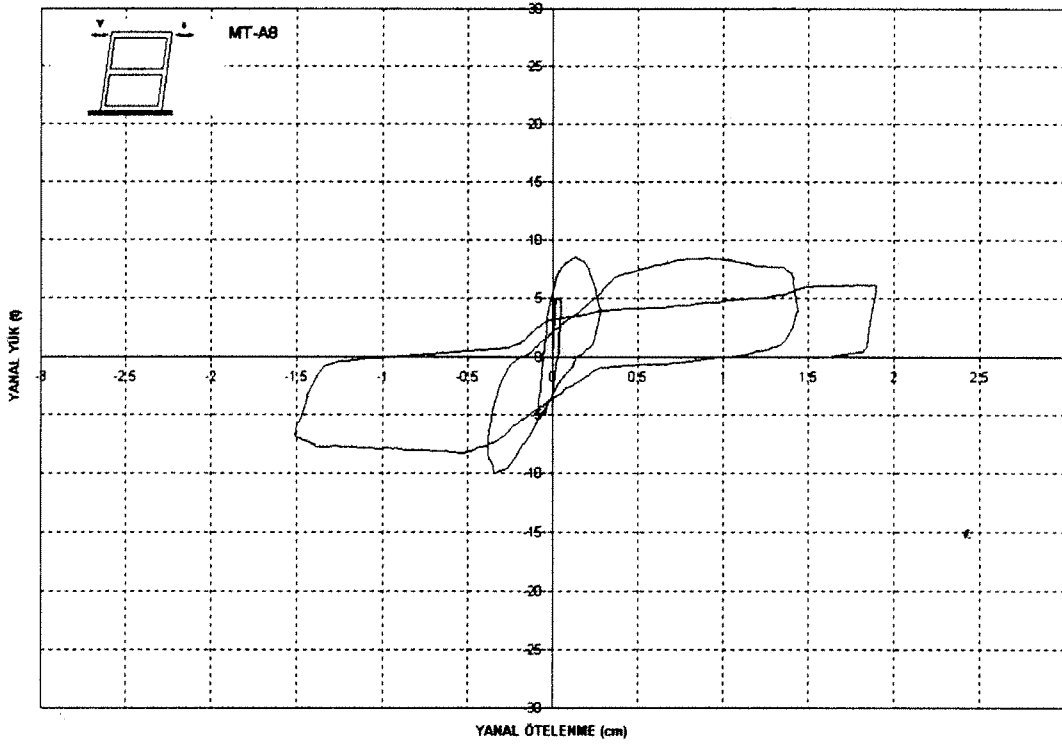
Şekil A13. Eleman MT-A7
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



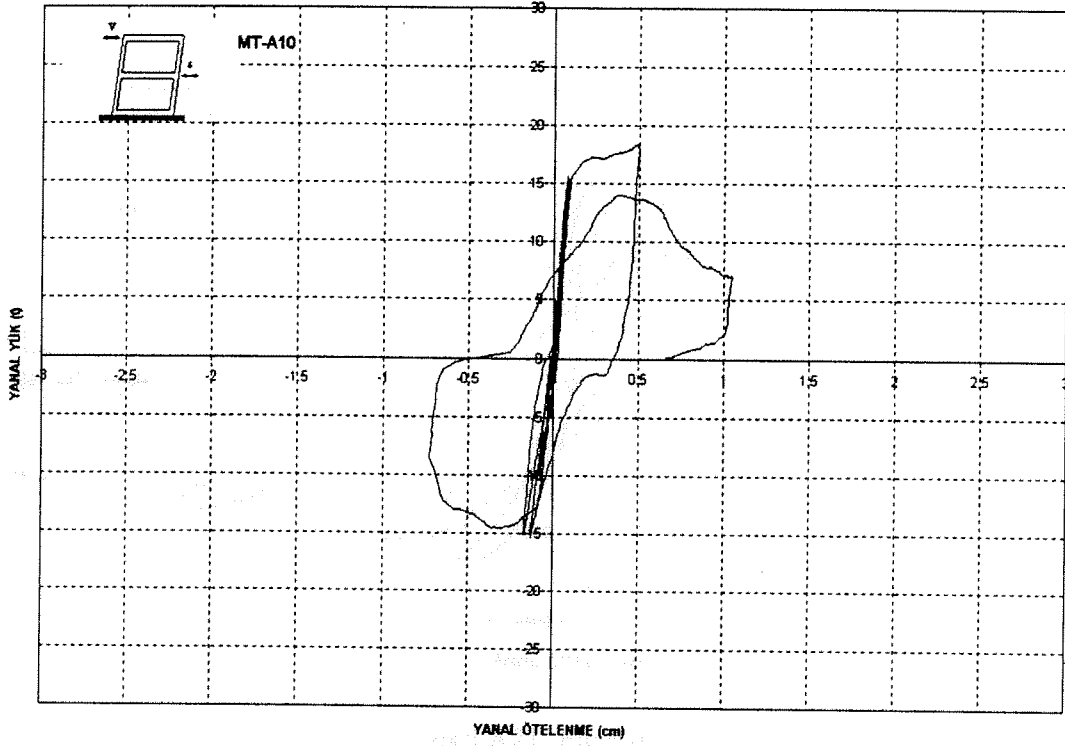
Şekil A14. Eleman MT-A7
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



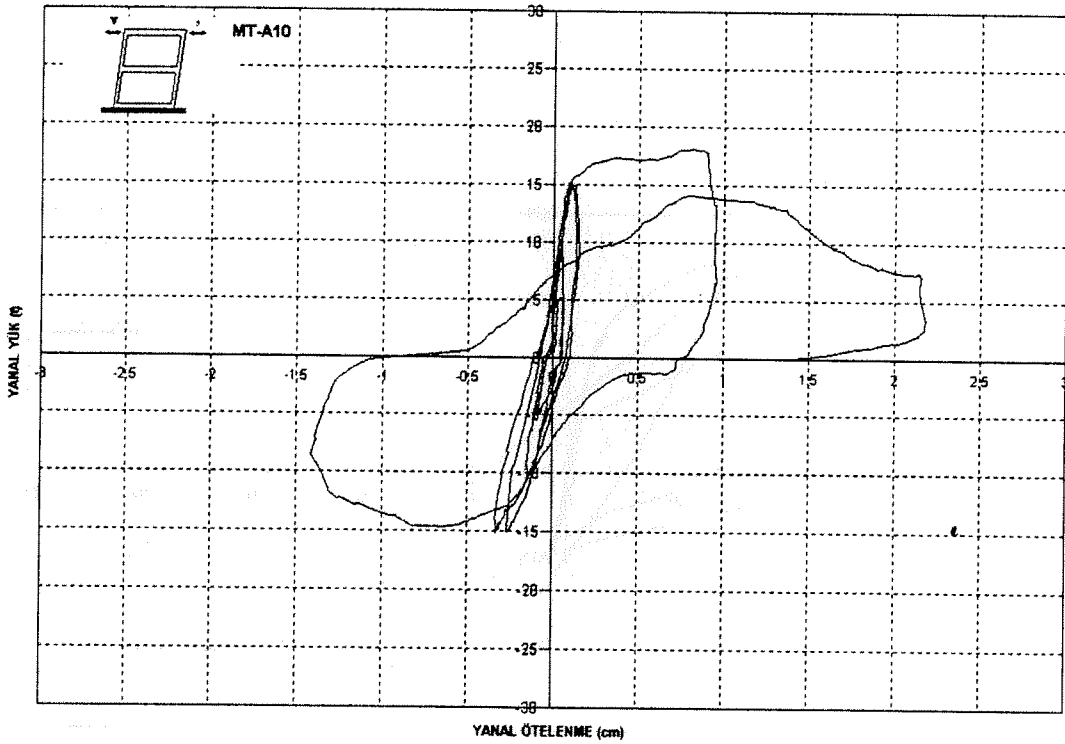
Şekil A15. Eleman MT-A8
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



