

**BİRDÖKÜM VE ÖNDÖKÜMLÜ BETONARME ÇERÇEVELERDE
DEPREM ENERJİSİNİN KONTROLLU PLASTİK MAFSAL
OLUŞUMU İLE TÜKETİLMESİ**

17

1997-147

1-96

PROJE NO: INTAG-545

ODTÜ İnşaat Müh. Böl.

PROF.DR. HALUK SUCUOĞLU
İNŞ.Y.MÜH. EMRE BAŞARAN
DOÇ.DR. GÜNEY ÖZCEBE

EYLÜL 1997

ANKARA

ÖNSÖZ

Deprem bölgelerinde inşa edilen birdöküm ve öndökümlü beton çerçeve sistemlerinin kiriş-kolon birleşim bölgeleri deprem yükleri altında anılan sistemlerin en hassas bölgelerini oluştururlar. Çağdaş deprem yönetmelikleri henüz birleşim bölgeleri için herkes tarafından kabul edilmiş sönümler üretememiştir. Sunulan rapor TÜBİTAK tarafından desteklenen INTAG 545 Projesi çerçevesinde birleşim bölgeleri için yapılan deneysel ve analitik çalışmaların sonuçlarını yansıtmaktadır.

Araştırmacılar projeye verdiği destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederler. Ayrıca projenin öndökümlü deney elemanlarının üretimine destek olan NİĞBAŞ ve MİTAŞ firmalarına, deneysel sonuçların yorumuna katkıda bulunan Prof.Dr. Uğur Ersoy'a araştırmanın planlanmasına yardımcı olan İnş.Y.Müh.Cumhur Kaur'a, bilgisayar modellerine katkıda bulunan İnş.Müh.Omane Nimako'ya teşekkürlerini sunarlar.

İÇİNDEKİLER:

1. Giriş	9
1.1 Kapasite Tasarımı	9
1.2 Kiriş - Kolon Birleşimlerinin Sismik Davranışı	9
1.2.1 Birdöküm Kiriş - Kolon Birleşimleri	9
1.2.2 Öndökümlü Beton Birleşimler	10
1.3 Araştırmanın Amacı	10
1.4 Birleşim Bölgeleriyle İlgili Önceki Yıllarda Yapılmış Çalışmalar	11
2. Betonarme Birleşimlerin Sismik Tasarımı	18
2.1 Birdöküm Birleşimler	18
2.1.1 ACI-ASCE Komite 352 Raporu	18
2.1.2 Türkiye Deprem Yönetmeliği TDY-96	19
2.2 Önüretim Birleşimler	19
2.2.1 UBC 94	19
2.2.2 TDY - 96	20
2.2.3 TS 9967	20
3. Deneysel Araştırmanın Tanımı	21
3.1 Giriş	21
3.2 Deney Elemanlarının Adlandırılması	21
3.3 Deney Simulasyonu	21
3.4 Deney Elemanları	22
3.4.1 MK1	22
3.4.2 MK2	23
3.4.3 MM1	23
3.4.4 MM2	24
3.4.5 PK	24
3.4.6 PM1	25
3.4.7 PM2	25

3.5 Malzeme Özellikleri	25
3.5.1 Çelik	25
3.5.2 Beton	25
3.6 Kesit Özellikleri	26
3.7 Deney Düzeneği	26
3.8 Deney Yöntemi	26
4. Deney Elemanlarının Gözlemlenen Davranışları	47
4.1 MK1	47
4.2 MK2	47
4.3 MM1	47
4.4 MM2	48
4.5 PK	48
4.6 PM1	49
4.7 PM2	49
5. Test Sonuçları	57
5.1 Giriş	57
5.2 Moment Kapasiteleri	57
5.3 Yük - Öteleme Eğrileri	58
5.4 Kayma Deformasyonları	58
5.5 Moment - Dönme Eğrileri	59
5.6 Uç Deplasman Bileşenleri	60
5.7 Enerji Tüketimi	61
5.8 Kırılma Mekanizmaları	62
6. Elastik Ötesi Çerçeve Davranışı	81
6.1 Statik İtme Testi (Push-Over Test)	81
6.2 Konvansiyonel Çerçevenin İtme Testi	82
6.3 Kiriş Üzerinde Mafsal Oluşturulan Çerçevenin İtme Testi	83
6.4 İtme Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması	84

7. Sonuç	91
7.1 Birdöküm Birleşim Referans Elemanları (MK1 ve MK2)	91
7.2 Kiriş Üzerinde Mafsal Oluşturulan Elemanlar (MM1 ve MM2)	92
7.3 Öndökümlü Elemanlar (PK, PM1, ve PM2)	93
7.4 Analitik İrdemeler	93

ŞEKİLLER

1.1 Birleşim Detayı (Bhatt, Kirk, 1985)	14
1.2 Birleşim Detayı (Seçkin, Fu, 1990)	14
1.3 Birleşim Detayları (French, Amu, Tarzıkhan, 1989)	15
1.4 Öndökümlü Bağlantı Detayı (Ochs, Ehsani, 1993)	16
1.5 Öndökümlü Bağlantı Detayı (Ersoy, Tankut, Özcebe, Yağcı, 1993)	16
1.6 Geliştirilmiş Öndökümlü Bağlantı Detayı (Ersoy, Tankut, Özcebe, Yağcı, 1993)	17
3.1 Prototip Yapı ve Kesit Boyutları	28
3.2 Deney Elemanı Boyutları	29
3.3 Donatı Detayı (MK1)	30
3.4 Donatı Detayı (MM1)	31
3.5 Çubuk Büküm Noktasının Hesabı	32
3.6 Donatı Detayı (MM2)	33
3.7 Donatı Detayı (PK)	34
3.8 Bağlantı Detayı (L-profiller)	35
3.9 Bağlantı Detayı (T-profiller)	36
3.10 Donatı Detayı (PM1)	37
3.11 Donatı Detayı (PM2)	38
3.12 Kiriş Moment-Eğrilik Grafikleri	39
3.13 Kolon Etkileşim Eğrisi	40
3.14 Deney Düzeneği	41
3.15 Deney Elemanının Deney Düzeneği İçinde Görünümü	42
3.16 Deney Elemanının Deney Düzeneği İçinde Görünümü	42
3.17 Ölçüm Aygıtları Yerleşim Planı	43
3.18 Hedeflenen Kontrollü Deplasman Döngüleri	44
4.1 Dördüncü Döngüde MK1 Birleşiminin Görünüşü	50
4.2 Altıncı Döngüde MK1'in Görünüşü	50
4.3 Deney Bitiminde MK1'in Görünüşü	51
4.4 Deney Bitiminde MK2'nin Görünüşü	51

4.5 Aşağı Yüklemede MM1’de	
Akmadan Dolayı Oluşan Çatlaklar	52
4.6 Yukarı Yüklemede MM1’de	
Akmadan Dolayı Oluşan Çatlaklar	52
4.7 MM1’de Plastik Mafsal Bölgesi	53
4.8 MM1’in Kolon Tepesinde Oluşan Kabuk Ezilmesi	53
4.9 Deney Sonunda MM1’in Görünüşü	54
4.10 Beşinci Döngüde MM2’de Oluşan Mafsal Bölgesi	54
4.11 Deney Sonunda MM2’de Görülen Mafsallaşma	55
4.12 Kırılmadan Az Önce PK’nın Görünüşü	55
4.13 PK’nın Otopsi Sonrası Görünüşü	56
4.14 Kopmuş Kiriş Çubuklarının Yakından Görünüşü	56
5.1 Uç Deplasman Bileşenleri	63
5.2 Yük - Öteleme Eğrileri (MK1, MK2)	64
5.3 Yük - Öteleme Eğrileri (MM1, MM2)	65
5.4 Kesme - Birim Deformasyon Eğrileri	66
5.5 Moment – Dönme Eğrileri (MK1)	67
5.6 Moment - Dönme eğrileri (MK2)	68
5.7 Moment - Dönme Eğrileri (MM1)	69
5.8 Moment – Dönme Eğrileri (MM2)	70
5.9 Uç Deplasman Bileşenleri (MK1)	71
5.10 Uç Deplasman Bileşenleri (MK2)	72
5.11 Uç Deplasman Bileşenleri (MM1)	73
5.12 Uç Deplasman Bileşenleri (MM2)	74
5.13 Toplam Enerji Tüketimi	75
5.14 Enerji Bileşenleri (MK1, MK2)	76
5.15 Enerji Bileşenleri (MM1, MM2)	77
6.1 Çerçevelerin Kapasite Eğrileri	86
6.2 Konvansiyonel Çerçevenin Yıkılma Mekanizması	87
6.3 Kirişleri Zayıflatılmış Çerçevenin Yıkılma Mekanizması	89

TABLULAR

3.1 Kat Yerdeğiştirme Hesaplamaları	45
3.2 Kolon ve Kiriş Çelik Oranları	45
3.3 Donatı Özellikleri	46
3.4 Beton Silindir Dayanım Sonuçları	46
5.1 Moment Kapasitesi Hesaplamaları	78
5.2 Moment Kapasitesi Hesaplamaları (kırılmış çubuklar hesaba katılmadan)	78
5.3 Kırılma Mekanizmaları (hesaplanan)	79

ABSTRACT

SEISMIC ENERGY DISSIPATION IN REINFORCED AND PRECAST CONCRETE FRAMES THROUGH RELOCATED BEAM PLASTIC HINGES

The effect of relocating beam plastic hinging zone is investigated in this study. For this purpose seven exterior joint sub-assemblies of a frame were tested. Four of the sub-assemblies were monolithic, whereas the other three sub-assemblies utilizing a dry connection detail were precast specimens. Both monolithic and precast sets had conventionally designed reference specimens. In the remaining specimens, it was aimed to relocate the potential plastic hinging zone away from the beam-column interface, hence ensure elastic joint behaviour throughout the reversed loading cycles. In the specimens designed with this approach, top and bottom beam bars were bent 45 degrees to reduce the moment capacity at the selected location. The variable among the two specimens of monolithic and precast sets which utilizes this design scheme was the amount of reduction in the beam flexural capacity.

The behaviour of the specimens was compared in terms of strength, stiffness, and energy dissipation. Due to the unexpected brittle failure of the precast specimens, the effect of relocating the beam plastic hinging zone on their joint behaviour could not be observed. However, the test results for the monolithic specimens indicated that the shear stresses at the joint, hence the shear capacity demand were significantly reduced when the plastic hinge was formed away from the joint.

The test results indicated that flexural capacity reduction of 30-35% is optimum for satisfactory performance. However, it is necessary to conduct more studies to implement specific design recommendations.

Keywords: Plastic hinge, beam-column joint, precast connection, seismic behaviour

ÖZ

BİRDÖKÜM VE ÖNDÖKÜMLÜ BETONARME ÇERÇEVELERDE DEPREM ENERJİSİNİN KONTROLLU PLASTİK MAFSAL OLUŞUMU İLE TÜKETİLMESİ

Bu araştırma programında kiriş plastik mafsallı birleşim kapasitesinin kiriş-kolon birleşim davranışına olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla betonarme bir çerçeveye ait yedi dış birleşim deney elemanı test edilmiştir. Bu elemanlardan dört tanesi birdöküm olarak hazırlanmıştır. Kuru bir birleşim detayı ile tasarlanan diğer üç eleman ise prefabrik olarak üretilmiştir. Her iki deney elemanı seti konvansiyonel olarak tasarlanmış referans elemanları ve yeni bir tasarım yaklaşımının kullanıldığı elemanlardan oluşmuştur. Yeni tasarım yaklaşımıyla amaçlanan, plastik mafsallaşma bölgesinin kiriş-kolon arayüzünden uzaklaştırılması ile birleşim bölgesinde tersinir yükleme altında oluşan zorlamaların azaltılması ve kontrollü enerji tüketiminin sağlanmasıdır. Bu yaklaşımla tasarlanan deney elemanlarında kiriş üst ve alt boyuna donatıları 45 derece bükülmüş ve böylece seçilen bölgede moment kapasitesi azaltılmıştır. Bu donatı detayını kullanan deney elemanlarında kapasite azaltımı miktarı değişken olarak seçilmiştir.

Deney elemanlarının davranışları birbirleriyle dayanım, rijitlik ve enerji tüketimi açısından karşılaştırılmıştır. Öndökümlü elemanlar ani olarak kırılmış ve kirişte mafsallı oluşturmanın etkileri bu elemanlarda gözlemlenememiştir. Fakat birdöküm eleman deneyleri plastik mafsallı ötelemesinin elemanın enerji-tüketim özelliklerine olumlu katkı yaptığını ve birleşim bölgesindeki gerilmeleri azalttığını göstermiştir.

Test sonuçları % 30-35 arası bir kapasite azaltımının başarılı bir birleşim davranışı için yeterli olduğunu göstermiştir. Ancak belirli tasarım kurallarının ortaya konulabilmesi için daha fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: plastik mafsallı, kiriş-kolon birleşim bölgeleri, öndöküm bağlantılar, sismik davranış

1. GİRİŞ

1.1. Kapasite Tasarımı

Binaların şiddetli depremlerden çökmeden kurtulabilmeleri için yüksek süneklığe ve enerji tüketme kapasitesine sahip olmaları gerekir. Bina çerçeve sistemleri deprem enerjisini plastik deformasyonlarla tüketirler. Plastik deformasyonların eğilme etkisi altında kesit mafsallaşması ile sağlanması tercih edilir. Kapasite tasarımında amaç binada gerekli enerji tüketimini minimum yanıl ötelenmeyle sağlamaktır. Bunun için statik olarak uygun olan bir plastik mekanizma seçilir. Bu mekanizmayla, oluşacak plastik mafsal bölgelerinin yerleri belirlenir. Olası plastik mafsal bölgeleri momentin maksimum olduğu kolon ve kiriş uçlarıdır. Stabilitenin korunabilmesi için plastik mafsalların ağırlıklı olarak kirişlerde oluşması gerekir. Bu amaçla kapasite tasarımı yönteminde binanın her birleşiminde kolon moment kapasiteleri toplamı, kiriş moment kapasiteleri toplamından belirli bir oranda yüksek tutulur. Böylece binanın davranışı, etkiyen yer hareketi özellikleri ne olursa olsun kontrol altına alınmış olur.

1.2. Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Sismik Davranışı

Kapasite tasarımı amaçlarına ulaşılabilmesi için betonarme çerçevelerde deprem etkisi altında kiriş-kolon birleşimlerinin hasar görmemesi istenir. Bu amaçla birdöküm ve öndökümlü birleşimlerin sismik davranışlarının irdelenmesi gereklidir.

1.2.1. Birdöküm Kiriş-Kolon Birleşimleri

Birdöküm kiriş kolon birleşimlerinin sismik davranışıyla ilgili çalışmalar ancak son yirmi yılda gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni birleşim kırılması sonucu yıkılan bina sayısının yok denecek kadar az olması ve bu sebeple birleşim bölgesi sismik davranışının son zamanlara kadar önemsenmemesidir. Geçmiş depremlerde pekçok bina kiriş ve kolonların kötü detaylandırılması sonucu birleşim bölgelerinde yüksek gerilmeler oluşmadan yıkılmıştır. Son deprem yönetmeliklerinde kiriş ve kolonların elastik ötesi davranışlarını sağlayan detayların zorunlu hale gelmesi sebebiyle birleşim bölgelerine verilen önem artmıştır.

Kapasite tasarımı yöntemiyle tasarlanan çerçevelerde plastik mafsal öncelikle kirişlerin kolon yüzünde oluşur. Donatının birleşim bölgesi arayüzünde akması, birleşim bölgesinde yüksek kesme gerilmeleri oluşmasına yol açar. Günümüz yönetmelikleri bu gerilmelerin emniyetle taşınabilmesi için birleşim bölgesinde yüksek oranda kesme donatısını şart koşturmaktadır. Donatının birleşim bölgesinde akması ayrıca ciddi aderans problemlerine de yol açar. Yönetmelikler bunu göz önüne alarak kolon boyutlarının arttırılmasını önerirler.

1.2.2. Öndökümlü Beton Birleşimler

Öndökümlü çerçeveler, öndökümlü beton elemanların çeşitli bağlantı detaylarıyla birleştirilmeleri ile oluşturulur. Bu birleşimler detayları yapısal davranışları açısından üç sınıfa ayrılır:

- 1) elastik birleşimler
- 2) düktil (enerji tüketen) birleşimler
- 3) mafsallı (moment aktarmayan) birleşimler

Deprem tehlikesinin az olduğu bölgelerde mafsallı birleşimler çokça kullanılmaktadır. Ancak birinci derece deprem bölgelerinde bağlantı detaylarının moment aktarması stabilite açısından gereklidir. Bugüne kadar moment aktaran düktil birçok birleşim detayı geliştirilmiştir. Fakat bunlar öndökümün getirdiği asgari işçilik ve kısa montaj süresi gibi avantajlarla çelişen detaylar olmuştur. Ayrıca bu detayların monolitik birleşimlere göre dayanım ve süneklilik açısından bazı dezavantajları da vardır. Bütün bunların sonucu olarak bugün deprem bölgelerinde öndökümlü moment aktaran çerçeve uygulamaları çok sınırlı düzeydedir.

1.3. Araştırmanın Amacı

Plastik mafsallı birleşim yüzünde olduğu çerçevelerde birleşim bölgesi yüksek kesme gerilmelerine maruz kalır. Ayrıca kiriş çubuklarının birleşim bölgesinde akması aderans problemlerine yol açar. Bu iki problem nedeniyle bugünkü yönetmelikler birleşim bölgesinde fazla miktarda kesme donatısı kullanılmasını ve kolon kesit boyutlarının birleşim bölgesinde

gerekli kesme kapasitesini sağlayacak kadar artırılmasını şart koşmuşlardır. Bu deneysel çalışmada plastik mafsalm kolon yüzünden kirişe doğru itilmesi ve plastik moment kapasitesinin azaltılmasıyla birleşim bölgesinde oluşan problemlerin azaltılması, ve bugünkü yönetmeliklerdeki koşulların olabildiğince hafifletilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle dördü birdöküm, üçü öndöküm olmak üzere yedi adet deney elemanı test edilmiştir. İlk birdöküm eleman bugünkü yönetmelikleri sağlayan referans elemanıdır. Diğer elemanlarda kolon boyutları ve birleşim bölgesi kesme donatısı azaltılmış, mafsal ötelenmesi etkileri bu elemanlarda gözlenmiş ve referans elemanı ile karşılaştırma yapılmıştır. Moment aktaran bir bağlantı detayının uygulandığı öndökümlü elemanlarda da aynı amaç güdülmüştür.