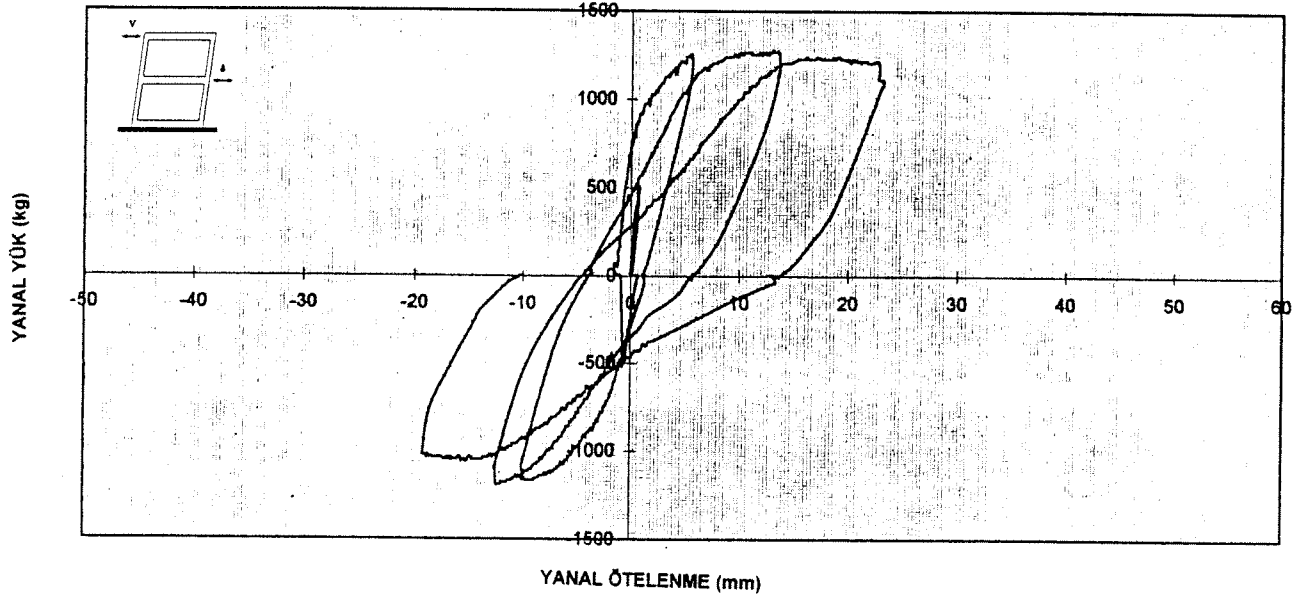
Şekil A16. Eleman MT-A8
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



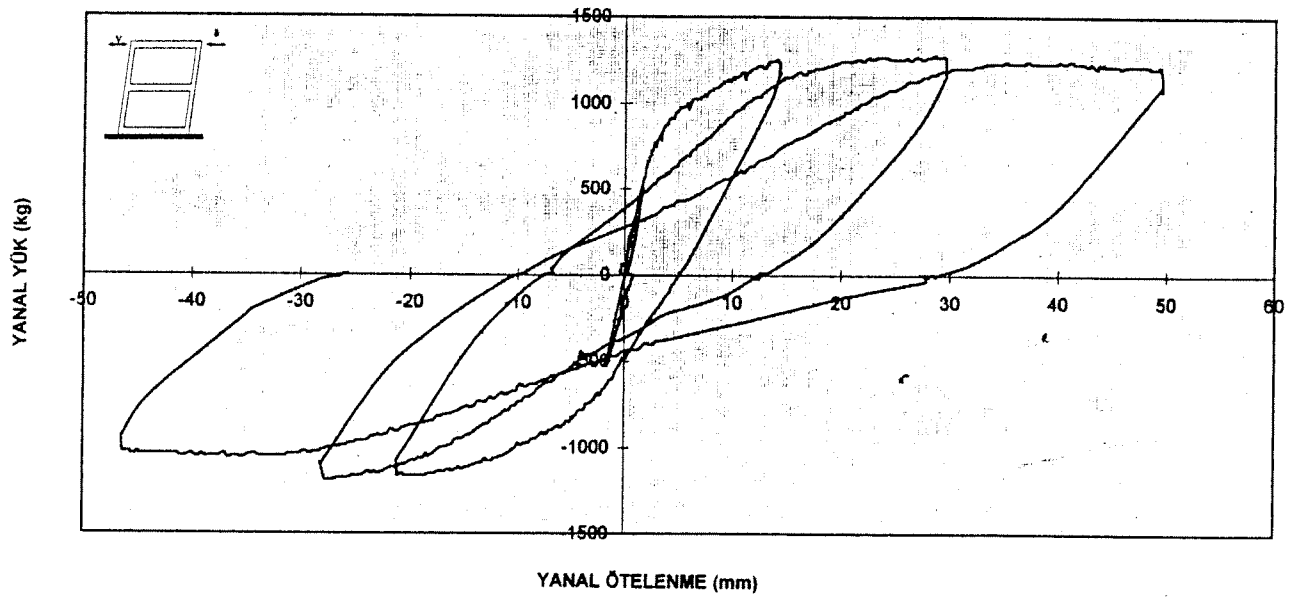
Şekil A19. Eleman MT-A10
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



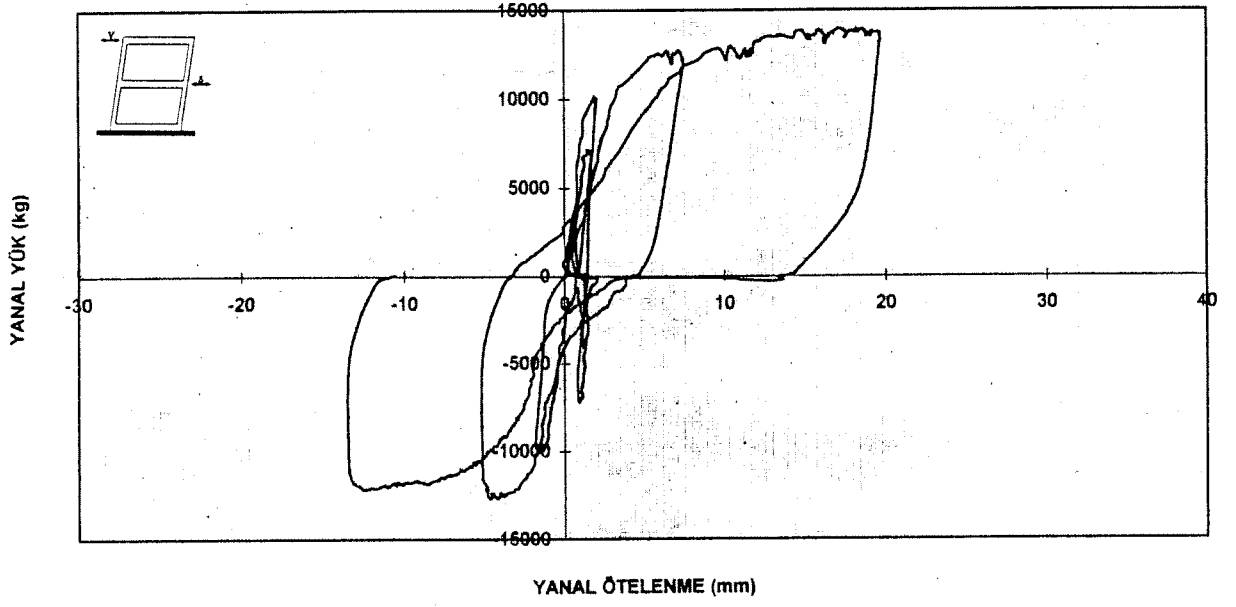
Şekil A20. Eleman MT-A10
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



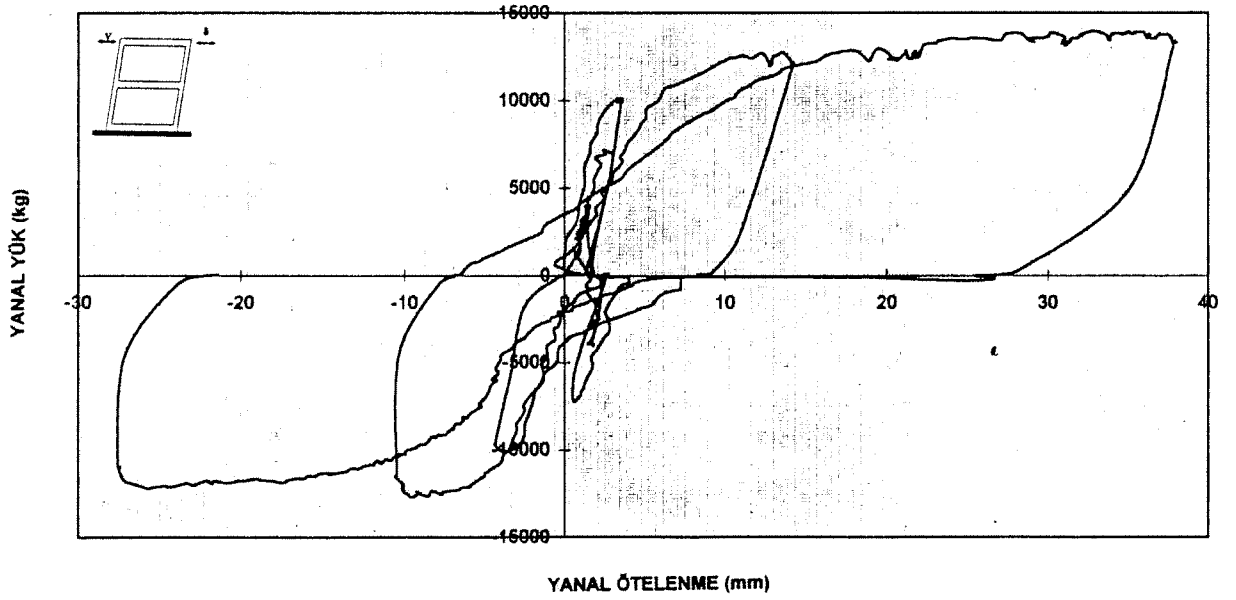
Şekil A21. Eleman OS-B1
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



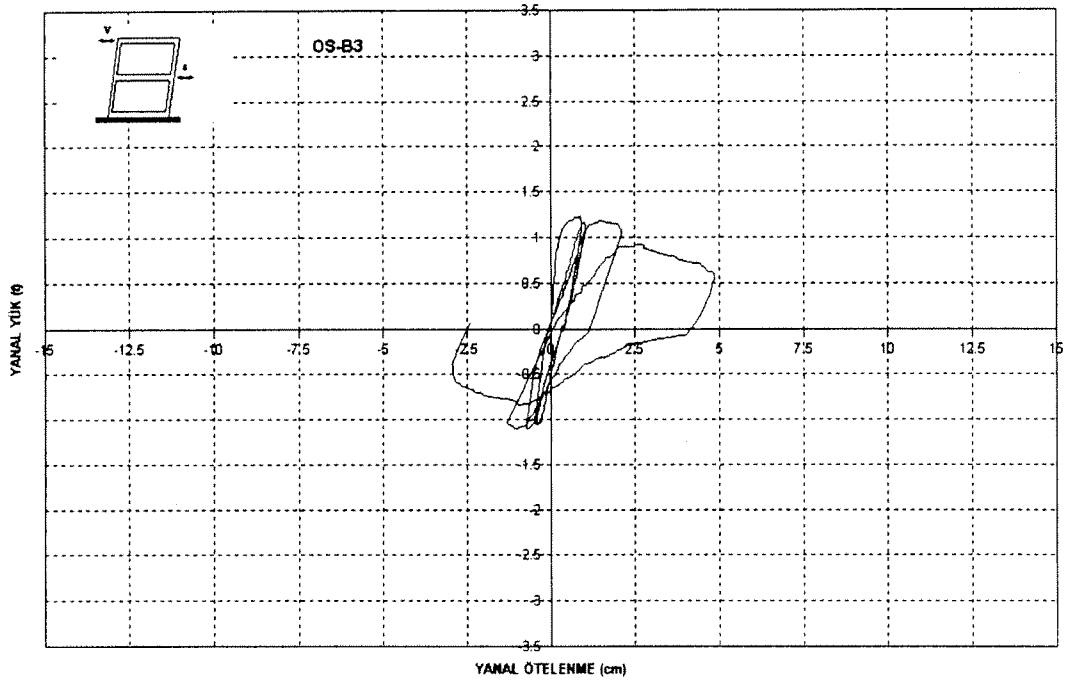
Şekil A22. Eleman OS-B1
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



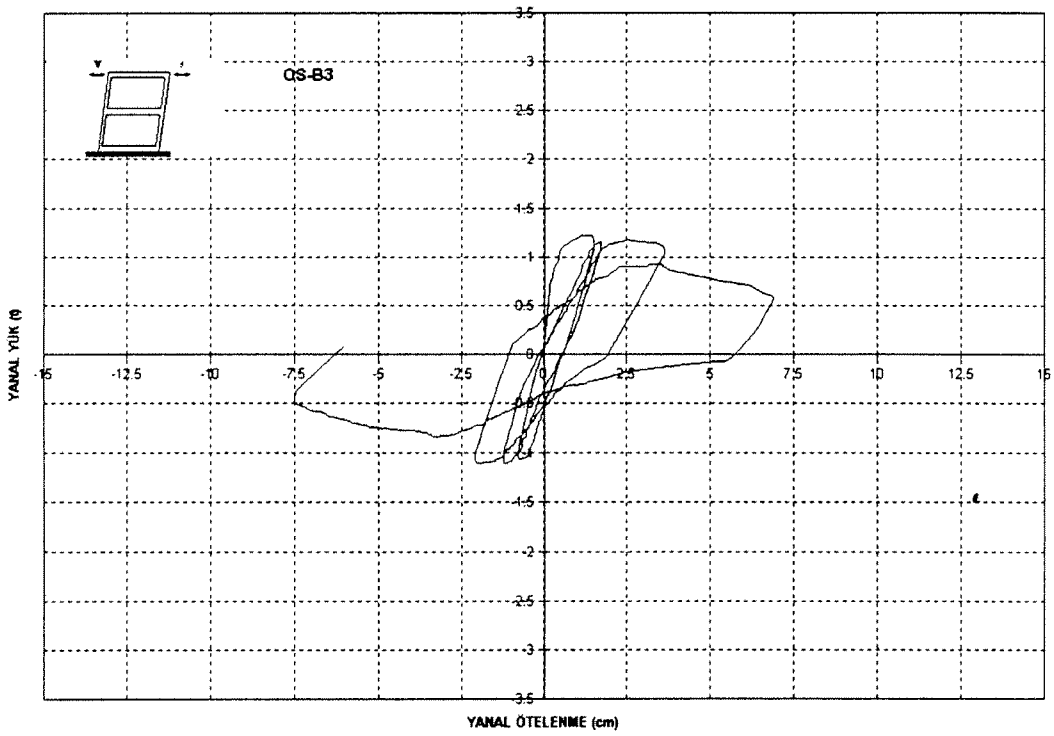
Şekil A23. Eleman OS-B2
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



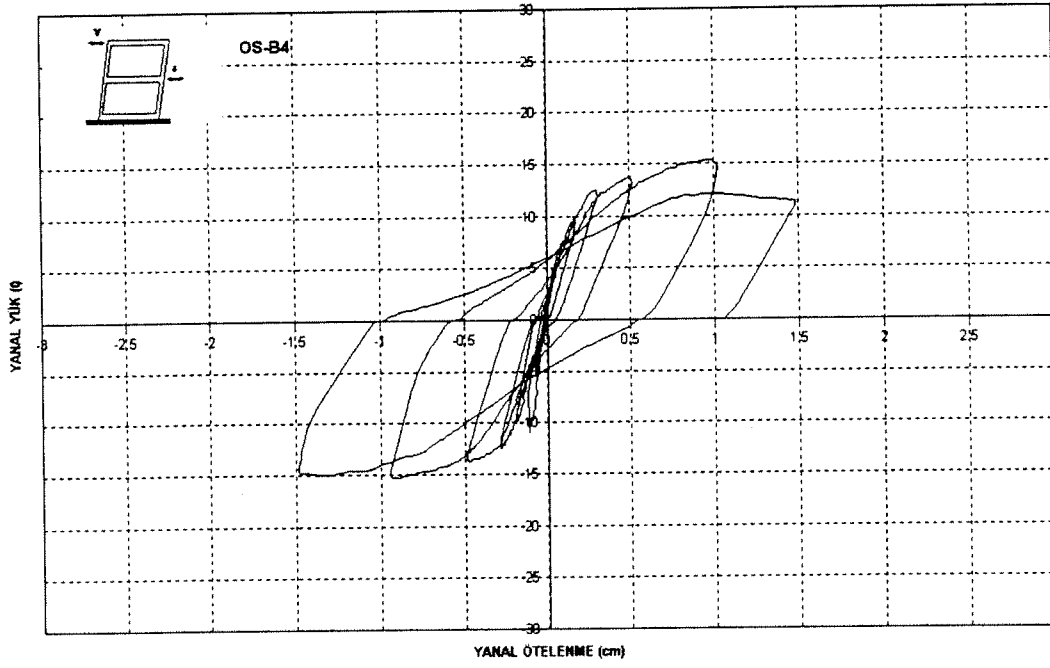
Şekil A24. Eleman OS-B2
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