1.4. Birleşim Bölgeleriyle İlgili Önceki Yıllarda Yapılmış Çalışmalar

Son yirmi yılda birleşim bölgesi davranışı yeni tasarım yaklaşımlarıyla önem kazanmış ve bu nedenle birçok deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların çok büyük bir bölümü birdöküm birleşimlerle ilgili olup bugünkü yönetmeliklerin gelişmesini sağlamıştır. Öndökümlü birleşimlerle ilgili çalışmalar daha çok moment aktaran düktil birleşimler geliştirmek amacıyla yapılmıştır. Birleşimlerle ilgili bu çalışmaların bir bölümü aşağıda özetlenmiştir.

Üzümeri [1] : Betonarme kiriş-kolon birleşimlerinin deprem yükleri altındaki davranışını incelenmiş, kesme donatısı çapı, miktarı ve özelliklerinin davranışa olan etkilerini araştırılmıştır. Deneyler sonucunda birleşim bölgesi kesme donatısının akmayı önleyecek miktarda kullanılması gerektiği görülmüştür. Ayrıca birleşimler hakkında rasyonel tasarım ilkelerinin ortaya konulabilmesi için birleşimden beklenen davranışın belirlenmesi gerektiği bu çalışmada belirtilmiştir.

Galunic, Bertero, Popov [2] : Araştırmacılar iç kiriş-kolon birleşimlerinde, mafsallaşma kiriş uçlarında oluştuktan sonra meydana gelen aderans problemini ortadan kaldırmak için mafsalı kirişe doğru kaydırmayı denemişlerdir. Bunun için iki tip donatı detayı kullanılmıştır. Birincisinde alt ve üst kiriş donatıları 45 derece kırılmak suretiyle belirli bir

noktada moment kapasitesi azaltılmıştır. İkinci detayda kiriş demirlerinden bazıları kısa tutularak kapasite azaltımına gidilmiştir. Deneylerde her iki detay da işlev görmüş ve birleşim bölgesinde aderans problemiyle karşılaşılmamıştır. Ancak birinci detay daha olumlu bir mafsalsal davranışı sağlamıştır.

Meinhelt, Jirsa [3] : Araştırmacılar birdöküm betonarme birleşimlerin salt kesme dayanımını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Deneyler sonucunda kesme donatısının, kolon aksenal yükünün ve enine kirişlerin kesme dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Abdel-Fattah, Wight [4] : Bu çalışmada mafsalsal ötelemesinin birdöküm kiriş-kolon birleşim davranışına olan etkileri incelenmiştir. Kiriş uçlarına konan 1.5d uzunluğundaki fazladan çubuklar sayesinde kiriş ucunda moment kapasitesi artırılmış, mafsalsal kirişe doğru kaydırılmaya çalışılmıştır. Deneyler çok olumlu sonuçlar vermiş, mafsalsal itilmesiyle birleşim bölgesindeki gerekli kesme donatısının azaltılabileceği görülmüştür.

Al-Haddad, Wight [5] : Mafsalsal itilmesinin bütün bir çerçeve davranışına olan etkileri bu analitik çalışmada incelenmiştir. El Centro depremi yer hareketi etkisi altında, seçilen model çerçevelerin gösterdiği davranışlar incelenmiş ve plastik mafsalsalın kolon yüzünden kirişe doğru itildiği çerçevelerin davranışlarında olumsuz bir sonuçla karşılaşılmamıştır.

Tsonos, Tegos, Penelis[6] : Araştırmacılar kolon boyuna çubuklarını birleşim bölgesinde çapraz kırarak, kesme dayanımını arttırmayı hedeflemişlerdir. Deneyler olumlu sonuçlar vermiştir.

Agbabian, Higazy, Abdel-Ghaffar, Elnashai [7] : Bu çalışmada kolon aksenal yükünün az olduğu durumlarda birleşim bölgesi davranışı incelenmiştir. Deney sonuçları depremin düşey bileşeni nedeniyle aksenal yükün anlık azalmasıyla birleşim bölgesi kesme dayanımının da azaldığını göstermiştir.

Bhatt, Kirk [8] : Bu araştırmacılar Şekil 1.1'de görülen düktil moment taşıyıcı öndökümlü bağlantı detayını denemişler, başarılı bir davranış elde etmişlerdir.

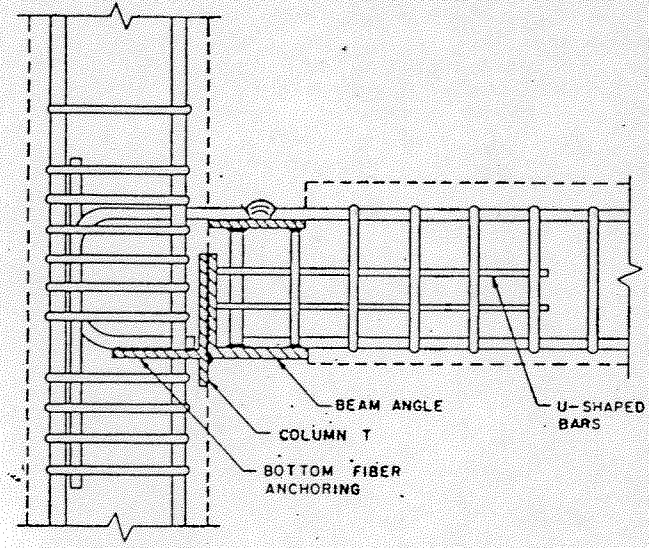
Seçkin, Fu [9] : Bu çalışmada Şekil 1.2’de görülen öndökümlü bağlantı detayı uygulanmıştır. Kısmen başarılı bir davranış gözlenmiştir.

French, Amu, Tarzikhan [10] : Araştırmacılar Şekil 1.3’de görülen öndökümlü bağlantı detaylarını test etmişlerdir. Bu detaylarda öngermeli tendon ve çubuklar kullanılmış ve mafsallı kiriş üzerinde oluşacak şekilde düzenlenmiştir. Genel olarak başarılı davranış elde edilmiştir.

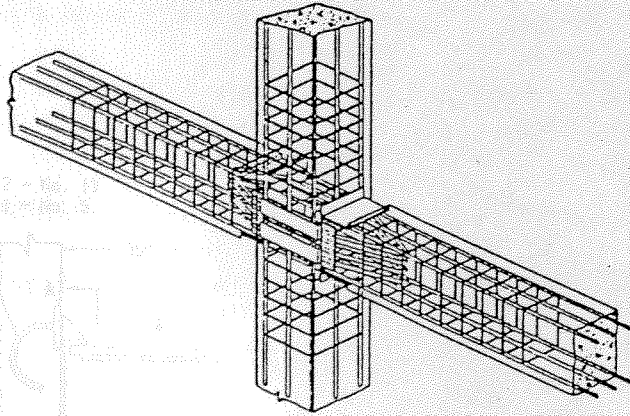
Ochs, Ehsani [11] : Araştırmacılar Şekil 1.4’de gösterilen öndökümlü bağlantı detayını geliştirmişler ve mafsallı kiriş ucuna yerleştirdikleri fazla çubuklar sayesinde kirişe kaydırmayı tasarlamışlardır. Deneylede plastik deformasyonların birleşim bölgesinden uzakta oluşması bağlantıyı oldukça rahatlatmış ve başarılı bir davranış elde edilmiştir.

Ersoy, Tankut, Özcebe, Yağcı [12] : Bu geniş kapsamlı öndökümlü bağlantı çalışmasında ilk olarak Şekil 1.5’de görülen bağlantı detayı ele alınmıştır. Deneylelerden elde edilen veriler değerlendirilerek bir detay geliştirilmiş (Şekil 1.6) ve tekrar test edilmiştir. Deneyleden başarılı bir sonuç elde edilmesinden sonra kiriş kapasitesi artırılarak geliştirilmiş detay tekrar denenmiş, ancak istenen davranış gözlenememiştir. Bunun üzerine kiriş çubuklarının 45 derece kırılması yoluyla mafsallı itilmesi yoluna gidilmiş ve geliştirilmiş bağlantı detayından başarılı bir davranış elde edilmiştir.

Sucuoğlu [13] : Yürütülen analitik çalışmada mafsallı itilmesinin global çerçeve davranışına olan etkileri incelenmiştir. El Centro ve Erzincan depremleri yer ivmeleri kullanılarak dokuz adet çerçeve incelenmiştir. Bu analizler sonucunda plastik mafsallı kiriş üzerine itilmesinin çerçeve davranışına herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı görülmüş ve plastik mafsallı için optimum yerin kolon yüzünden bir kesit derinliği kadar olan uzaklık olduğu sonucuna varılmıştır.

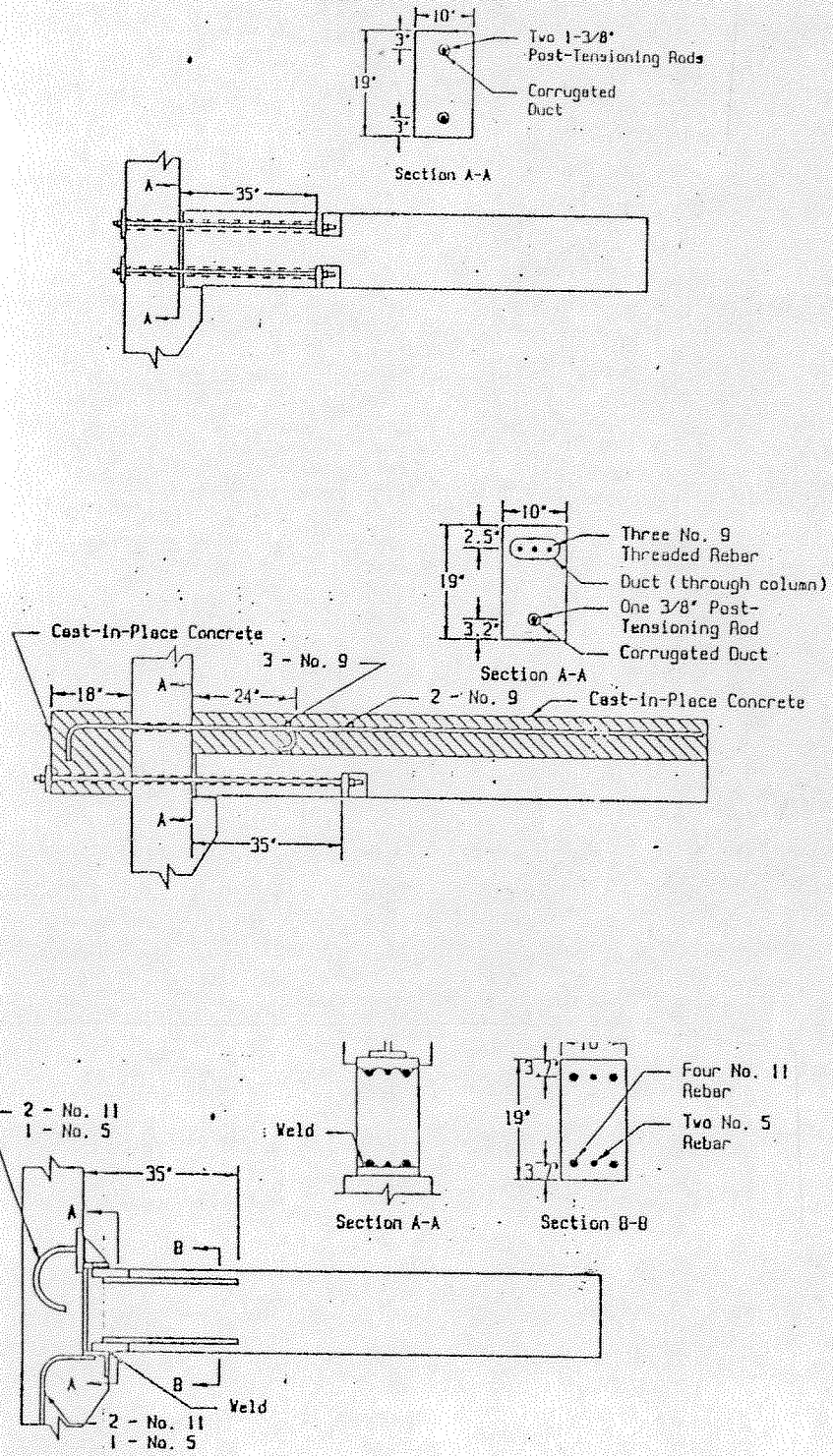


Şekil 1.1 Öndökümlü Bağlantı Detayı (Bhatt,Kirk,1985)

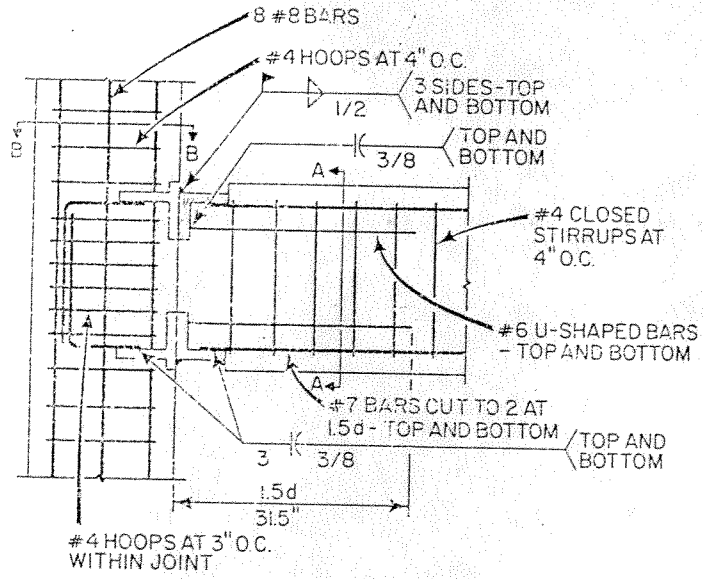


Şekil 1.2 Öndökümlü Bağlantı Detayı (Seçkin,Fu,1990)

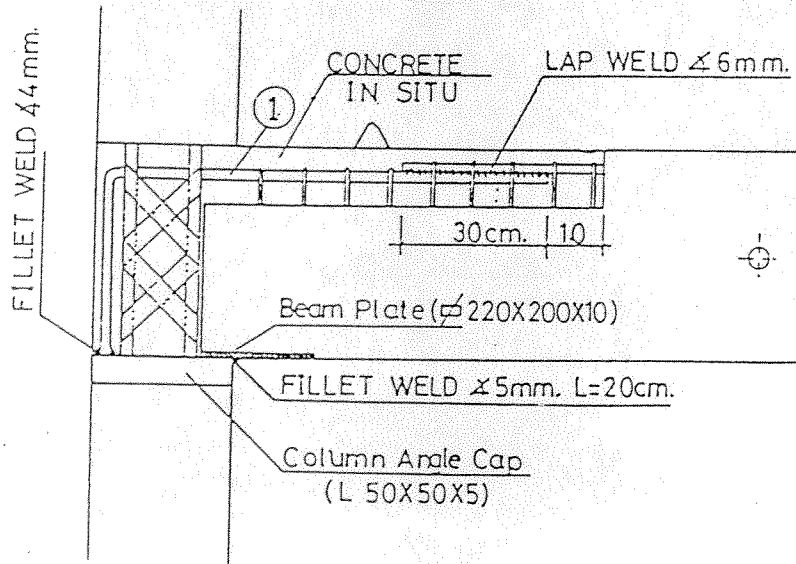
Şekil 1.3 Öndökümlü



Şekil 1.3 Öndökümlü ve Öngermeli Bağlantı Detayları (French,Amu,Tarzikhan,1989)



Şekil 1.4 Öndökümlü Bağlantı Detayı (Ochs,Ehsani,1993)



Şekil 1.5 Öndökümlü Bağlantı Detayı (Ersoy, Tankut, Özcebe, Yağcı, 1993)

LİNETONARMIĞI

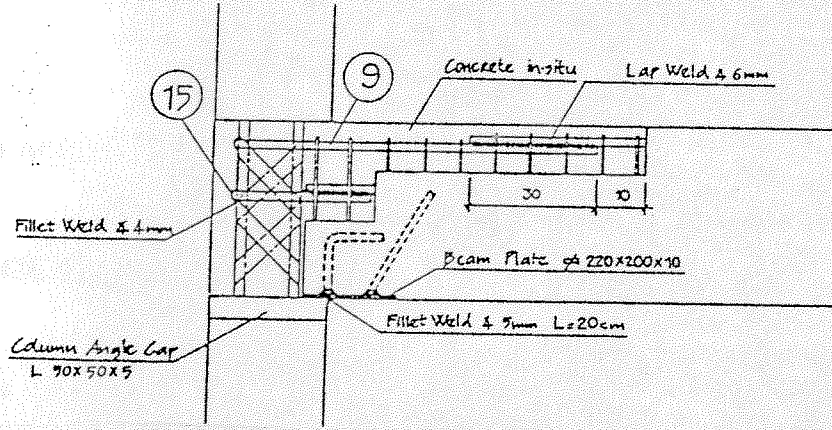
Sev. yd. v. t.

stajının daha

Bu çalışmada

alıştırılmıģtır

urlepinin b6lgesinde



Şekil 1.6 Geliştirilmiş Öndökümlü Bağlantı Detayı (Ersoy, Tankut, Özcebe, Yağcı, 1993)

2. BETONARME BİRLEŞİMLERİN SİSMİK TASARIMI

Denklem (2.1) Arayış

Son yıllarda birleşim bölgesinin betonarme binaların deprem davranışına olan etkilerinin daha iyi anlaşılmasıyla birlikte, bu konuda birçok deneysel araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda günümüz yönetmeliklerinin birleşim bölgeleriyle ilgili koşulları oluşturulmuştur. Bu bölümde çeşitli yönetmeliklerde yer alan birdöküm ve öndökümlü birleşim bölgeleriyle ilgili koşullar incelenmektedir.