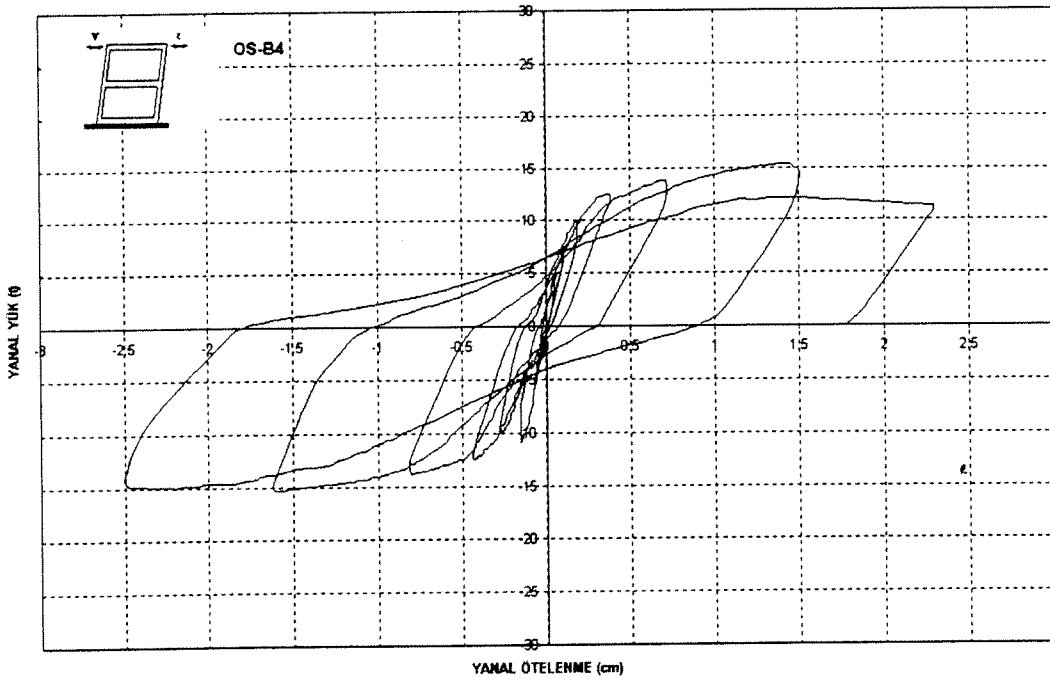
Şekil A25. Eleman OS-B3
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



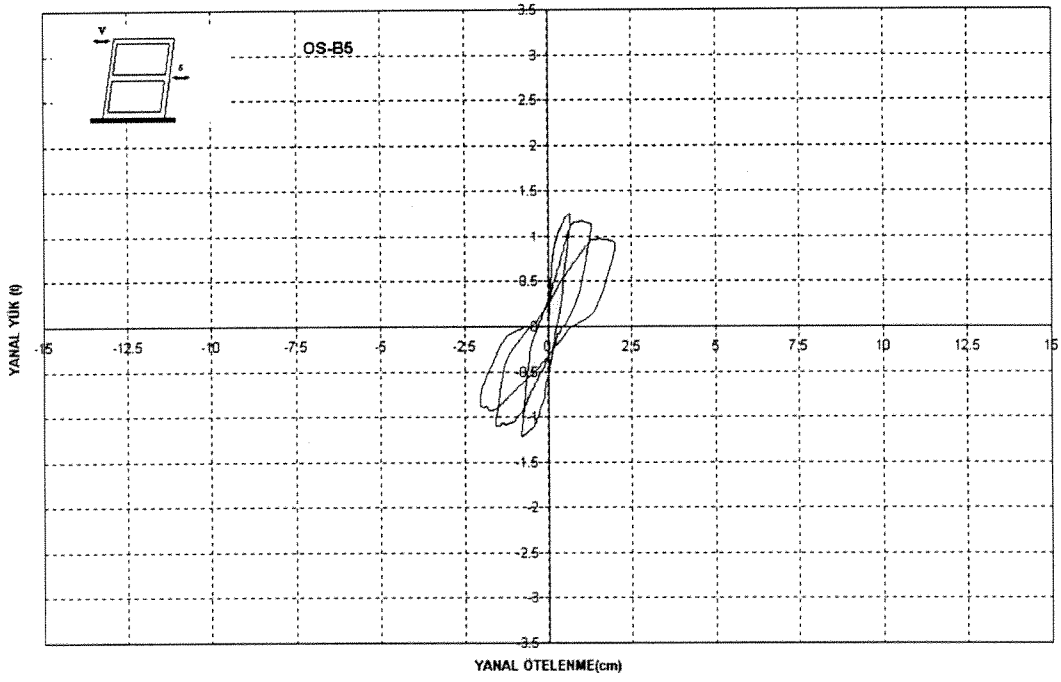
Şekil A26. Eleman OS-B3
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



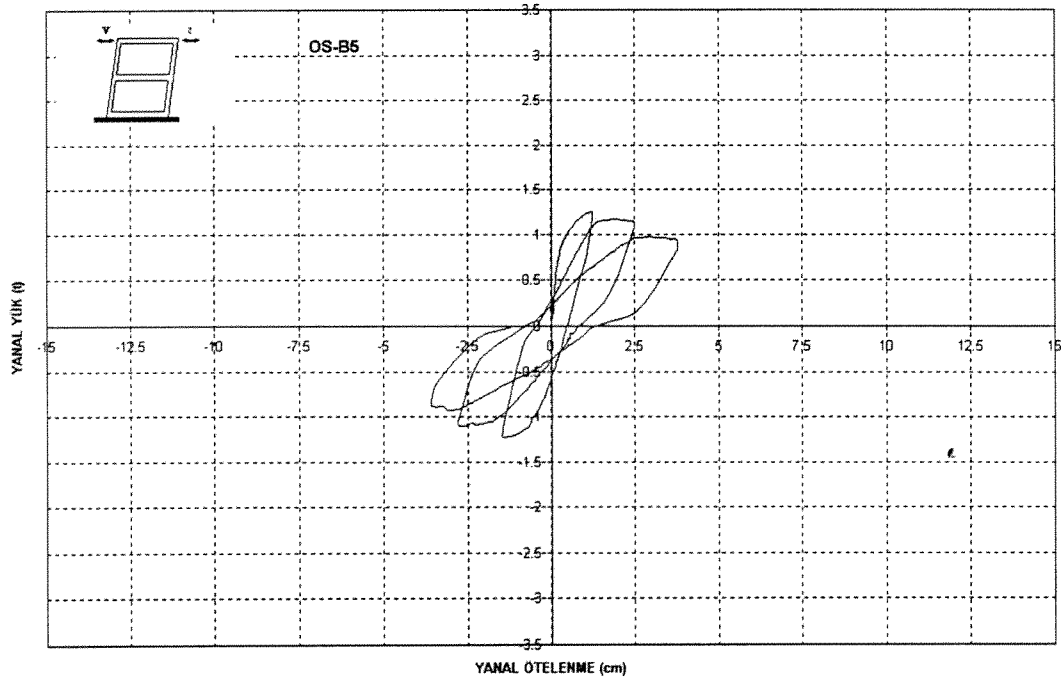
Şekil A27. Eleman OS-B4
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



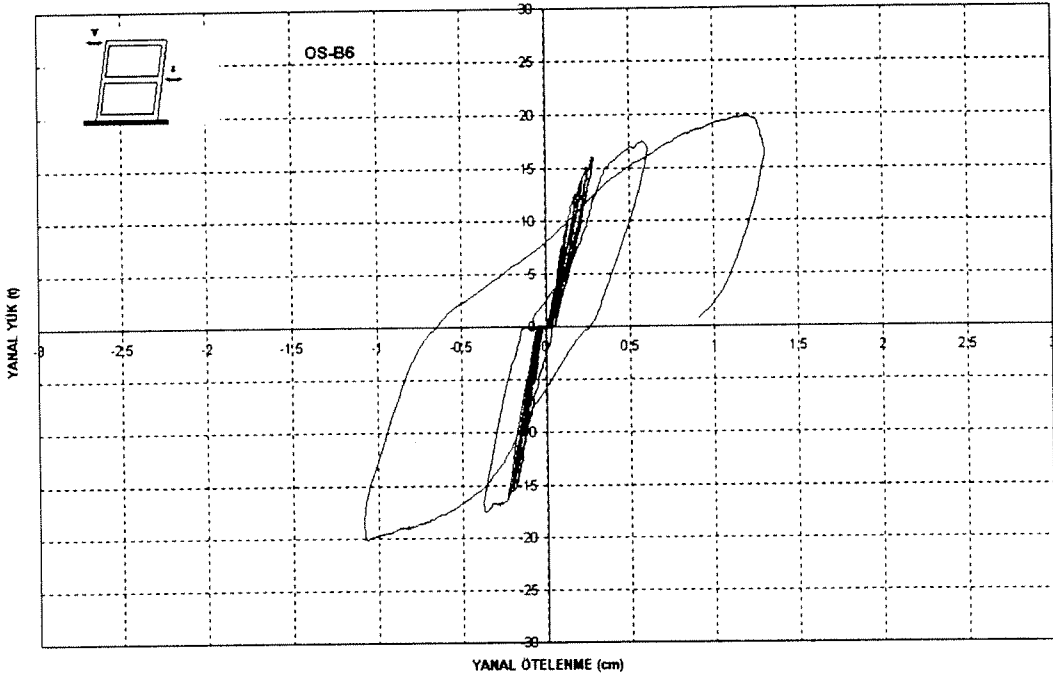
Şekil A28. Eleman OS-B4
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



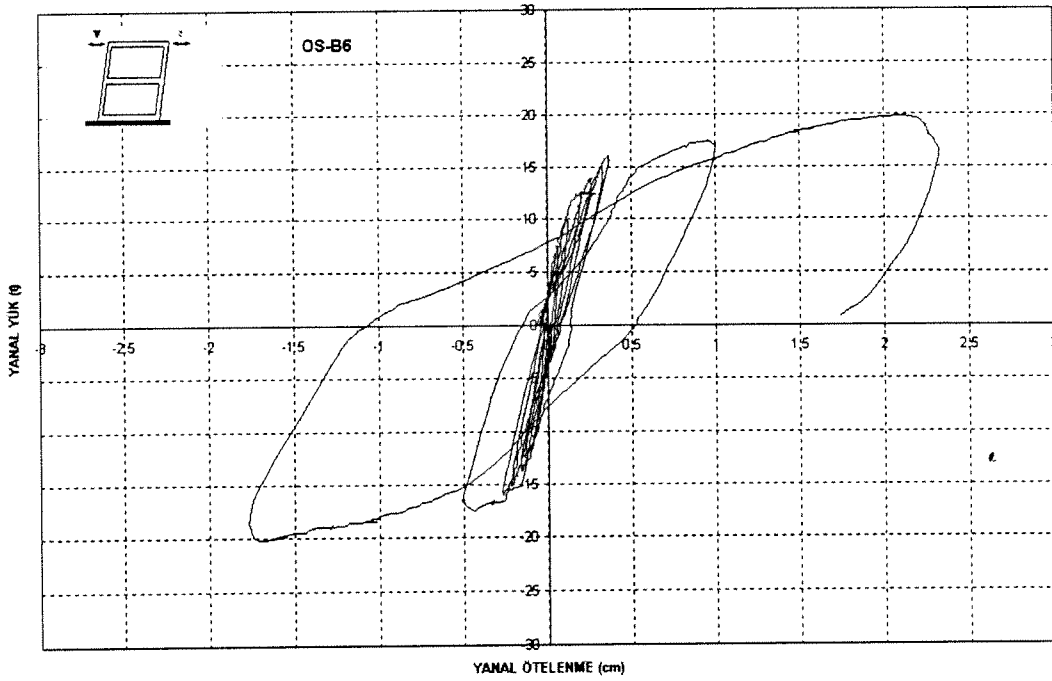
Şekil A29. Eleman OS-B5
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



Şekil A30. Eleman OS-B5
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



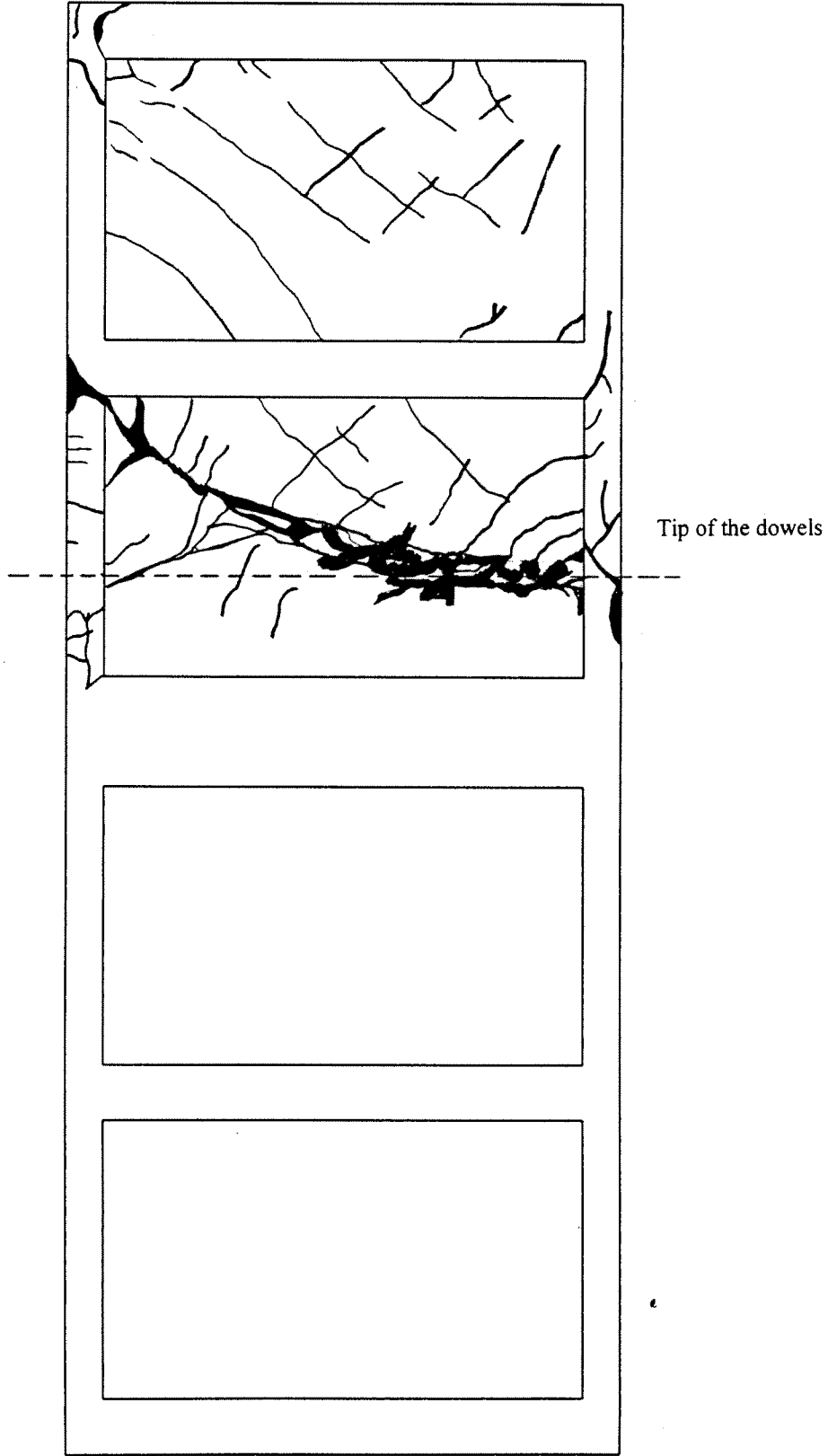
Şekil A31. Eleman OS-B6
1. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi



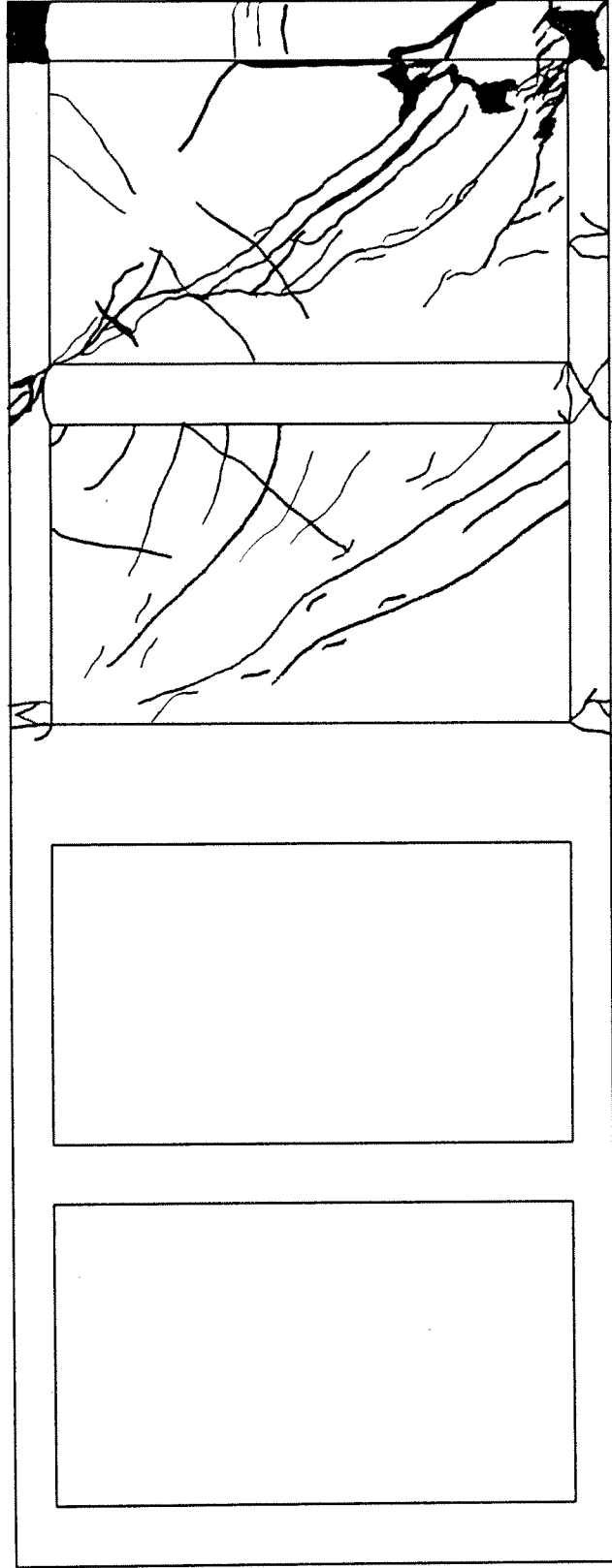
Şekil A32. Eleman OS-B6
2. Kat Yanal Yük-Ötelenme Eğrisi