2.1. Birdöküm Birleşimler

2.1.1. ACI-ASCE Komite 352 Raporu [14]

Bu rapora göre birleşim bölgesinde kullanılacak toplam etriye alanı Denklem 2.1 ile hesaplanacaktır.

$$A_{sh} = 0.3 \cdot s_h \cdot h'' \cdot f_c' / f_{yh} \cdot (A_g / A_c - 1) \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemle hesaplanan alan Denklem 2.2'den hesaplanan alandan az olmayacaktır.

$$A_{sh} \geq 0.09 \cdot s_h \cdot h'' \cdot f_c' / f_{yh} \quad (2.2)$$

Denklemlerdeki semboller aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1 s_h = ardışık iki etriye arası uzaklık

h'' = alanın hesaplandığı yöne dik doğrultuda kolon göbek boyutu

f_c' = birleşim bölgesinde beton basınç dayanımı

f_{yh} = etriye akma dayanımı

2.1.2 A_c = kolon göbek bölgesi kesit alanı

2.1.3 A_g = kolon toplam kesit alanı

Bu yönetmeliğe göre ayrıca birleşim bölgesine etki eden maksimum kesme kuvveti Denklem (2.3) ile verilen değerin %85'ini geçmemelidir.

$$V_n = 0.083 \gamma \sqrt{f'_c} b_j h \quad (2.3)$$

2.1.2. Türkiye Deprem Yönetmeliği-TDY97 [15]

Yeni yürürlüğe giren Türkiye Deprem Yönetmeliğinde birleşim bölgesine yerleştirilen kesme donatısı, birleşime saplanan enine kirişlerin durumuna göre belirlenmektedir. Bu yönetmeliğe göre dört taraftan kirişlerle kuşatılan birleşim bölgelerinde, kolon sıklaştırma bölgesine yerleştirilen kesme donatısının en az %40'ı kullanılmalıdır. Bunun dışındaki birleşimlerde bu oran %60'dır. Birleşim bölgesine etkiyen maksimum kesme kuvveti ise sınırlanmıştır. Birleşim kesme kuvvetinin denklem (2.4)'de verilen değeri aştığı durumda kolon boyutlarının artırılması gerekmektedir.

$$V_d < 0.5 f_{cd} b_j h_c \quad (\text{dört taraftan kuşatılmış birleşimler}) \quad (2.4.a)$$

$$V_d < 0.3 f_{cd} b_j h_c \quad (\text{diğer birleşimler}) \quad (2.4.b)$$

2.2. Öndökümlü Birleşimler :

2.2.1. UBC 94 [16]

Bu yönetmelikte önretim birleşimlerle ilgili kesin koşullar belirtilmemiştir. Sadece, birdöküm birleşimler için ortaya konan koşulların önretimli birleşimler için de geçerli olduğu açıklanmıştır.

2.2.2. TDY-97

Aynı UBC yönetmeliği gibi bu yönetmelik de, deprem bölgelerinde kullanılacak öndökümlü çerçevelerin birdöküm çerçeveler için ortaya konmuş tasarım koşullarını sağlamasını şart koşmuştur. Buna ek olarak deprem bölgelerinde mafsallı birleşim detaylarını tümüyle yasaklamış, moment aktaran bileşimlere ise ancak deneysel olarak kanıtlanmış dayanım ve sünekliliğe sahip olmaları koşulu ile izin vermiştir.

2.2.3. TS 9967 [17]

Bu yönetmelikte öndökümlü elemanlar ve birleşimlerle ilgili tasarıma yönelik kuralların yanında, üretim ve montaj ile ilgili çeşitli öneriler verilmiştir. Birleşimlerle ilgili detay ve öneriler oldukça yüzeysel olup herhangi bir hesap yöntemi sunulmamıştır.

3. DENEYSEL ARAŞTIRMANIN TANIMI

3.1 Giriş

ODTÜ İnşaat Mühendisliği Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada yedi adet deney elemanı test edilmiştir. Bu elemanlardan dört adedi birdöküm, diğer üçü ise öndökümlüdür. Çalışmanın amacı gerek birdöküm, gerekse öndökümlü çerçevelerdeki birleşim bölgesi davranışının plastik mafsallın kiriş üzerine doğru itilmesiyle iyileştirilmesidir. Deneylerden elde edilen sonuçlar analitik bir çalışmayla da desteklenmiştir.

3.2. Deney Elemanlarının Adlandırılması

Bu raporda deney elemanları iki harf ve bir numara (1 ya da 2) ile ayırt edilmiştir. Birdöküm elemanlar M, öndökümlü elemanlar ise P ile gösterilmiştir. Konvansiyonel birdöküm elemanlar MK1 ve MK2, mafsal itilmesinin uygulandığı elemanlar ise MM1 ve MM2 olarak adlandırılmışlardır. Aynı sistem önüretimli elemanlar için de izlenmiştir.

3.3. Deney Simülasyonu

Deney elemanlarının boyut ve donatılarını belirlemek amacıyla önce Şekil 3.1'de görülen prototip yapı ele alınmıştır. Kiriş ve kolon boyutları deney düzeneğine yerleşebilecek şekilde seçilmiştir. Bina TDY-97'e göre 1'inci derece deprem bölgesinde, Z2 zemin türü için hesaplanan azaltılmış eşdeğer statik deprem yükleri altında analiz edilmiştir.

Tasarım sırasında TDY-97'de belirtilen iki noktaya dikkat edilmiştir. Birincisi görel kat ötelemesinin belirtilen limitin altında olup olmadığıdır. Bu amaçla her kattaki yerdeğiştirme Tablo 3.1'de görüldüğü gibi hesaplanmış, görel kat ötelemeleri belirtilen sınırlara göre kontrol edilmiştir. Tablo 3.1'de görel ötelenme oranı, azaltılmış yükler altında

elde edilen kat görelî ötelenmelerinin R ile büyütölerek kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edilmiştir(TDY-97). İkincisi ise güçlü kolon-zayıf kiriş koşulunun her birleşim bölgesinde sağlanmasıdır. Bunun için deney elemanına model olarak alınacak birinci kat dış düğüm noktasındaki kolonlar, moment kapasiteleri toplamı kiriş moment kapasitesinden %20 daha fazla olacak şekilde tasarlanmışlardır.

Bütün bir çerçevenin laboratuvarında test edilmesi imkansızdır. Bu nedenle moment sıfır noktalarının kolon ve kirişlerin orta noktalarında oluştuğu kabul edilerek birinci kat dış kiriş-kolon birleşimi Şekil 3.2’de görölen boyutlara indirgenerek test edilmiştir.

Tasarımları TS500 ve TDY-96’ya göre yapılan deney elemanlarının donatı özellikleri aşğıda geniş bir şekilde açıklanmıştır.

3.4. Deney Elemanları

3.4.1. MKI

Bu deney elemanı konvansiyonel olarak plastik mafsalsal kolon yüzünde oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Donatı detayı Şekil 3.3’de verilmiştir.

Kolon boyuna donatısı olarak $8\phi 16$ kullanılmıştır. Donatı oranı 0.0214’e karşılık gelmektedir. Kullanılan enine donatı ise $\phi 8$ ’dir. Kolon sarılma bölgesinde enine donatı aralığı 10 cm, orta bölgede 20 cm’dir.

Kirişte üst ve alt boyuna donatı miktarları farklıdır. Üst donatı oranı 0.0145, alt donatı oranı ise 0.00872’dir. Kolonda olduğu gibi kirişte de kesme donatısı olarak $\phi 8$ kullanılmıştır. Sarılma bölgesinde aralık 8 cm iken, orta bölgede 20 cm’ye çıkarılmıştır. Bu yerleştirmeyele kesme donatısı oranı sarılma bölgesinde 0.005, orta bölgede 0.002 olmaktadır.

Bu deney elemanının birleşim bölgesinde enine donatı olarak 10 cm aralıkla $\phi 8$ kullanılmıştır. Bu miktar TDY-96 şartlarını sağlamaktadır; fakat ACI-ASCE Komite 352 Raporuna göre kolon boyutlarının 25x30'dan 25x48'e, enine donatı miktarının da $\phi 10/5$ 'e çıkarılması gerekmektedir. Buna rağmen mafsal ötelemesinin birleşim bölgesine olan etkilerini daha net görebilmek için MK2 dışındaki bütün deney elemanlarında kolon boyutu 25x30, enine donatı ise $\phi 8/10$ olarak kullanılmıştır.

Kiriş ve kolon donatı özellikleri Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de özetlenmiştir.

3.4.2 MK2

Bu deney elemanının kolon boyutları ACI-ASCE Komite 352 Raporu koşullarını sağlamak üzere 25x48'e ve birleşim bölgesi enine donatı miktarı aynı gerekçeyle $\phi 10/5$ 'e çıkarılmıştır. Bunun dışında bütün donatı detayı MK1 ile aynıdır.

3.4.3. MMI

Bu deney elemanının donatı detayı Şekil 3.4'de verilmiştir. MK1'den farklı olarak, U-çubuklardan bir tanesi şekilde görüldüğü gibi 7 No.lu çubuk haline getirilmiş, böylece moment kapasitesi kirişte azaltılmıştır. Çubuğun kolon yüzünden ne kadar uzaklıkta kırılacağı aşağıda açıklanmıştır.

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi P yükünün kolon yüzünde ve mafsal bölgesinde oluşturduğu momentler:

$$M_{kol} = 135 P$$

$$M_{maf} = (135 - l_h)P$$

Üst ve alt boyuna çubuklarından birer tanesinin kırılmasıyla mafsal bölgesi moment kapasiteleri iki yönde kolon yüzüne göre yaklaşık olarak %80 ve %67'ye düşmektedir. Buna göre ilk akmanın mafsalda olması için mafsal bölgesine uygulanan moment, kolon yüzündeki momentin %80'in den fazla olmalıdır. Yani,

$$\frac{(135 - l_h)P}{135P} \geq 0.8$$

Bu denklemden l_h 27 cm bulunur. Daha güvenli olması için bu çalışmadaki deney elemanlarında l_h 25 cm alınmıştır.

3.4.4. MM2

Bu deney elemanında Şekil 3.6'da görüldüğü gibi U-çubuğa ek olarak üst L-çubuklarından bir tanesi daha bükülerek mafsal negatif moment kapasitesi azaltılmıştır. Bunun dışında donatıda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Böylece mafsalın eğilme kapasitesi kolon yüzüne göre negatif yönde (üstte çekme) %60, pozitif yönde ise %67'ye azalmış olmaktadır.

3.4.5. PK

Bu deney elemanı konvansiyonel olarak tasarlanmış önüretim elemandır. Kolon donatısı monolitik elemanlarla tamamen aynıdır. Fakat kiriş donatısı olarak üstte 2 ϕ 16 ve 2 ϕ 18, altta ise 4 ϕ 16 kullanılmıştır. Bu donatı oranı üstte 0.021, altta ise 0.015'e karşılık gelmektedir (Bkz. Şekil 3.7).

Bu çalışmanın amacı basit ve uygulanabilir bir bağlantı detayını plastik mafsalı kirişe doğru öteleyerek rahatlatmak ve başarılı bir davranış elde edebilmektir. Bu nedenle basit,

kuru ve moment taşıyıcı bir birleşim detayı geliştirilmiştir. Şekil 3.8 ve 3.9’da görüldüğü gibi kiriş çubukları, kirişe gömülü L-profile kaynaklanmaktadır. Daha sonra bu profiller kolona ankrajlanmış T-profillere kaynaklanarak süreklilik sağlanır.

3.4.6. PM1

Bu deney elemanının donatı detayı Şekil 3.10’da verilmiştir. PK’den farklı olarak bu elemanda üst ve alt çubuklardan birer $\phi 16$, 45 derece bükülerek yerleştirilmiştir. Böylece PK elemanına göre üst donatı alanı %78’e, alt donatı alanı ise %75’e azalmıştır.

3.4.7. PM2

Bu deney elemanında ise alt ve üst çubuklardan ikişer adet $\phi 16$, 45 bükülmüştür. Bunun dışında donatı detayı PM1 ile aynıdır (Bkz. Şekil 3.11). Üst ve alt donatı alanları PK’ye göre %56 ve %50’ye azalmıştır.

3.5. Malzeme Özellikleri

3.5.1. Çelik

Bu deneysel çalışmada boyuna donatı olarak S420, etriye olarak da S220 kullanılmıştır. Kullanılan farklı çaptaki demirlerin dayanımları çekme deneyleri ile kontrol edilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama değerler Tablo 3.3’de verilmiştir.

3.5.2. Beton

Bu çalışmada BS35 kullanılmıştır. Beton dayanımı her bir deney elemanı için alınan altı silindir numune ile kontrol edilmiştir. Bu numunelerden üçü dökümden 14 gün sonra, diğer

kuru ve moment taşıyıcı bir birleşim detayı geliştirilmiştir. Şekil 3.8 ve 3.9’da görüldüğü gibi kiriş çubukları, kirişe gömülü L-profile kaynaklanmaktadır. Daha sonra bu profiller kolona ankrajlanmış T-profillere kaynaklanarak süreklilik sağlanır.

3.4.6. PM1

Bu deney elemanının donatı detayı Şekil 3.10’da verilmiştir. PK’den farklı olarak bu elemanda üst ve alt çubuklardan birer $\phi 16$, 45 derece bükülerek yerleştirilmiştir. Böylece PK elemanına göre üst donatı alanı %78’e, alt donatı alanı ise %75’e azalmıştır.

3.4.7. PM2

Bu deney elemanında ise alt ve üst çubuklardan ikişer adet $\phi 16$, 45 bükülmüştür. Bunun dışında donatı detayı PM1 ile aynıdır (Bkz. Şekil 3.11). Üst ve alt donatı alanları PK’ye göre %56 ve %50’ye azalmıştır.

3.5. Malzeme Özellikleri

3.5.1. Çelik

Bu deneysel çalışmada boyuna donatı olarak S420, etriye olarak da S220 kullanılmıştır. Kullanılan farklı çaptaki demirlerin dayanımları çekme deneyleri ile kontrol edilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama değerler Tablo 3.3’de verilmiştir.

3.5.2. Beton

Bu çalışmada BS35 kullanılmıştır. Beton dayanımı her bir deney elemanı için alınan altı silindir numune ile kontrol edilmiştir. Bu numunelerden üçü dökümden 14 gün sonra, diğer

üçü ise 28'inci günde test edilmiştir. Elde edilen ortalama dayanımlar Tablo 3.4'de verilmiştir.

3.6. Kesit Özellikleri

Deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapabilmek amacıyla kiriş ve kolonun moment-birim dönme özellikleri analitik olarak incelenmiştir. Hazırlanan bir bilgisayar programı ile kirişlerdeki farklı kesitler incelenmiş ve Şekil 3.12'de görülen moment-birim dönme eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca aynı programla kolon için Şekil 3.13'de görülen etkileşim eğrisi hesaplanmıştır.

3.7. Deney Düzenegi

Deney elemanları Şekil 3.14'de görülen düzenekte test edilmişlerdir. Deney elemanlarına yük, kiriş ucundan çerçeveye monte edilmiş krikolarla verilmiştir. Kolon uçlarında mafsal davranışı iki farklı yolla sağlanmıştır. Kolon tepesinde, kolonlarda bırakılmış bir delikten geçirilen mil sayesinde moment aktarımı engellenirken, kolon altında destek profilleri arasına yerleştirilmiş ufak çubuklar sayesinde mafsal davranışı sağlanmıştır. Deney düzeneginin deney elemanı ile birlikte görünümü Şekil 3.15 ve 3.16'da gösterilmektedir.

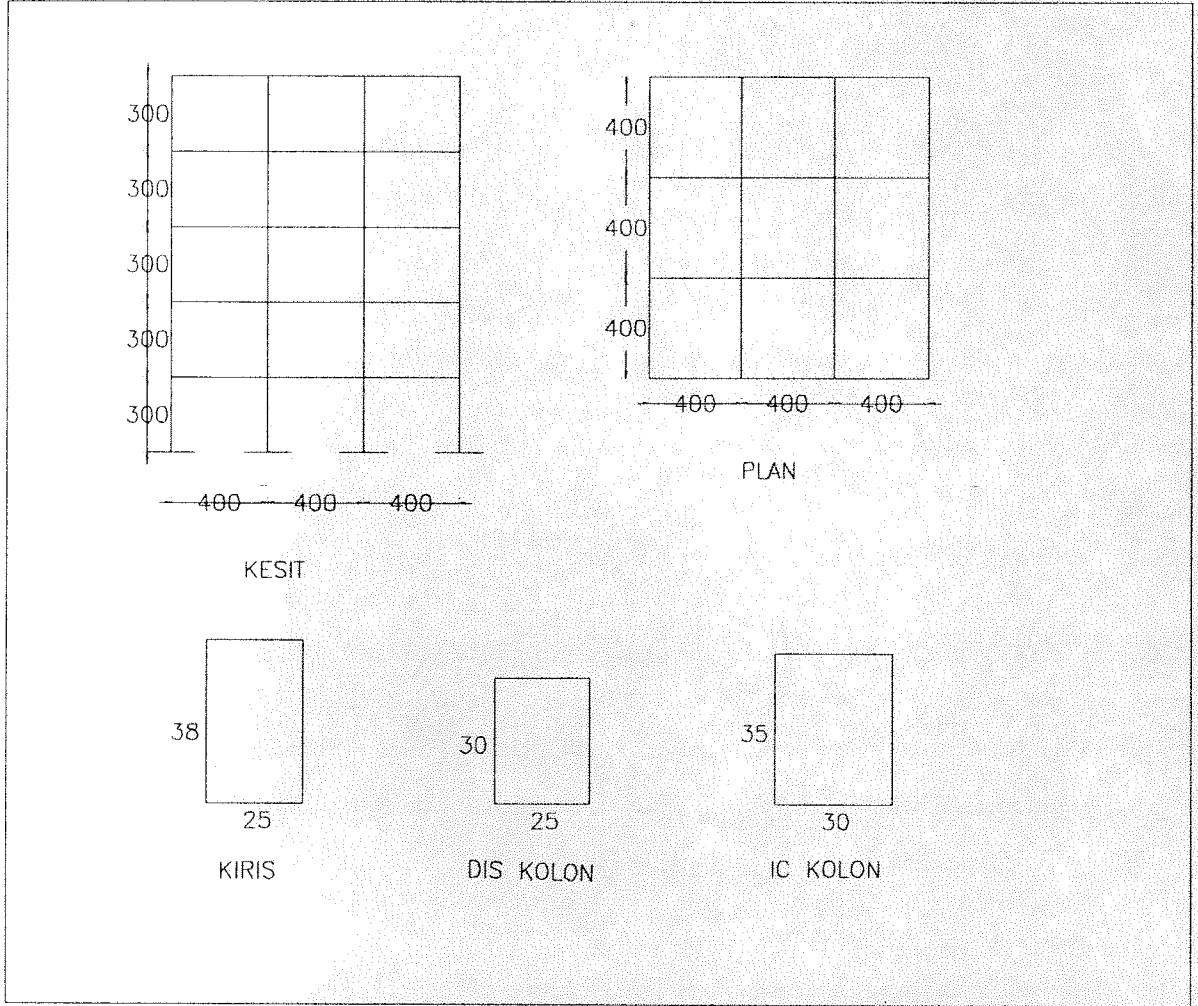
Deneyde ölçümler elektronik aygıtlar yoluyla alınmıştır. Bu aygıtların yerleri Şekil 3.17'de verilmiştir.