EK-B

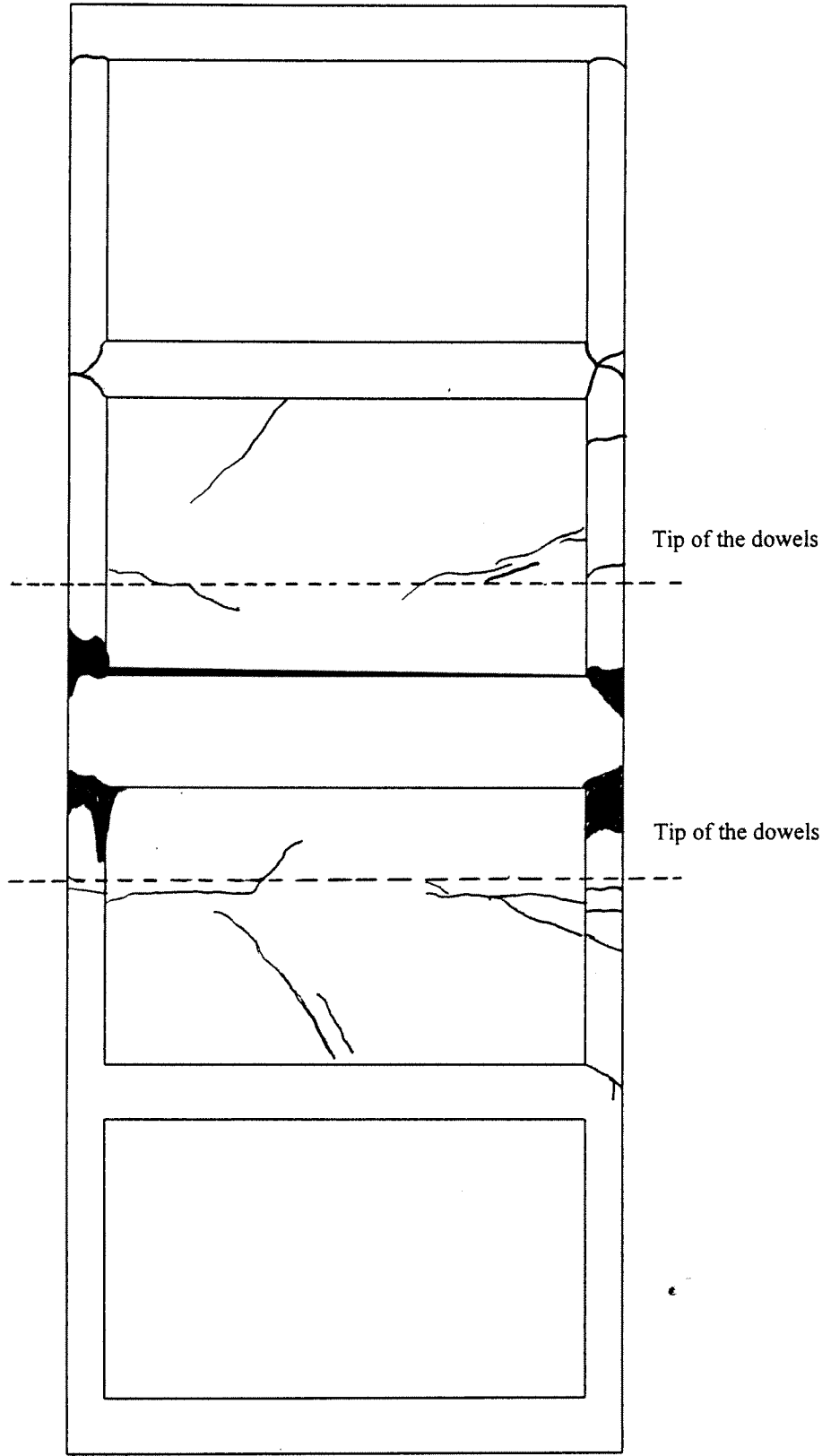
BETONARME DOLGU İLE ONARILMIŞ DENEY ELEMANLARININ, ÇATLAK HARİTALARI



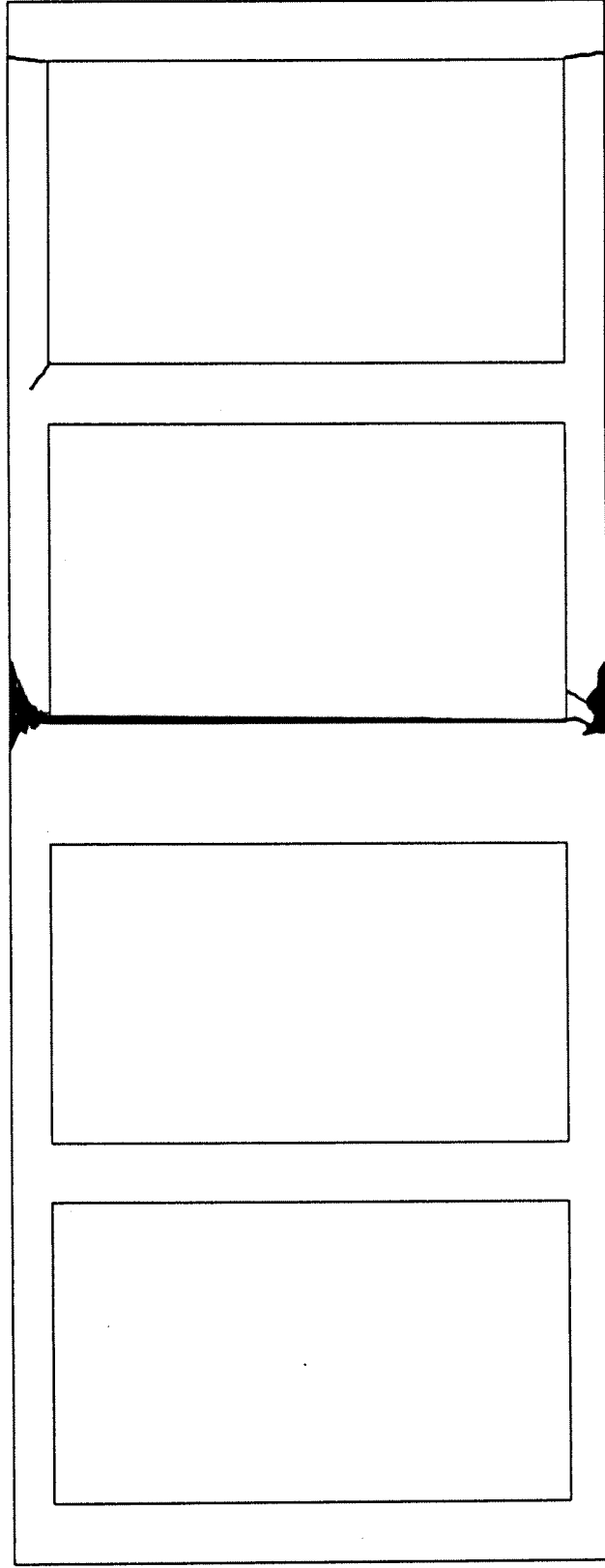
Şekil B1. MT-A2 Elemanının Çatlak Haritası
(Dolgulu çerçevenin göçme modu eğilme ve kayma kesmesi şeklinde olmuştur)



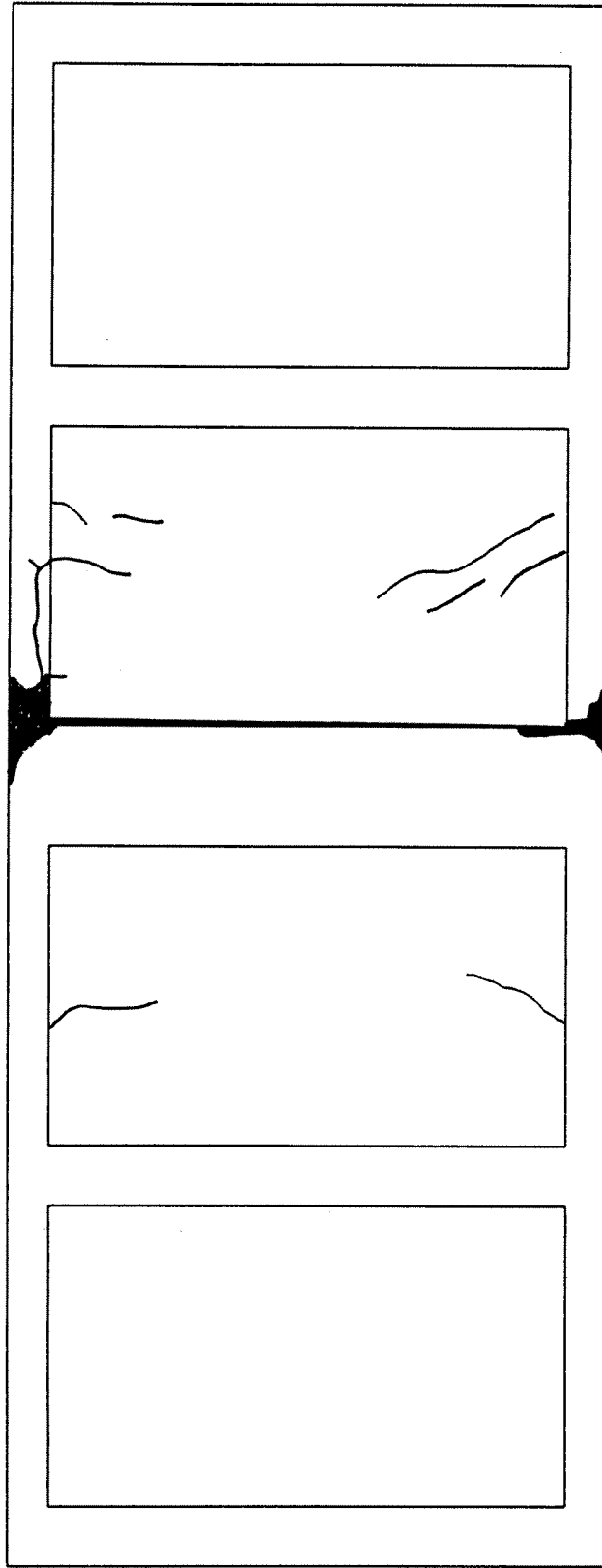
Şekil B2. MT-A4 Elemanının Çatlak Haritası
(Dolgulu çerçevenin göçme modu eğilme ve kayma kesmesi şeklinde olmuştur)



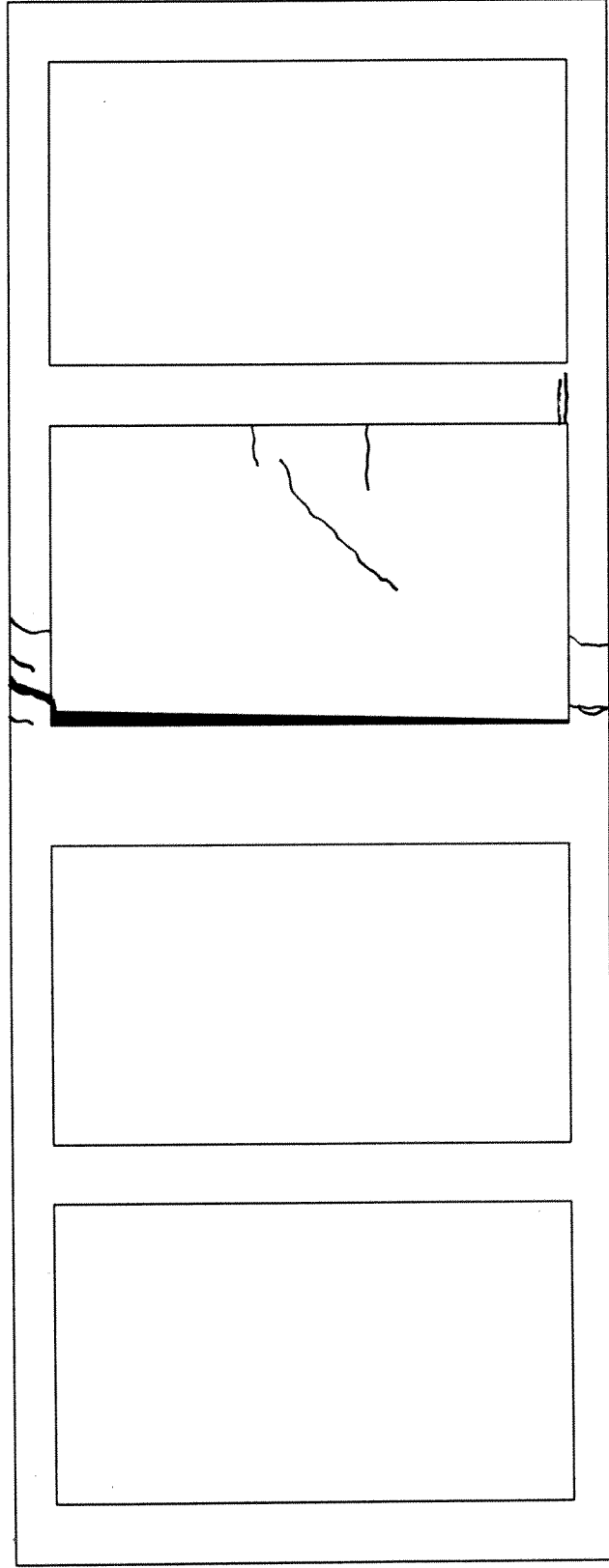
Şekil B3. MT-A6 Elemanının Çatlak Haritası
(Dolgulu çerçevenin göçme modu eğilme ve filizlerin temel kirişten sıyrılması şeklinde olmuştur)



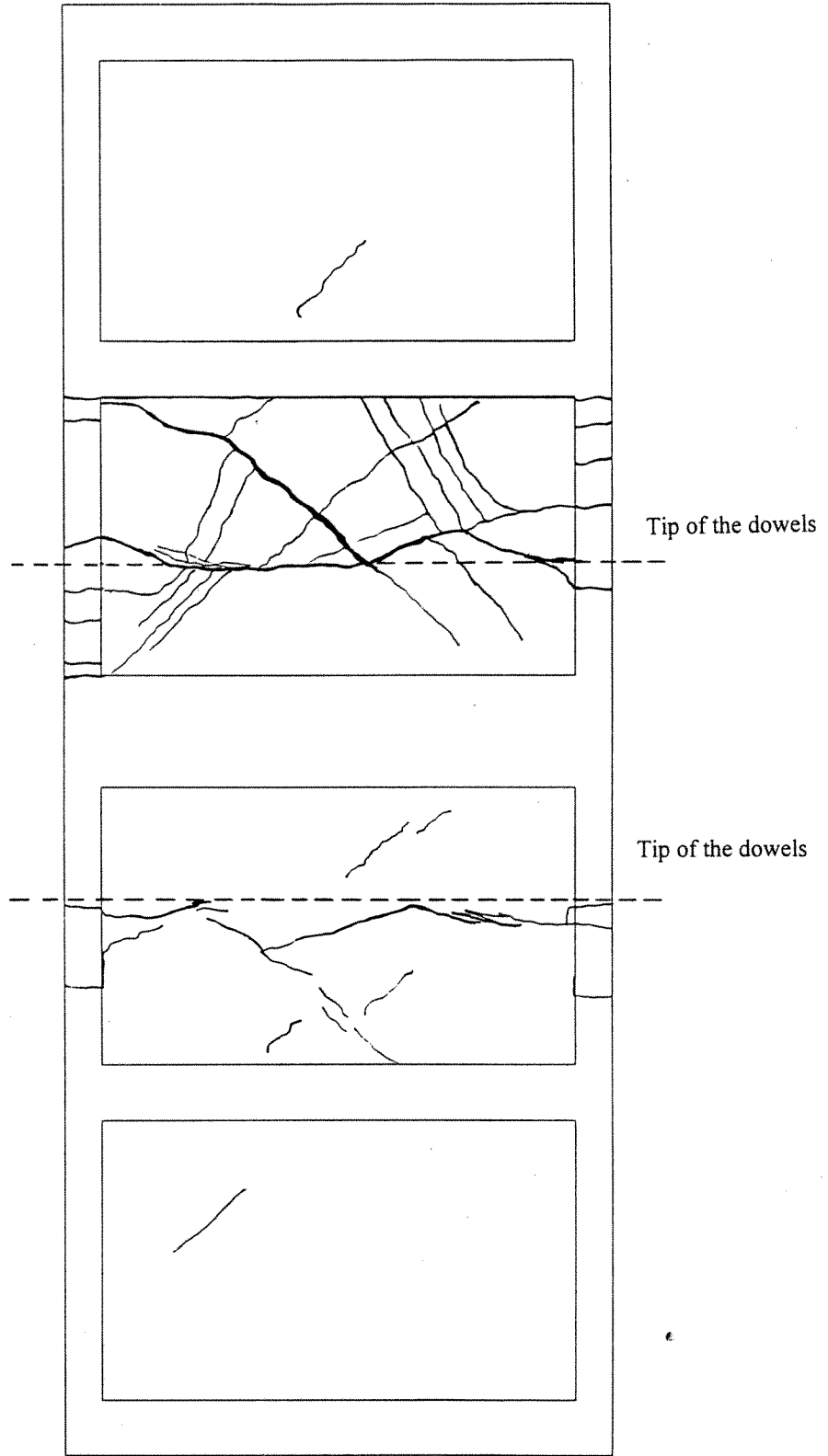
Şekil B4. MT-A8 Elemanının Çatlak Haritası
(Dolgulu çerçevenin göçme modu eğilme ve filizlerin temel kirişten sıyrılması şeklinde olmuştur)