3.8. Deney Yöntemi

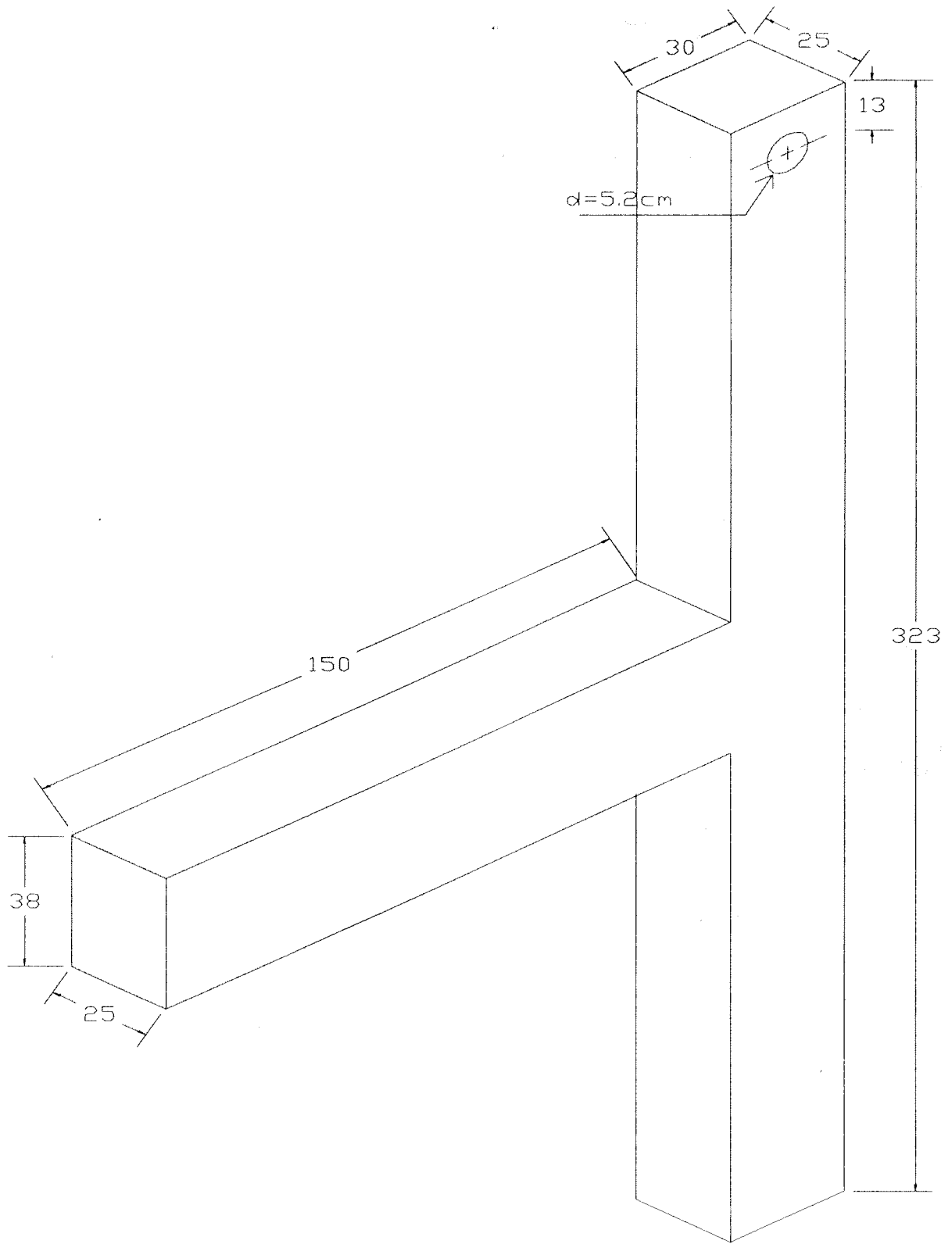
Birleşim bölgesinde, deprem sırasında oluşabilecek tersinir, yinelenir yükleri benzeştirebilmek için deney elemanları kiriş ucundan aşağı ve yukarı doğru ardarda yüklenmiştir. Deneyler deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Deney elemanları ilk

döngüde, hesaplan akma yükünün yarısıyla yüklenmiştir. Daha sonra kiriş akana dek tekrar yüklenmiş ve akma deplasmanları ölçülmüştür. Akma döngüsü yinelendikten sonra sırasıyla ikişer defa akma deplasmanının iki ve dört katı deplasmanlara gidilmiştir.

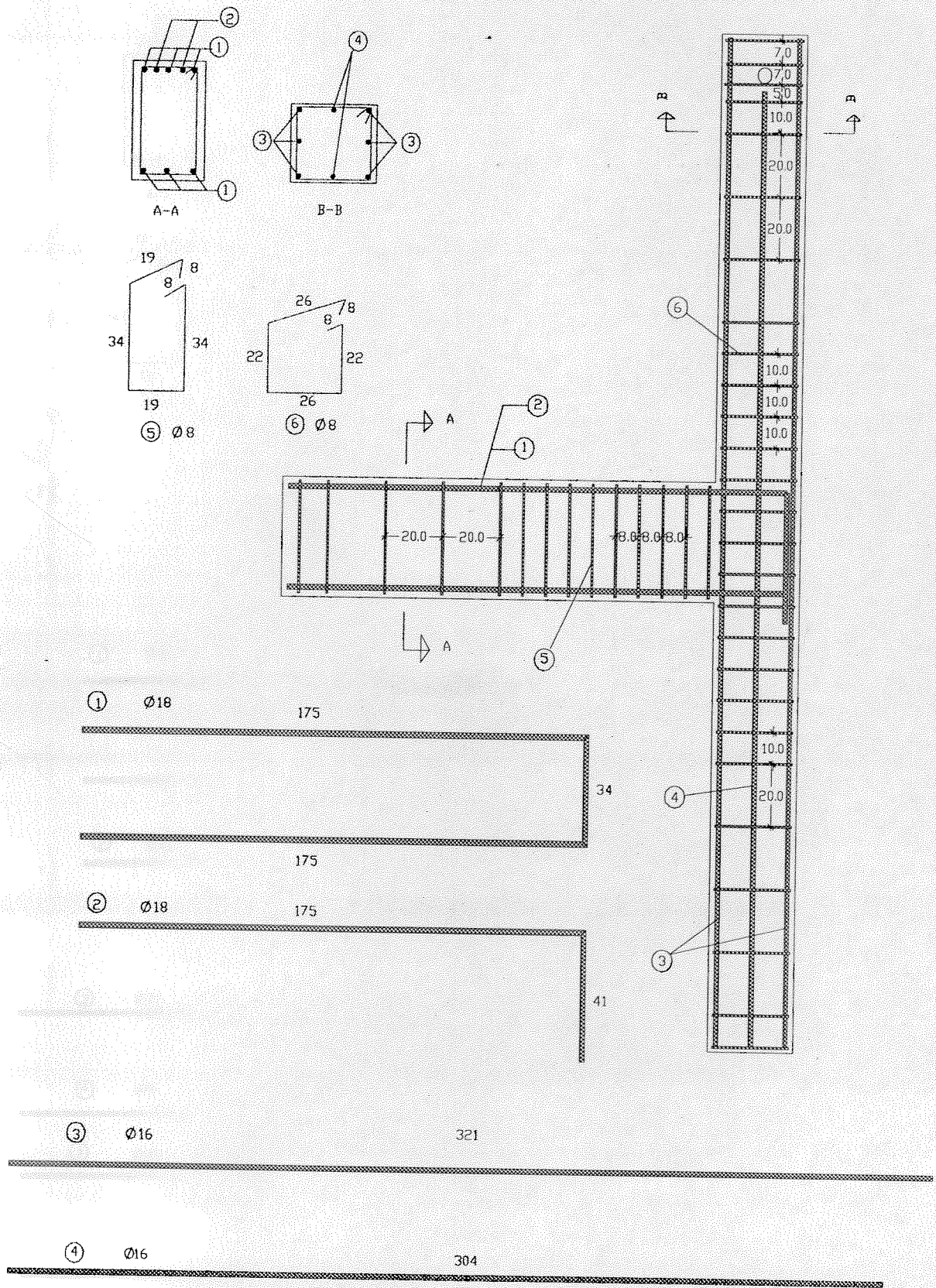
Deneylerde hedeflenen kontrollü deplasman döngüleri Şekil 3.18'de verilmektedir.



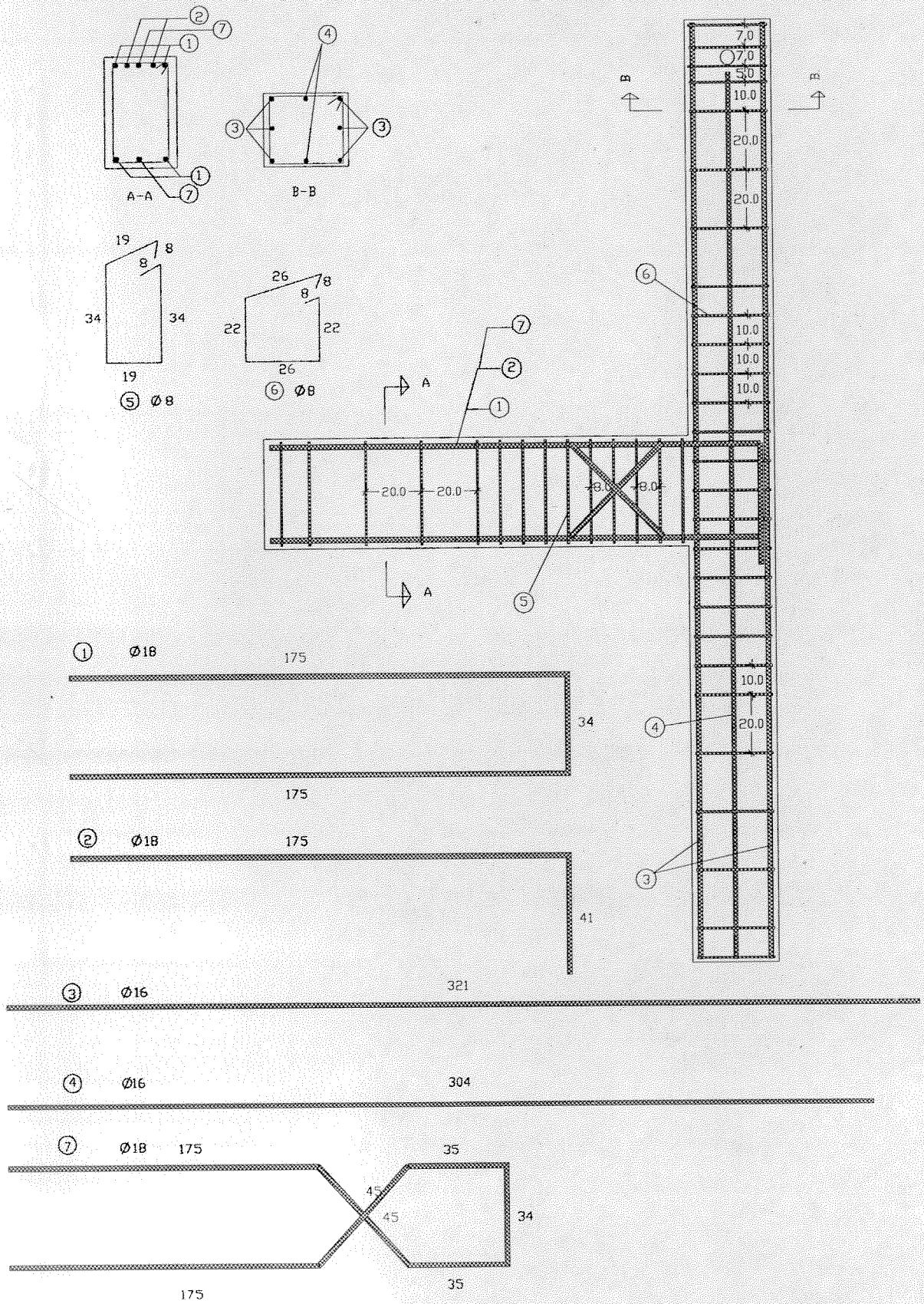
Şekil 3.1 Prototip Yapı ve Kesit Boyutları



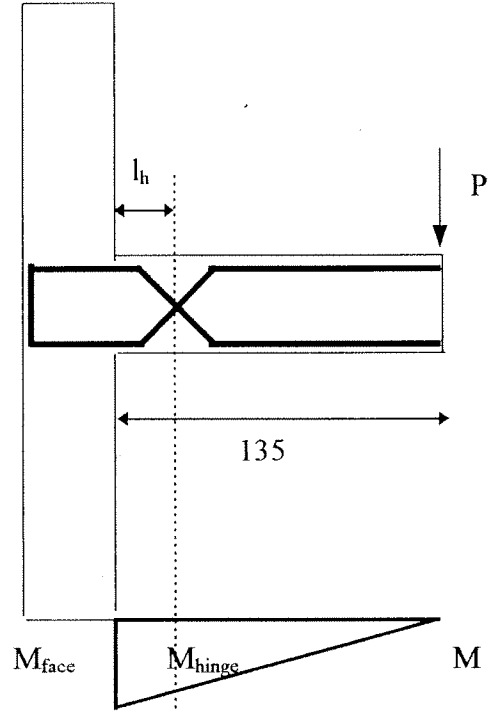
Şekil 3.2 Deney Elemanı Boyutları (cm)



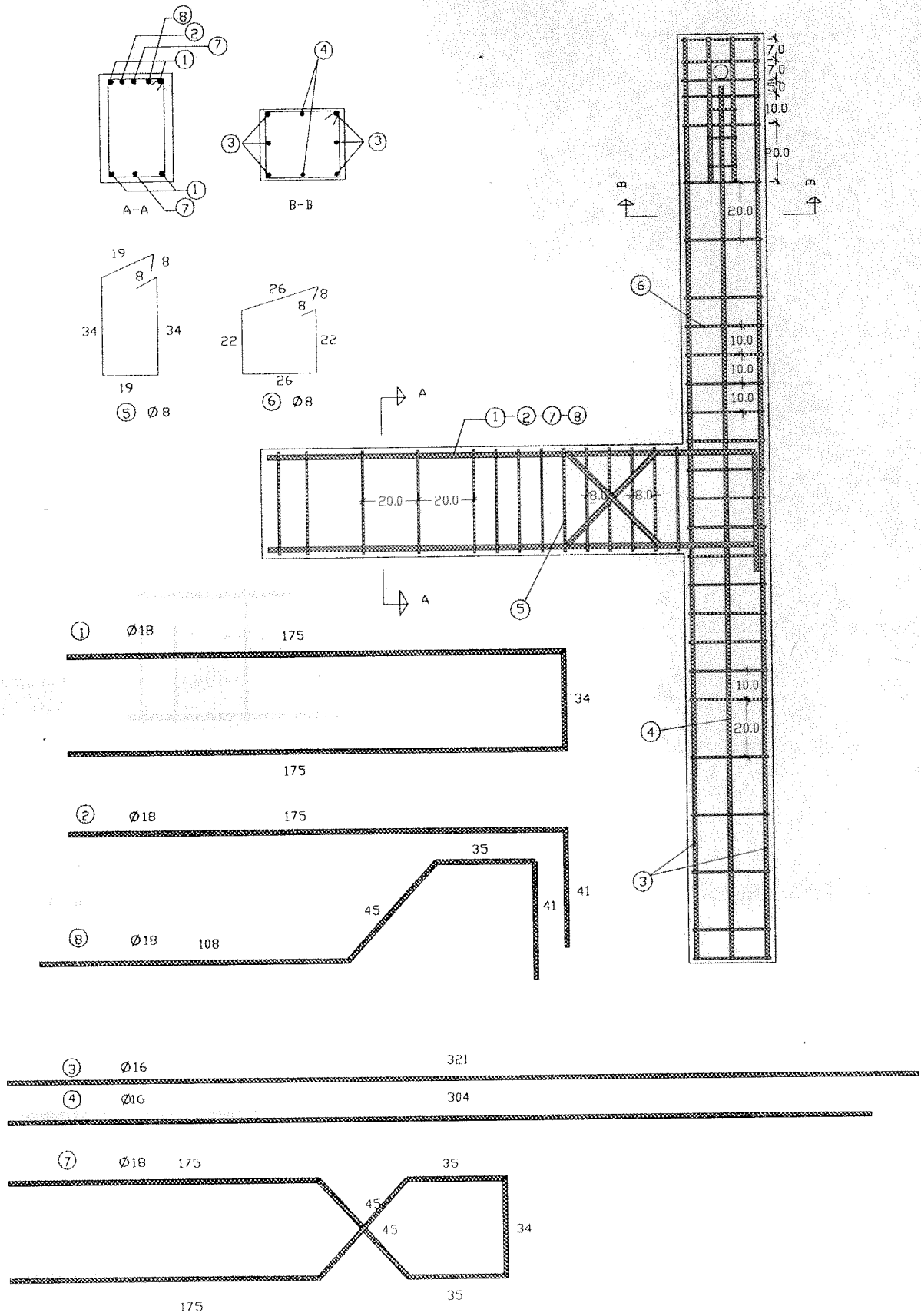
Şekil 3.3 Donatı Detayı (MK1)



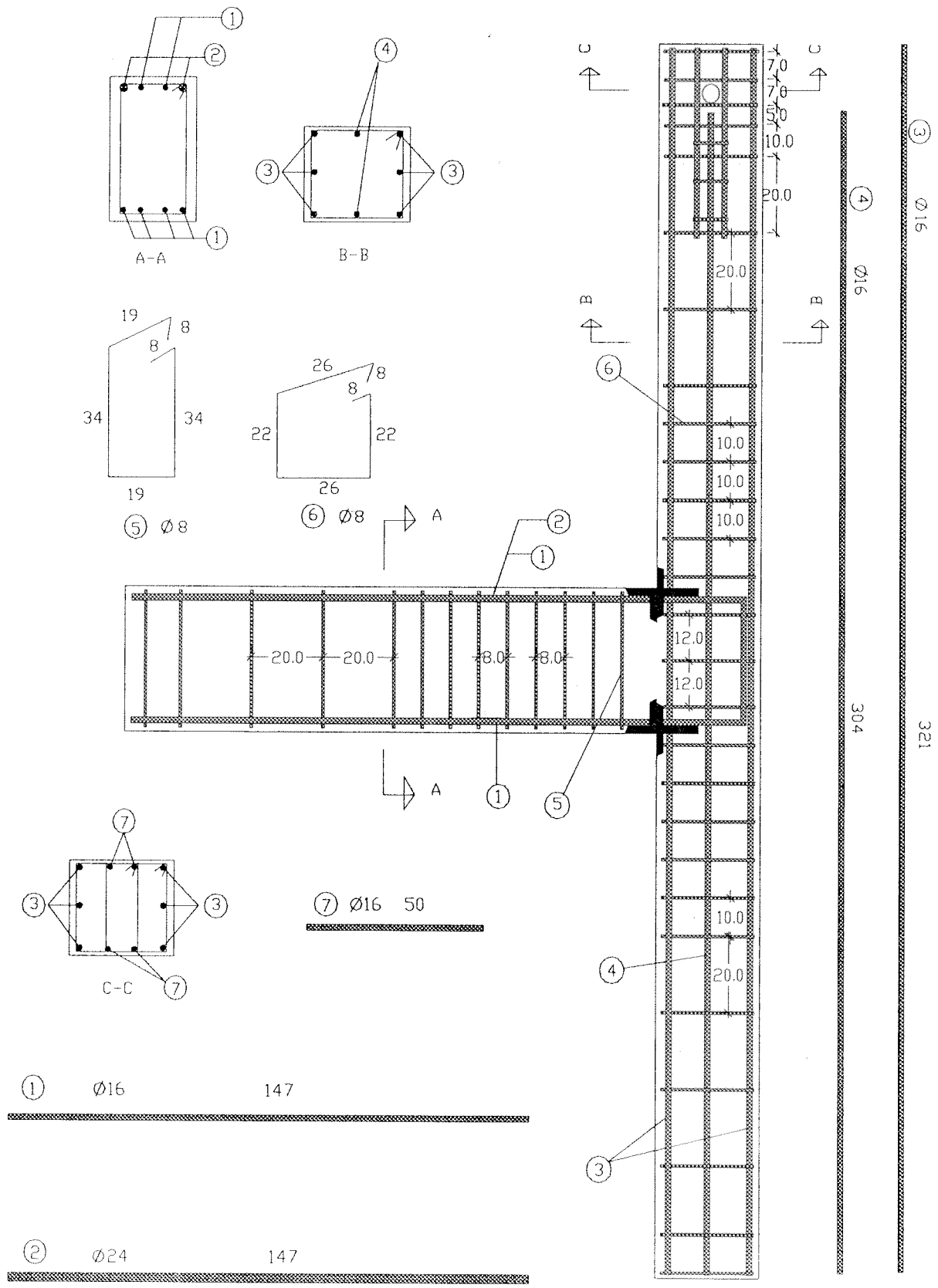
Şekil 3.4 Donatı Detayı (MM1)



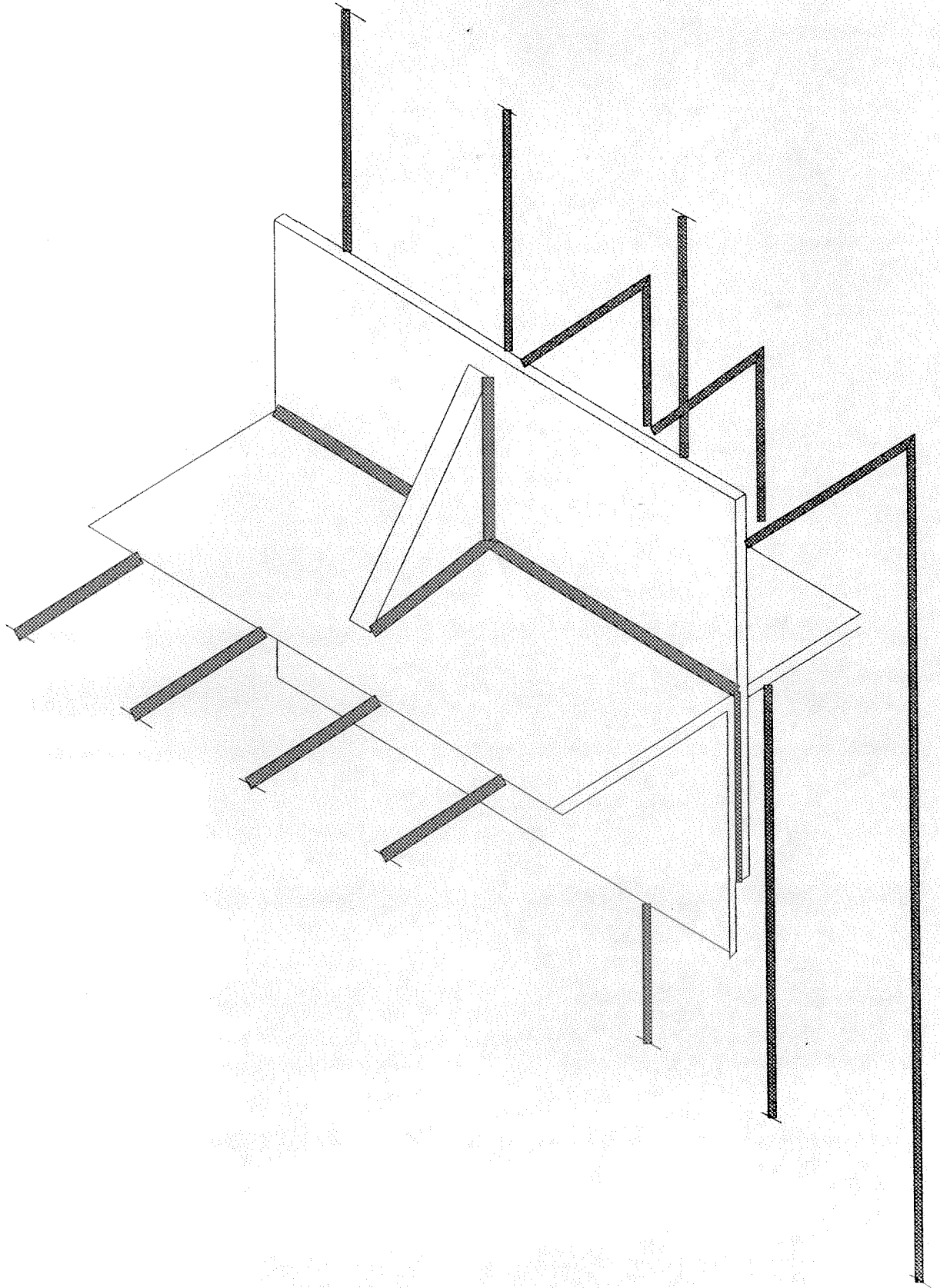
Şekil 3.5 Çubuk Büküm Noktasının Hesabı



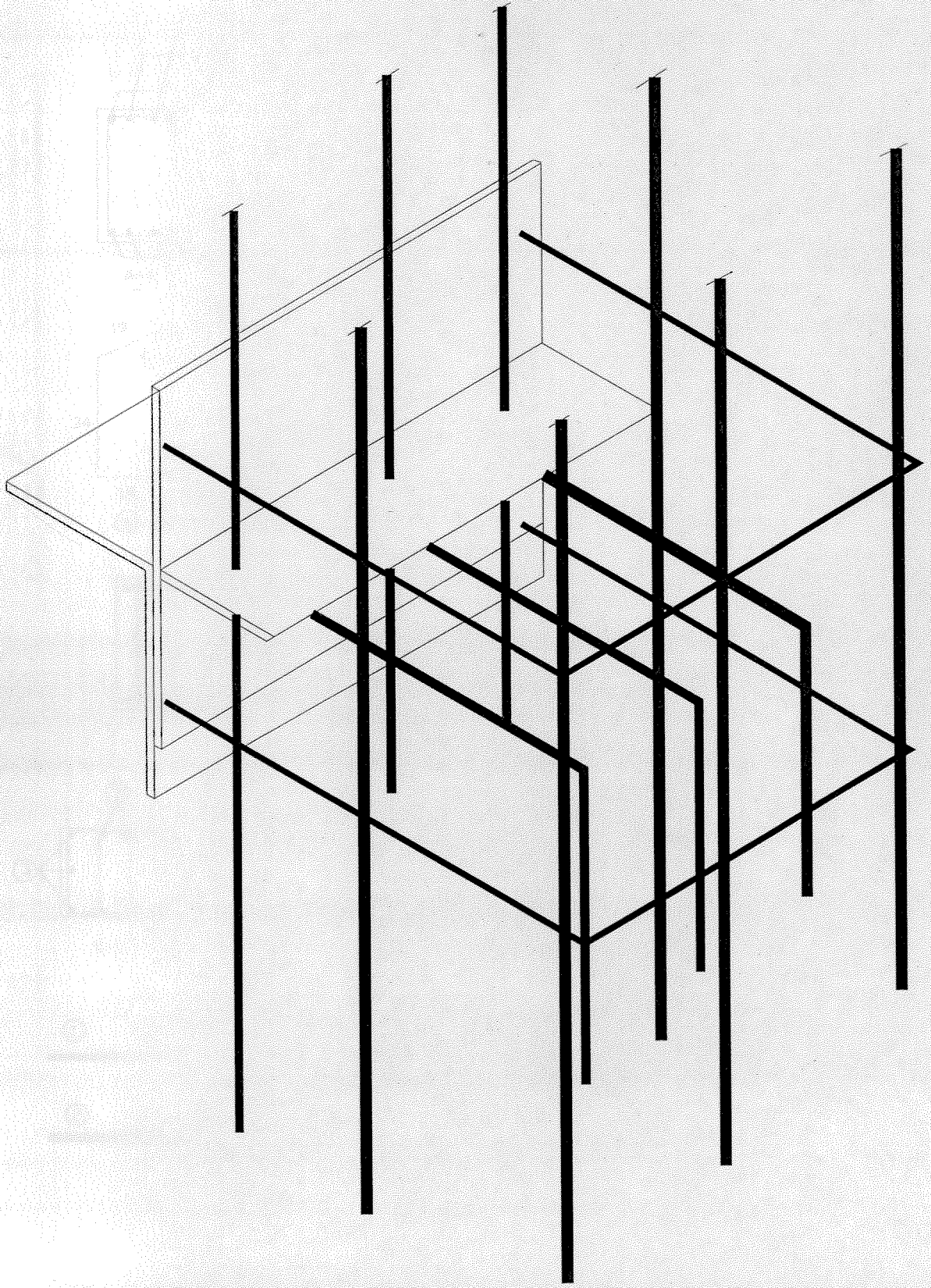
Şekil 3.6 Donatı Detayı (MM2)



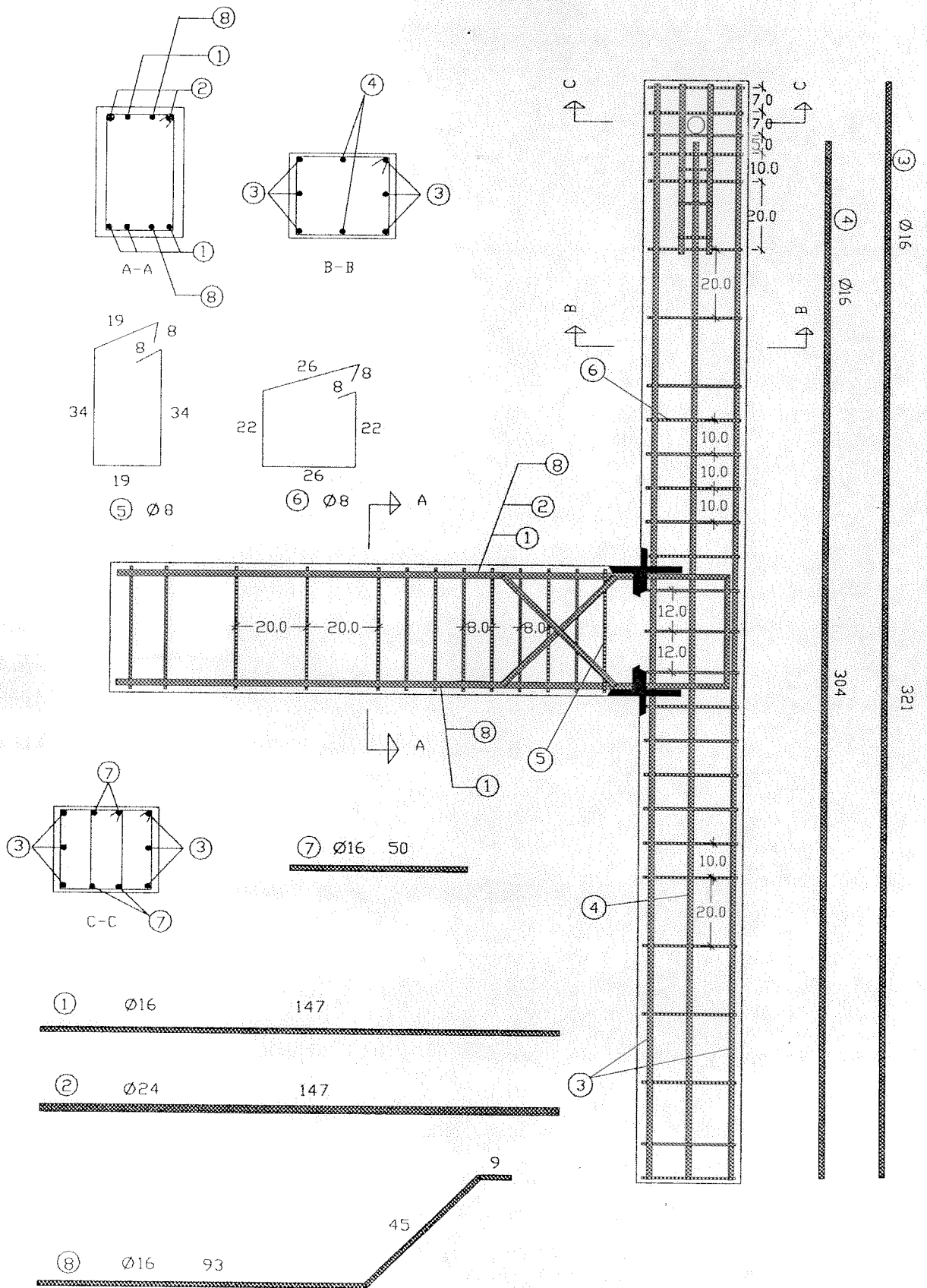
Şekil 3.7 Donatı Detayı (PK)



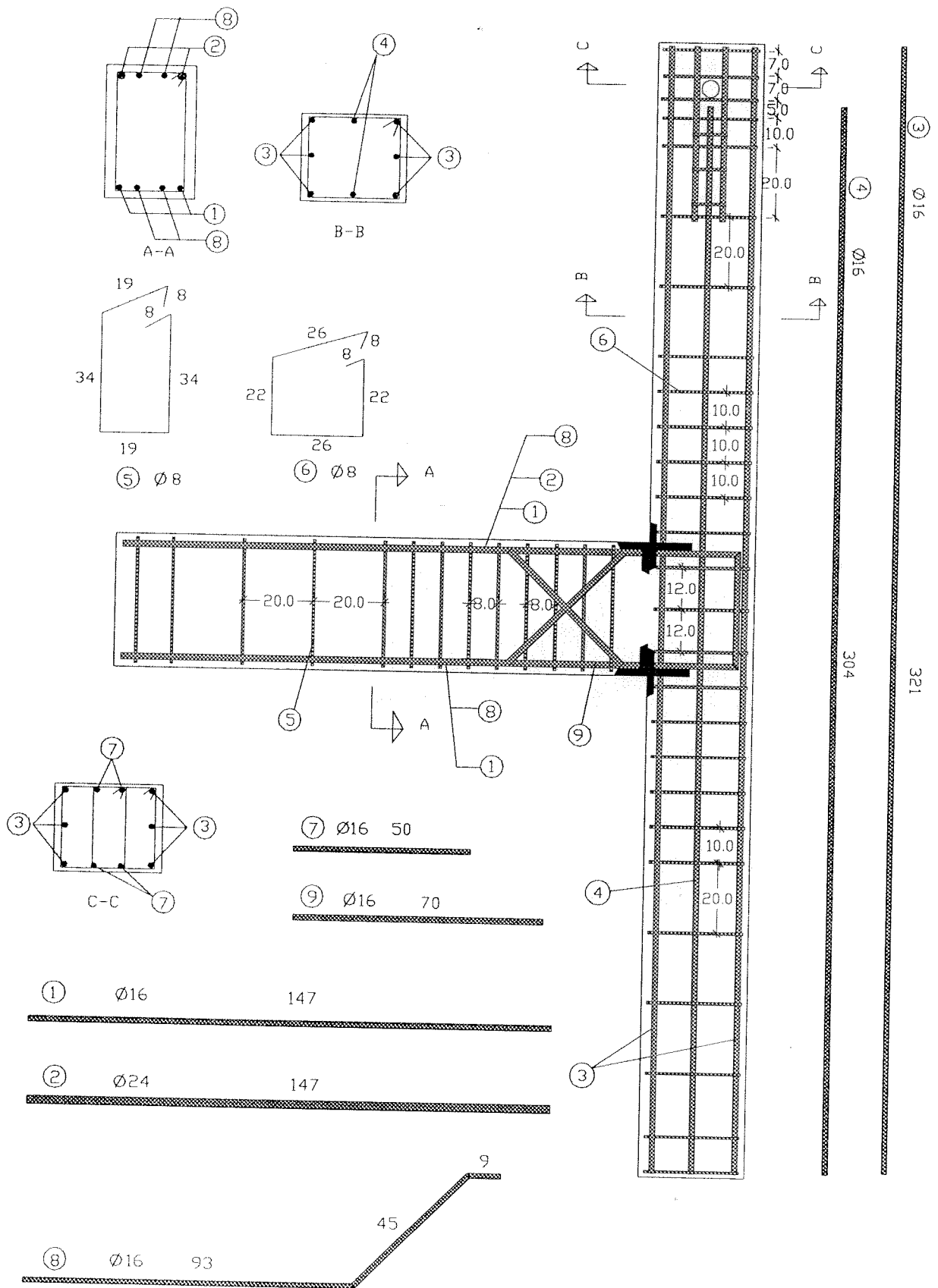
Şekil 3.8 Bağlantı Detayı (L-profiller)



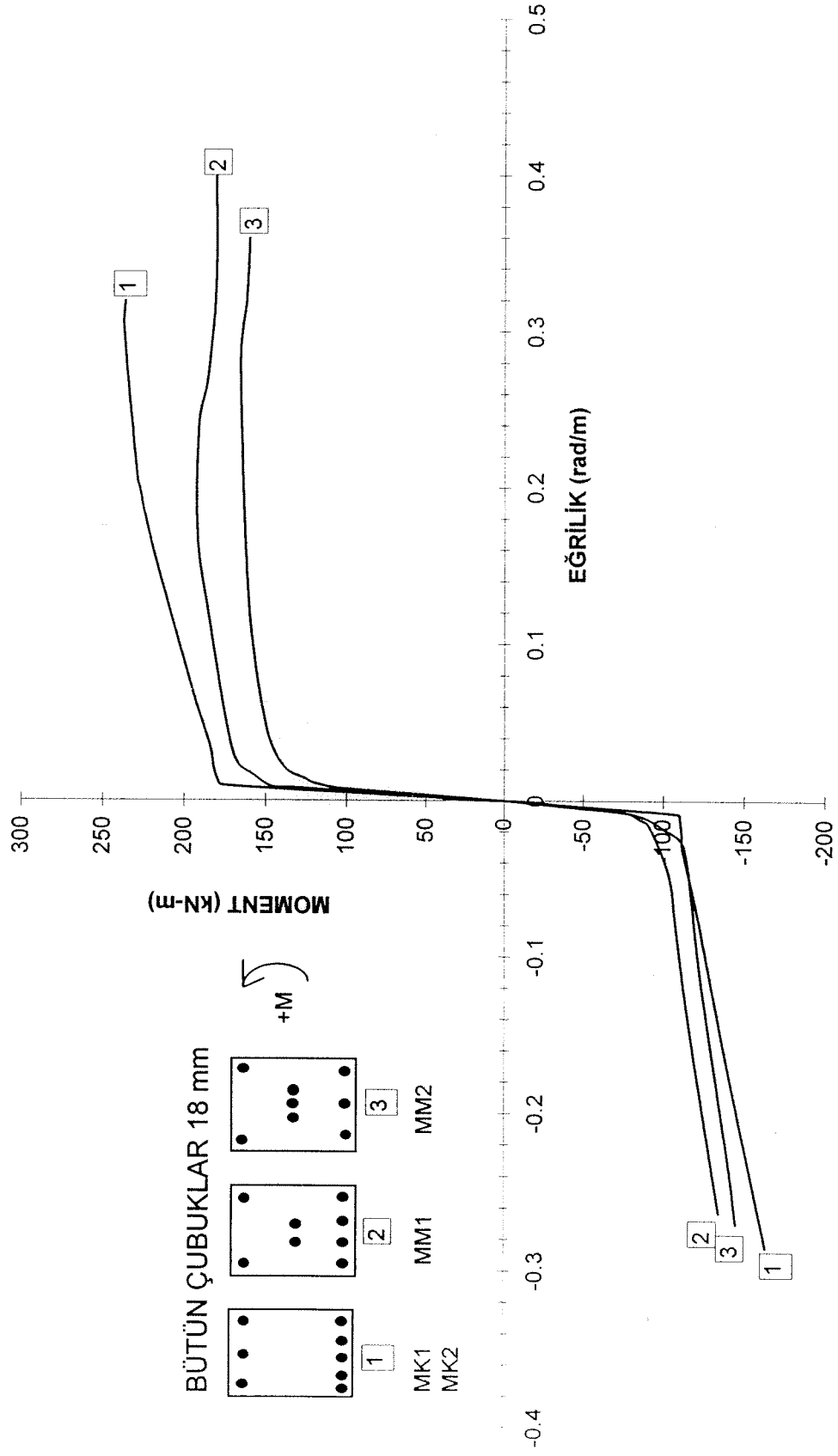
Şekil 3.9 Bağlantı Detayı (T-profiller)



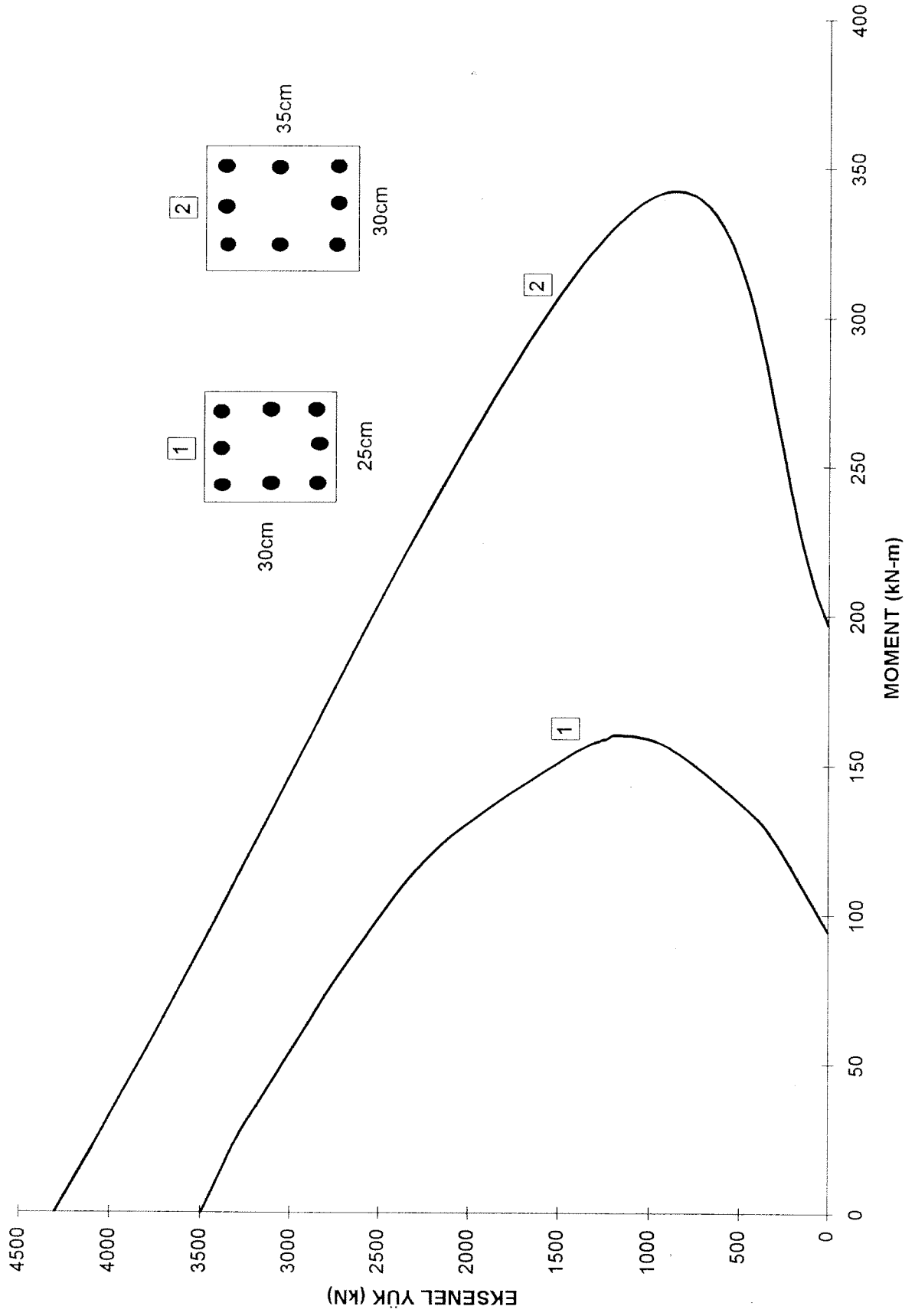
Şekil 3.10 Donatı Detayı (PM1)



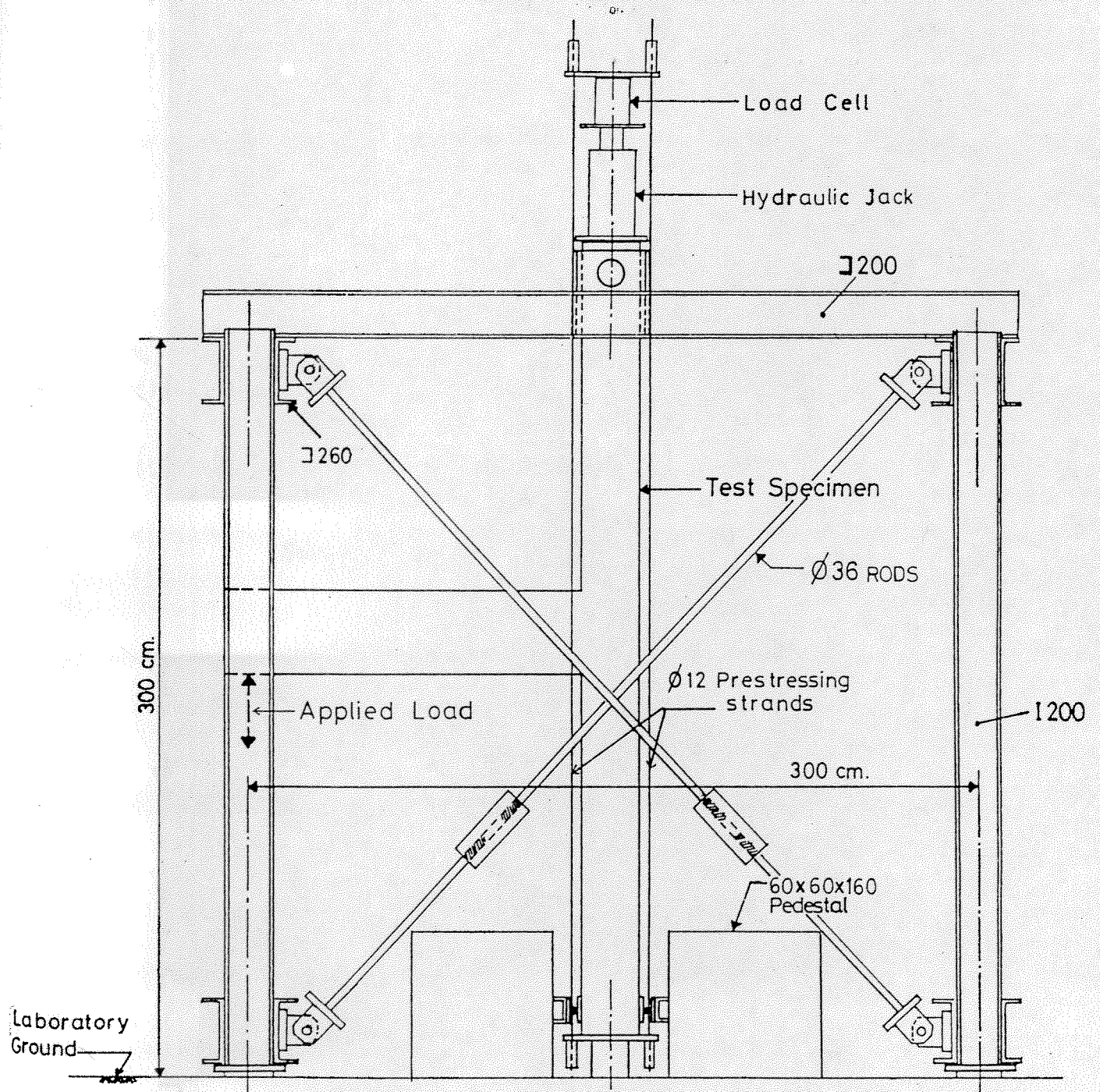
Şekil 3.11 Donatı Detayı (PM2)



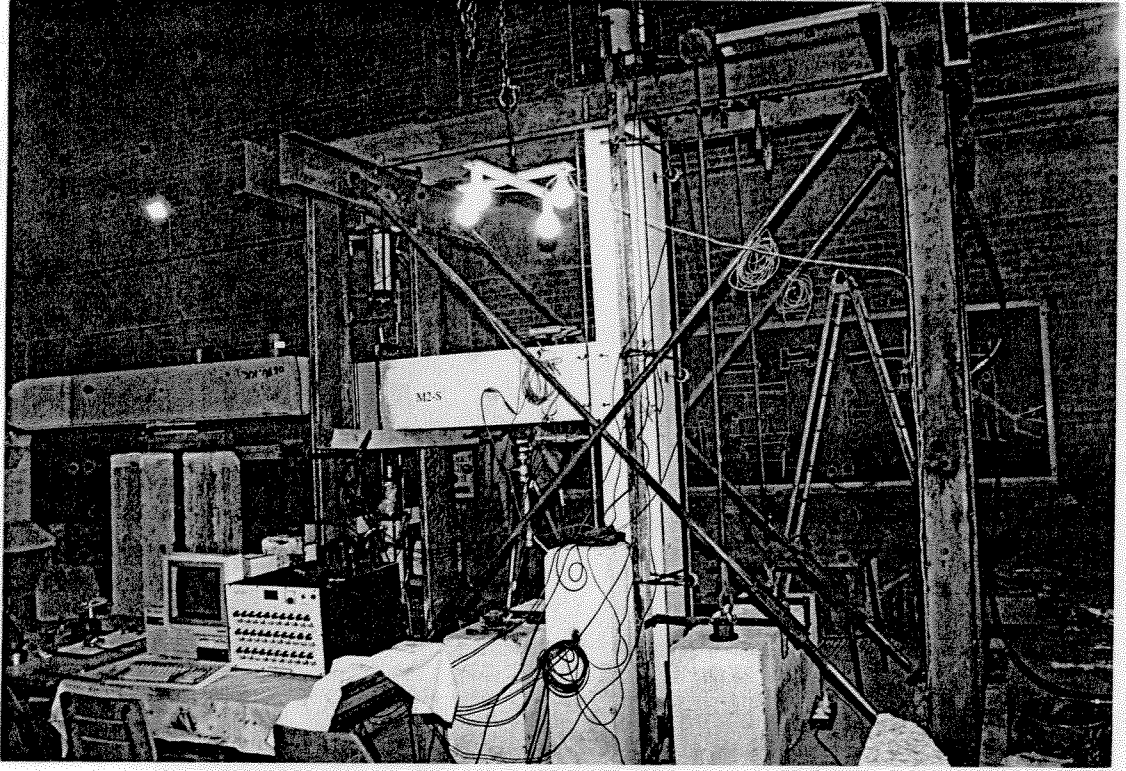
Şekil 3.12 Kiriş Moment - Eğrilik Grafikleri



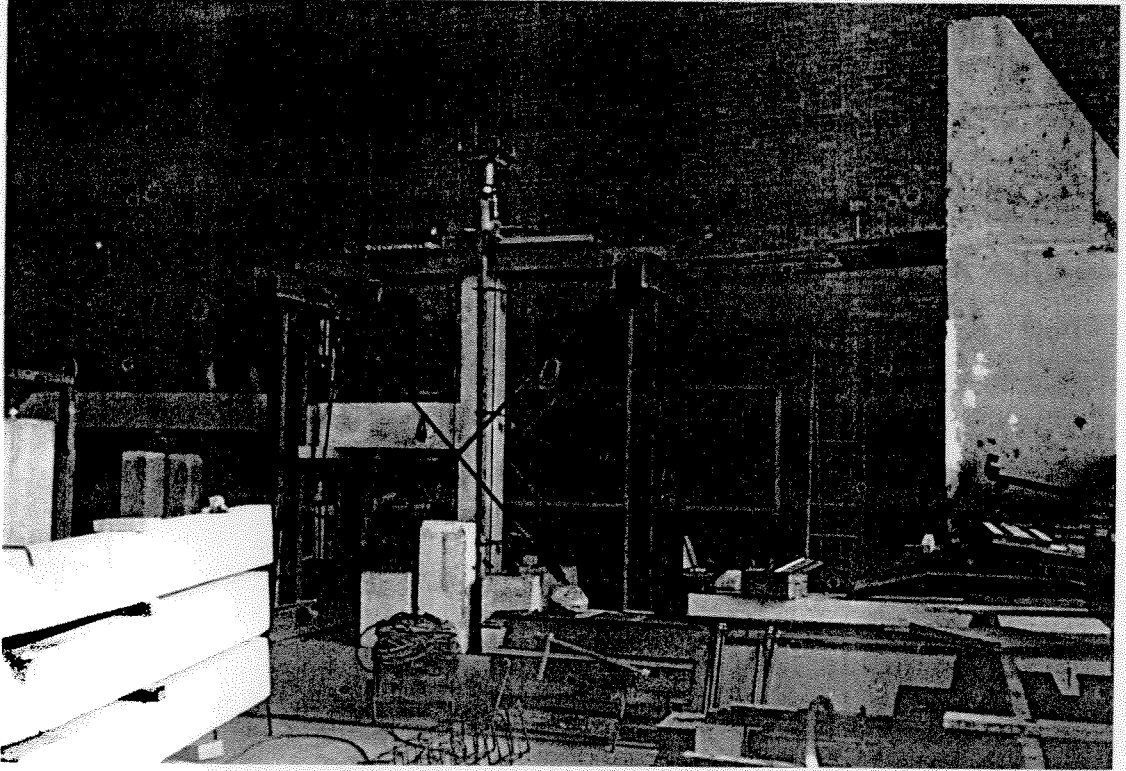
Şekil 3.13 Kolon Etkileşim Eğrisi



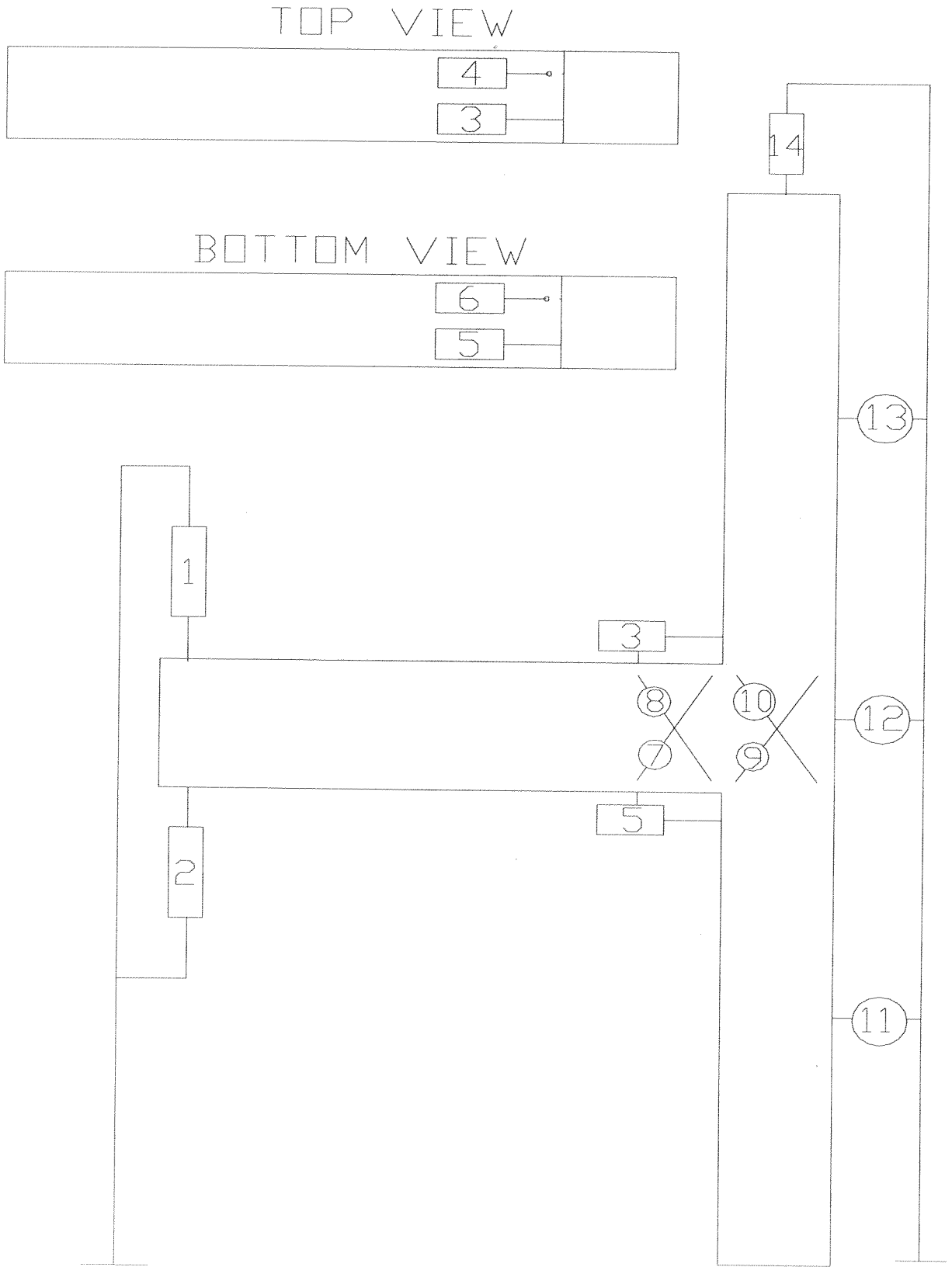
Şekil 3.14 Deney Düzenegi



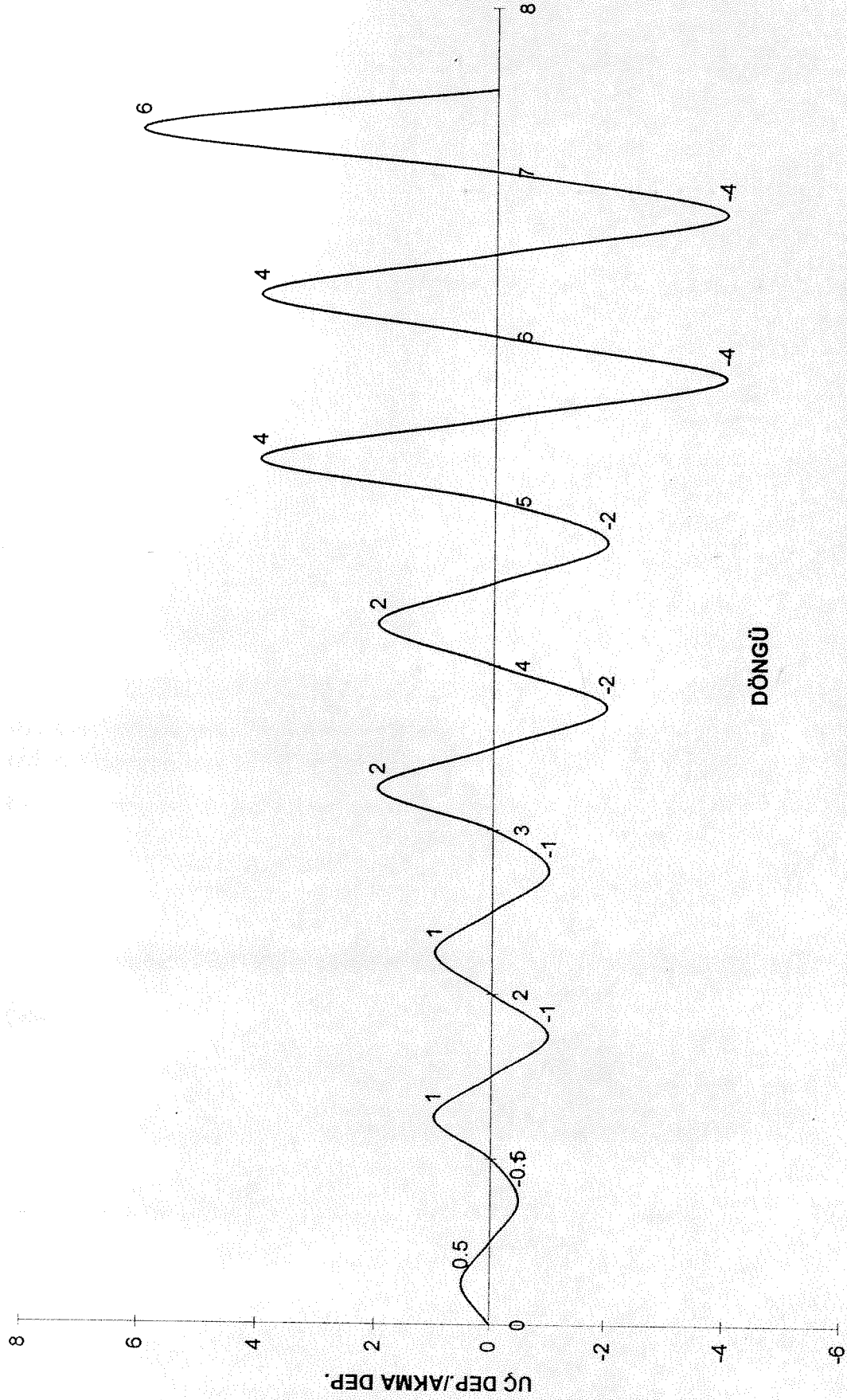
Şekil 3.15 Deney Elemanın Deney Düzenegi İçinde Görünümü



Şekil 3.16 Deney Elemanın Deney Düzenegi İçinde Görünümü



Şekil 3.17 Ölçüm Aygıtları Yerleşim Planı



Şekil 3.18 Hedeflenen Kontrollü Deplasman Döngüleri

Tablo 3.1 Kat Yerdeğiştirme Hesaplamaları

kat	ötelenme (mm)	görelî ötelenme oranı	tasarım limiti
1	6.41	0.017	0.020
2	13.9	0.020	0.020
3	21.3	0.020	0.020
4	26.9	0.015	0.020
5	30.2	0.009	0.020

Tablo 3.2 Kolon ve Kiriş Donatı Oranları

	kolon		kiriş	
	boyuna	enine	boyuna	enine
Çelik Oranı	0.0214	0.004 (sıklaştırılmış bölge) 0.002 (açıklık)	0.0145 (üst) 0.00872 (alt)	0.005 (sıklaştırılmış bölge) 0.002 (açıklık)
akma dayanımı (MPa)	458	292	441	292

Tablo 3.3 Donatı Özellikleri

	DAYANIM (MPa)		BİRİM UZAMA
	AKMA	KOPMA	KOPMA
φ8	292	542	0.21
φ10	472	670	0.20
φ16(lab.)	458	766	0.13
φ16(fabrika)	433	652	0.16
φ18	441	677	0.19
φ24	447	648	0.17

Tablo 3.4 Beton Silindir Dayanım Sonuçları

	14'ncü gün	28'inci gün
MK1	348	382
MK2	339	379
MM1	352	390
MM2	342	387
PK	320	355
PM1	312	365
PM2	305	357

4. DENEY ELEMANLARININ GÖZLENEN DAVRANIŞLARI

4.1. MK1

Birinci referans elemanı aşağı doğru 130.3 kN, yukarı doğru ise 78.0 kN yükte akmıştır. Bu yüklere karşılık gelen akma deplasmanları 23 ve 15 mm'dir. İlk akma döngüsünde, aşağı doğru yüklemde, birleşim bölgesinde kesme çatlağı oluşmuştur. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi dördüncü döngüde, deplasman akma deplasmanının iki katı iken bu çatlakların sayısı oldukça artmıştır.

Deplasman akma deplasmanının dört katına ulaştığında birleşim kırılması gözlemlenmiştir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi birleşim bölgesinde beton kabuğu dökülmüş ve donatı tümüyle ortaya çıkmıştır. Deneyin sonunda elemanın görüntüsü Şekil 4.3'te verilmiştir.

4.2. MK2

ACI-ASCE Komite Raporu 352 koşullarını sağlayan ikinci referans elemanı beklendiği gibi başarılı bir davranış göstermiş, kirişte oluşan plastik mafsallaşmayla gücünü tüketmiştir. Akma yükleri aşağı doğru 130 kN, yukarı doğru ise 80 kN olarak ölçülmüştür. Elemanın deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Birleşim bölgesinde hasar oluşmamıştır.

4.3. MM1

Aşağı yüklemde yük 124.55 kN ve deplasman 26 mm iken akma olmuştur. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi bu döngüde iki ana eğilme çatlağı gözlenmiştir. Bunlar kolon yüzünde ve kolon yüzünden 10 cm uzaklıktadır. Birleşim bölgesinde kesme çatlağı bu yarı döngüde görülmüştür.

Yukarı doğru yüklemeye ise yük 70.96 kN ve deplasman 17 mm iken akma görülmüştür. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi bu yöndeki yüklemeye eğilme çatlakları kolon yüzünden 10 cm ve 25 cm ileride oluşmuştur. Kesme çatlağı bu yöndeki yüklemeye görülmemiştir.

Beşinci döngüde, Şekil 4.7'de görüldüğü gibi plastik mafsalsal bölgesi açıkça gözlenmiştir. Her ne kadar bu döngüde birleşim çatlağı görülmüşse de MK1 kadar belirgin duruma gelmemiştir. Yüklemeye bu döngüde kolon tepesinde gözlenen ezilme sebebiyle ara verilmiştir (Bkz. Şekil 4.8). Epoxy ile onarım yapıldıktan sonra deneye devam edilmiştir. Deney elemanının son durumu Şekil 4.9'da görülmektedir.

4.4. MM2

Bu deney elemanının kirişi aşağı doğru 103.6 kN, yukarı doğru ise 67.52 kN yükte akmıştır. Bu yüklere karşılık gelen akma deplasmanları 21 mm ve 17 mm'dir. Üçüncü döngünün sonunda iki ara eğilme çatlağı görülmüştür. Aşağı doğru yüklemeye bu çatlaklar kolon yüzünden 10 cm ve 20 cm uzaklıkta oluşurken, yukarı yüklemeye 20 cm ve 25 cm uzaklıkta görülmüştür. Beşinci döngüde bu çatlaklar Şekil 4.10'da görüldüğü gibi birleşmişlerdir. Şekilde de görüldüğü gibi bu döngüde herhangi ciddi bir birleşim kesme çatlağı görülmemiştir. Deney, üst çubukların burkulmasıyla sona ermiştir. Deney elemanının son durumu Şekil 4.11'de görülmektedir.

4.5. PK

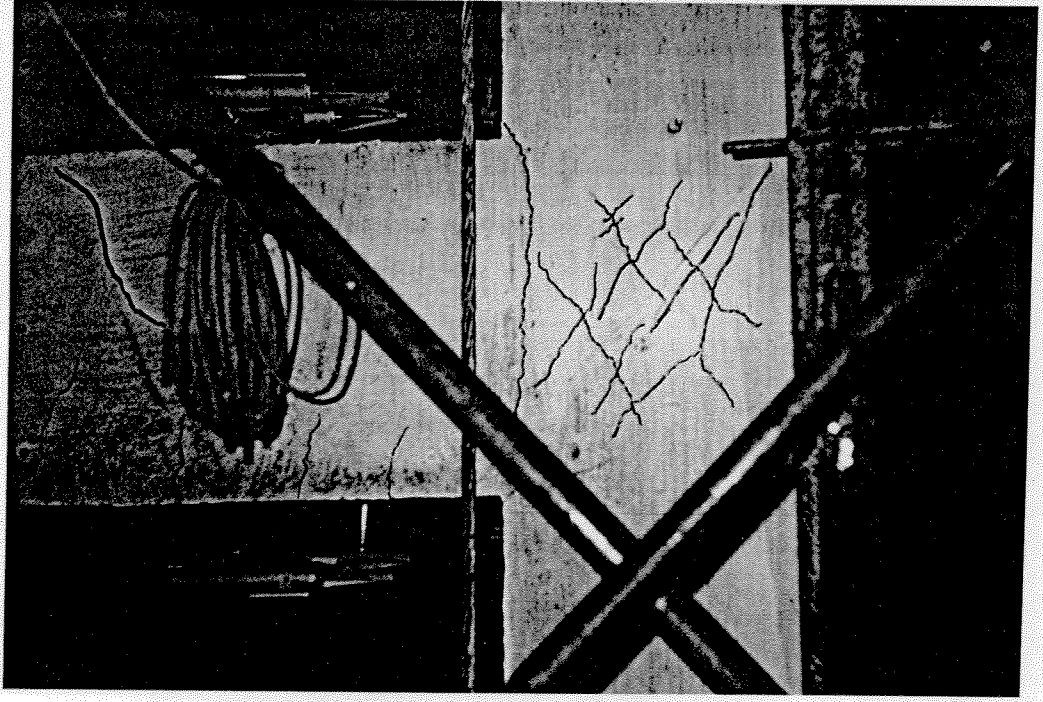
Öndökümlü referans deney elemanına elastik bir döngü uygulandıktan sonra, akma deplasmanına varılmak üzere Şekil 4.12'de görüldüğü gibi yatay bir çatlak görülmüştür. Hemen ardından büyük bir gürültüyle kiriş bütün gücünü tüketmiştir. Bunun üzerine Şekil 4.13 ve 4.14'de görüldüğü gibi bağlantı bölgesine bir otopsi yapılmış ve çelik çubukların tam kaynağın bittiği noktadan koptuğu görülmüştür.

4.6. PM1

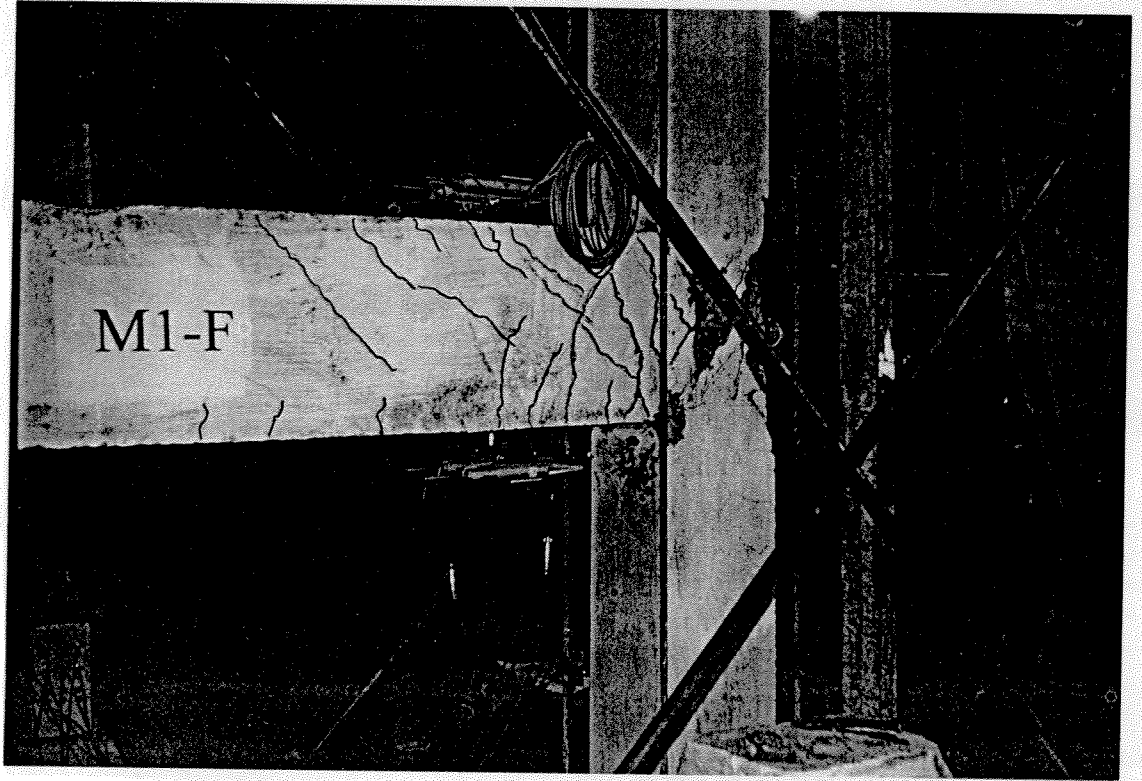
Bu deney elemanının davranışı da aynen PK gibi olmuştur.

4.7. PM2

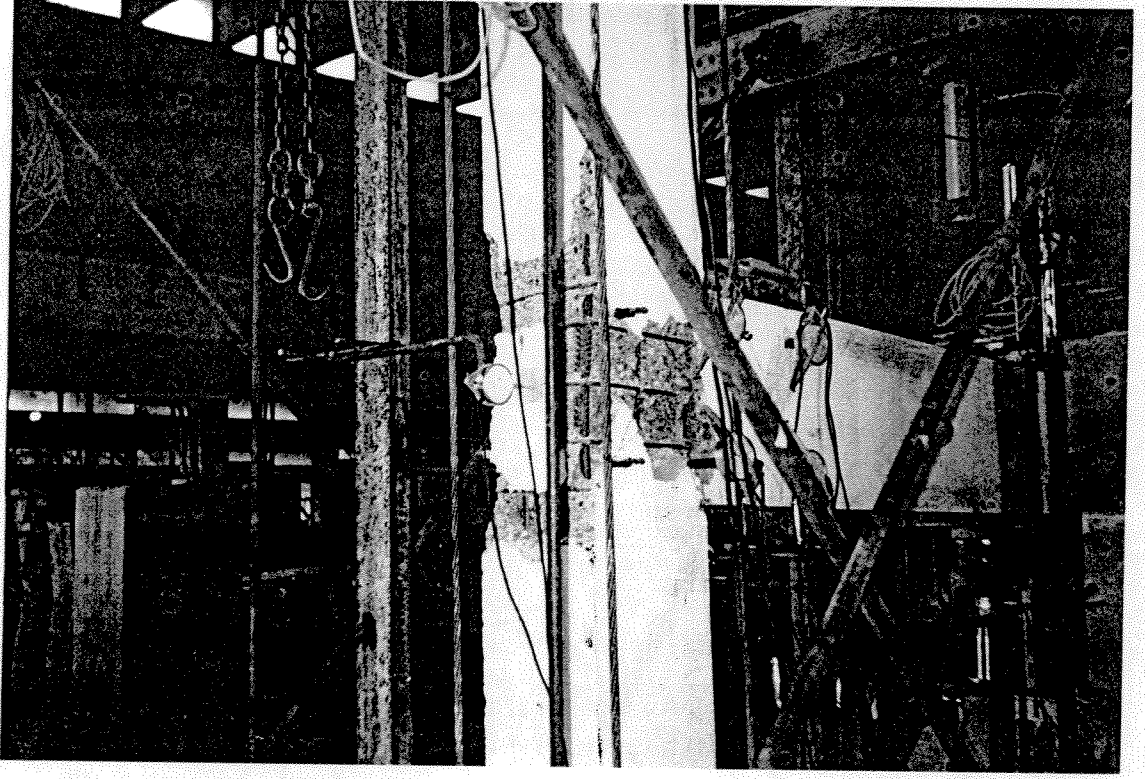
Deneye başlamadan önce birleşimdeki üçgen berkitmeler kaynakla kesilmiştir. Bunun yararı deneyde görülmüş ve hem ileri, hem geri yüklemede akma deplasmanına ulaşılmıştır. Ancak yine de dördüncü döngüde kiriş aynı şekilde ani olarak kırılmıştır.



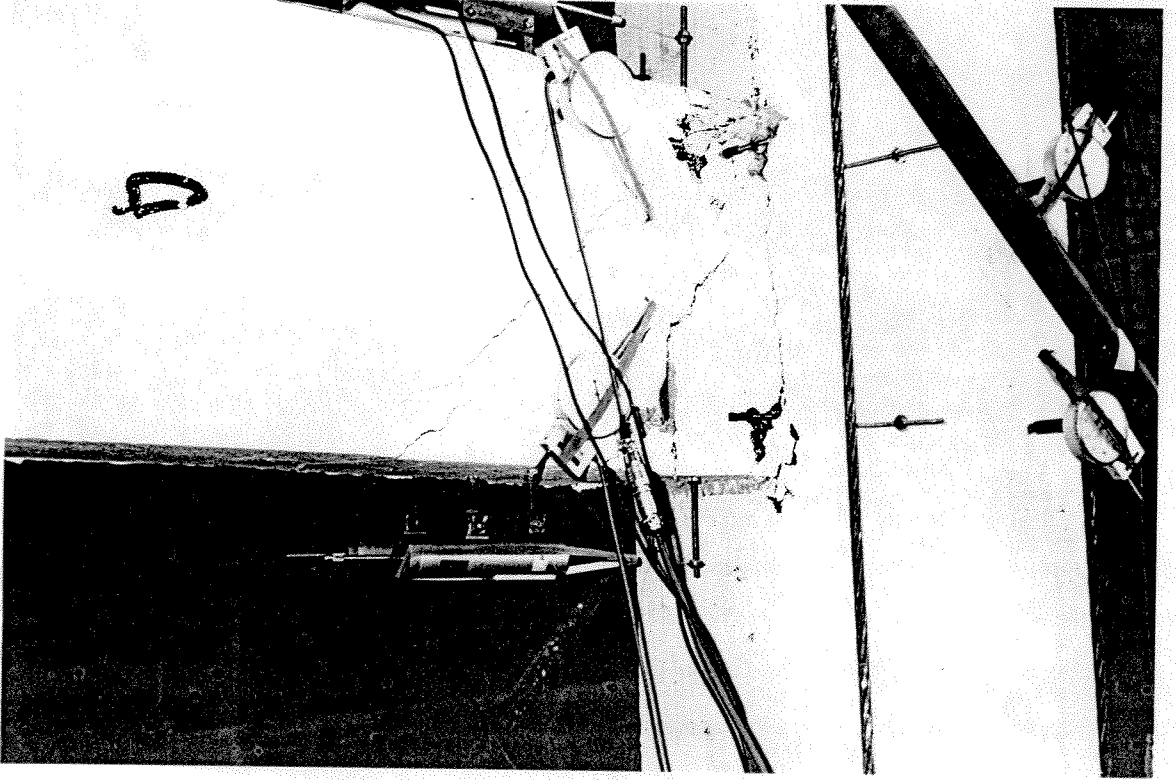
Şekil 4.1 Dördüncü Döngüde MK1 Birleşiminin Görünüşü



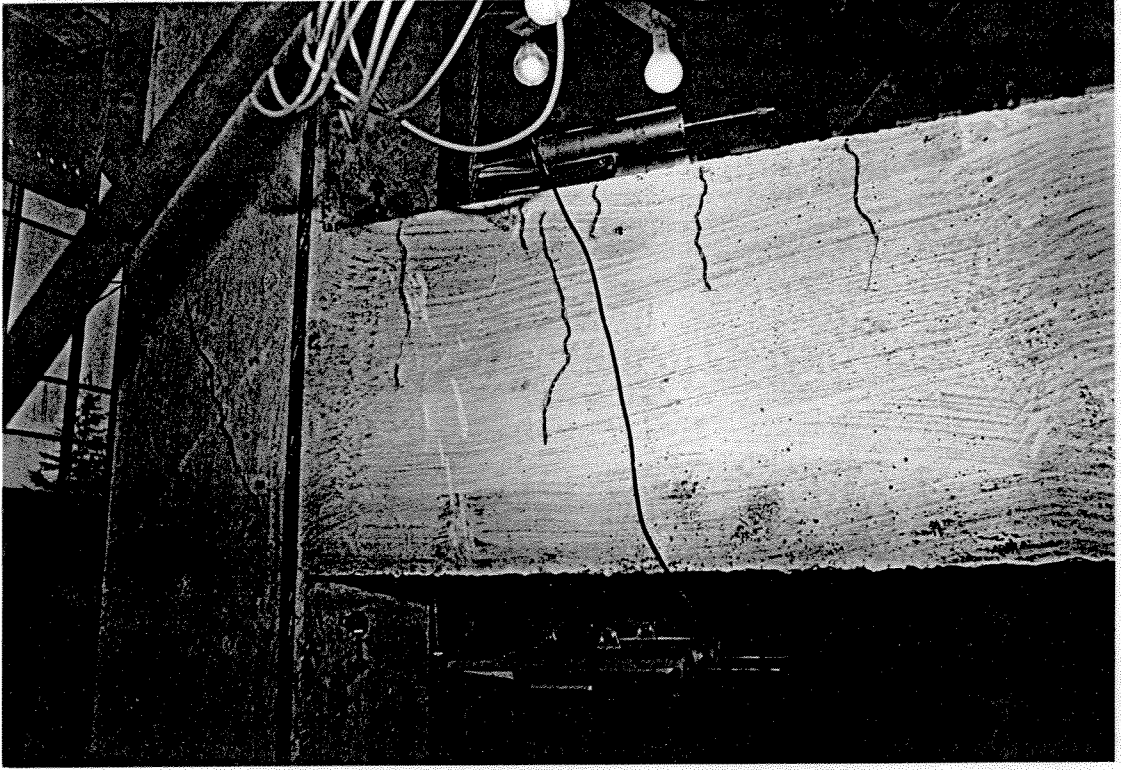
Şekil 4.2 Altıncı Döngüde MK1'in Görünüşü



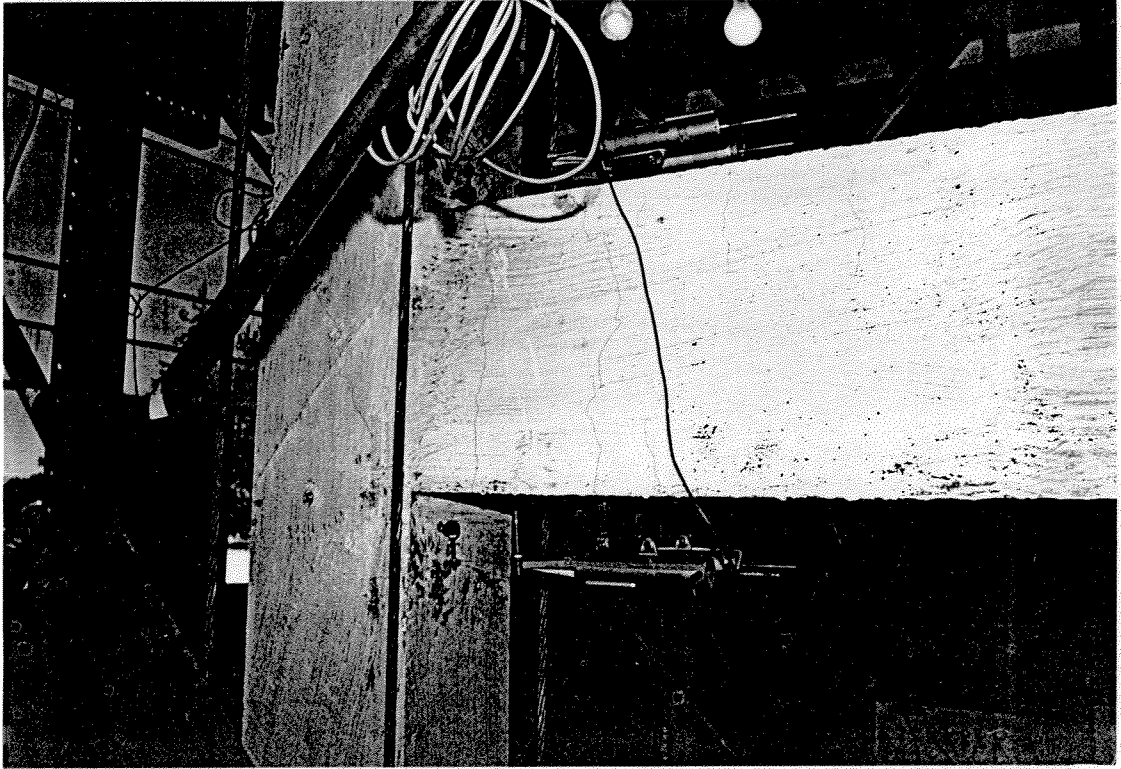
Şekil 4.3 Deney Bitiminde MK1'in Görünüşü



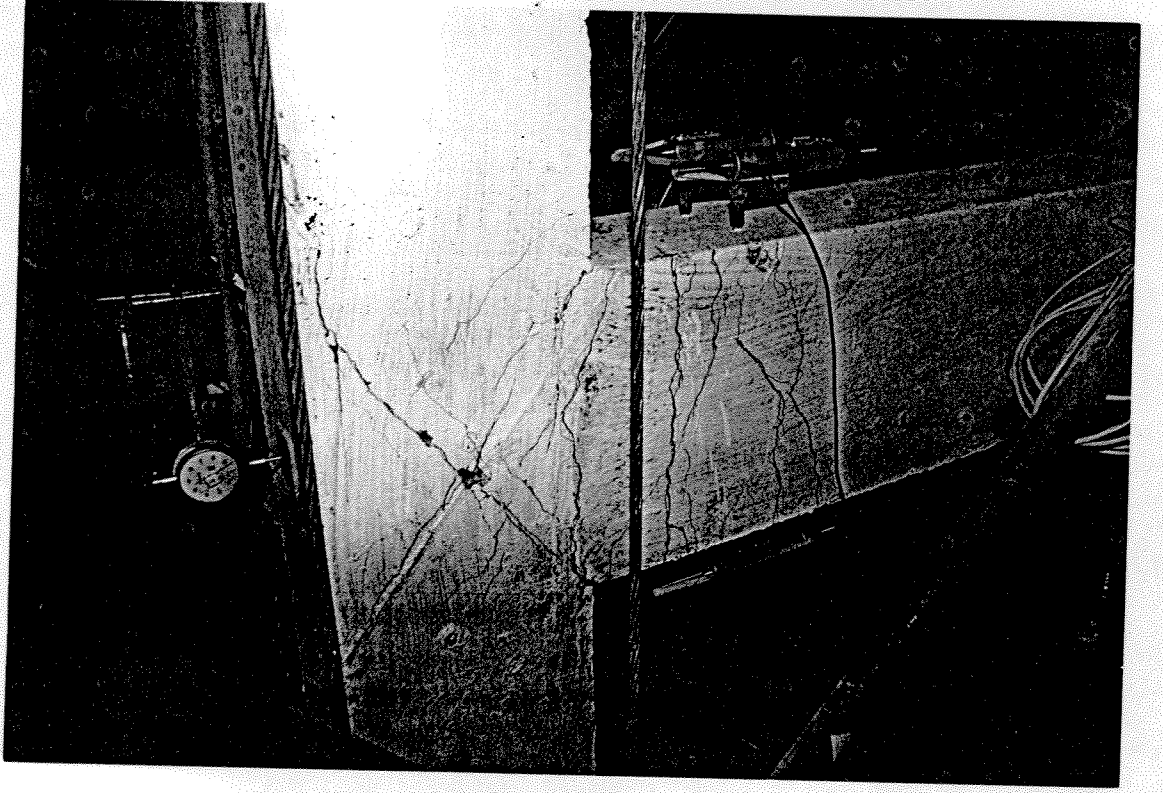
Şekil 4.4 Deney Bitiminde MK2'nin Görünüşü



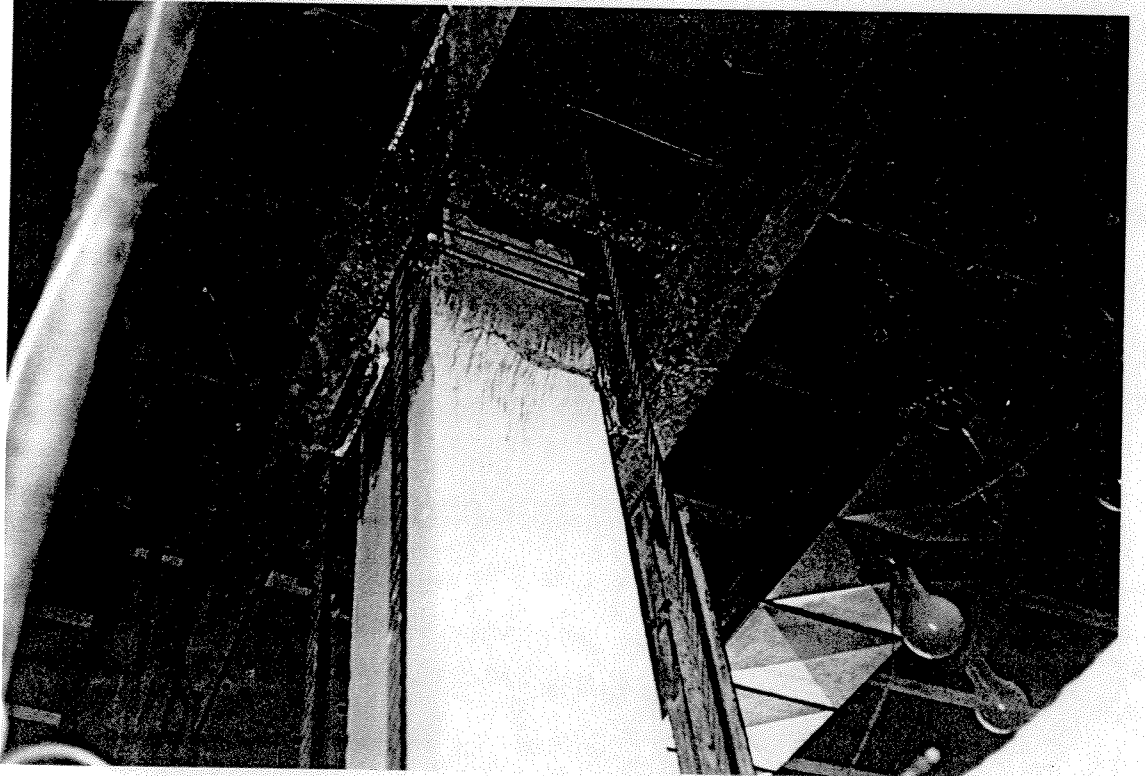
Şekil 4.5 Aşğı Yüklemede MM1'de Akmadan Dolayı Oluşan Çatlaklar