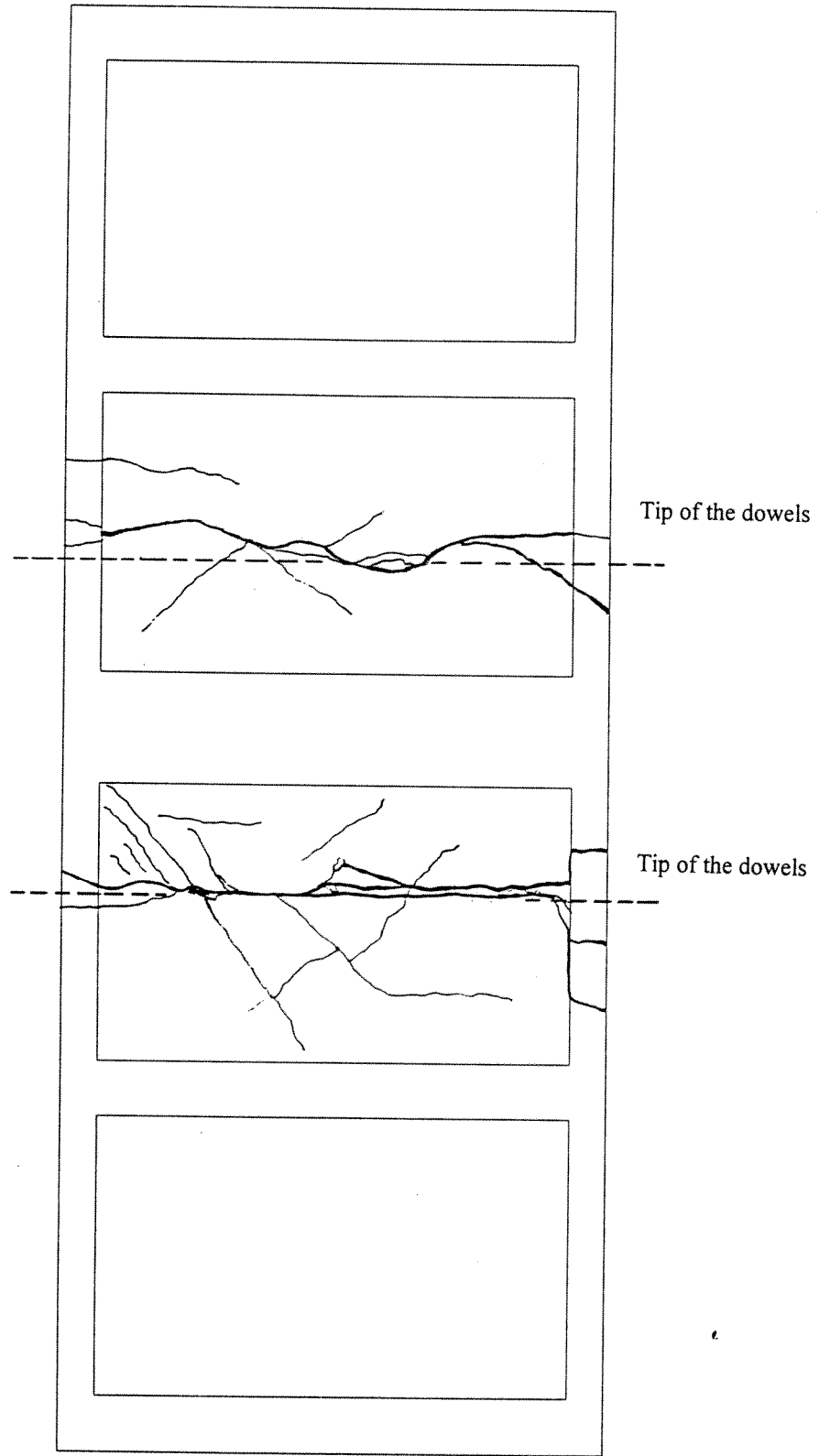
Şekil B5. MT-A10 Elemanın Çatlak Haritası
(Dolgulu çerçevenin göçme modu eğilme ve filizlerin temel kirişten sıyrılması şeklinde olmuştur)



Şekil B6. OS-B2 Elemanının Çatlak Haritası
(Dolgulu çerçevenin göçme modu erken filiz sıyırması şeklinde olmuştur)



Şekil B7. OS-B4 Elemanının Çatlak Haritası
(Dolgulu çerçevenin göçme modu eğilme şeklinde olmuştur)



Şekil B8. OS-B6 Elemanının Çatlak Haritası
(Dolgu çerçevenin göçme modu eğilme ve kayma kesmesi şeklinde olmuştur)

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU	
1- Proje No: İNTAG 537	2- Rapor Tarihi: 24 Ağustos 1998
3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1 Kasım 1994 – 30 Nisan 1998	
4- Projenin Adı: Betonarme Dolgu ile Onarılmış Çerçevesinin Deprem Davranışı	
5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Dr. Güney Özcebe, Dr. Uğur Ersoy, Dr. Tuğrul Tankut.	
6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.	
7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: ODTÜ, Ankara.	
8- Öz (Abstract)	
<p>Burada sonuçları verilen deneysel çalışmanın asıl amacı; çerçevedeki hasarın, dolgu çerçeve davranışı üzerinde neden olduğu etkilerin incelenmesidir. Bu amaçla raporun hazırlandığı bu tarihe kadar, 8 adet bir-açıklıklı, iki-katlı betonarme çerçeve, depremi benzeştiren tersinen-tekrarlanan yükler altında belirgin bir hasar oluşuncaya kadar denenmiştir. Daha sonra bu çerçeveler yerinde döküm betonarme dolgular ile onarılıp güçlendirildikten sonra depremi benzeştiren yükler altında denenmiştir.</p> <p>Birkaç eleman hariç, çerçeve elemanlarında yeterli sargı donatısı kullanılmamıştır. Ayrıca, elemanların detaylandırılmasında, deprem şartnamesinde belirtilen kriterler dikkate alınmamıştır. Gerçekte bu tip zayıflıklar, gerek Dinar, gerekse Erzincan depremlerinde oldukça yaygın olarak gözlemlenmiştir. Bu zayıflıklar kısaca; kolon-kiriş uç bölgelerinde sargı donatısında yeterli sıklaştırma uygulanmaması, kolon boyuna donatısındaki bindirme boyundaki yetersizlikler, kolon ve kiriş donatısındaki detay veya uygulama hataları (kiriş alt donatısı, üst donatı gibi kolonun sonuna kadar sokulup 90° bükülmemiş, ucu kanca yapılarak bir miktar kolona sokulmuştur) ve kötü beton kalitesi olarak özetlenebilir.</p> <p>Test edilen elemanların bir tanesinde, kolon boyuna donatısında bindirmeli ek bulunan bölge (yetersiz bindirme, 12 φ) çelik plakalar ile takviye edilmiş-mantolanmış, bunu takiben betonarme dolgu çerçeveye uygulanmıştır</p>	
Anahtar Kelimeler: Betonarme dolgu, takviye, onarım, güçlendirme.	
9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler:	
<ul style="list-style-type: none"> • Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Türk, M. and Sonuvar, O., "Behaviour of R/C Infill Frames, an Experimental Study", 2nd Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, February 1998, İstanbul, pp. 291-308. • Özcebe, G., Sucuoğlu, H., Ersoy, U. and Tankut, T., "Rehabilitation of Moderately Damaged R/C Buildings after the 1995 Dinar Earthquake", 11th ECEE, September 1998, Paris, France. • Türk, M., Ersoy, U., Karakoç, C., "Hasarlı Betonarme Çerçevesinin Dolgu Duvarlarla Onarımı", TÜBİTAK, İkinci Deprem Sempozyumu, 27-28 Kasım 1997, Ankara. • Gürses, Hakan, Master Tezi, tamamlandı. • Türk, Murat, Doktora Tezi, 1998'de tamamlanacak. • Sonuvar, Onur, Doktora Tezi, 1999'da bitmesi bekleniyor. 	
10- Bilim Dalı:	
Doçentlik B. Dalı Kodu:	ISIC Kodu:
Uzmanlık Alanı Kodu:	
11- Dağıtım(ı):	<input type="checkbox"/> Sınırlı <input checked="" type="checkbox"/> Sınırsız
12- Raporun Gizlilik Durumu:	<input type="checkbox"/> Gizli <input checked="" type="checkbox"/> Gizli Değil

(¹) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz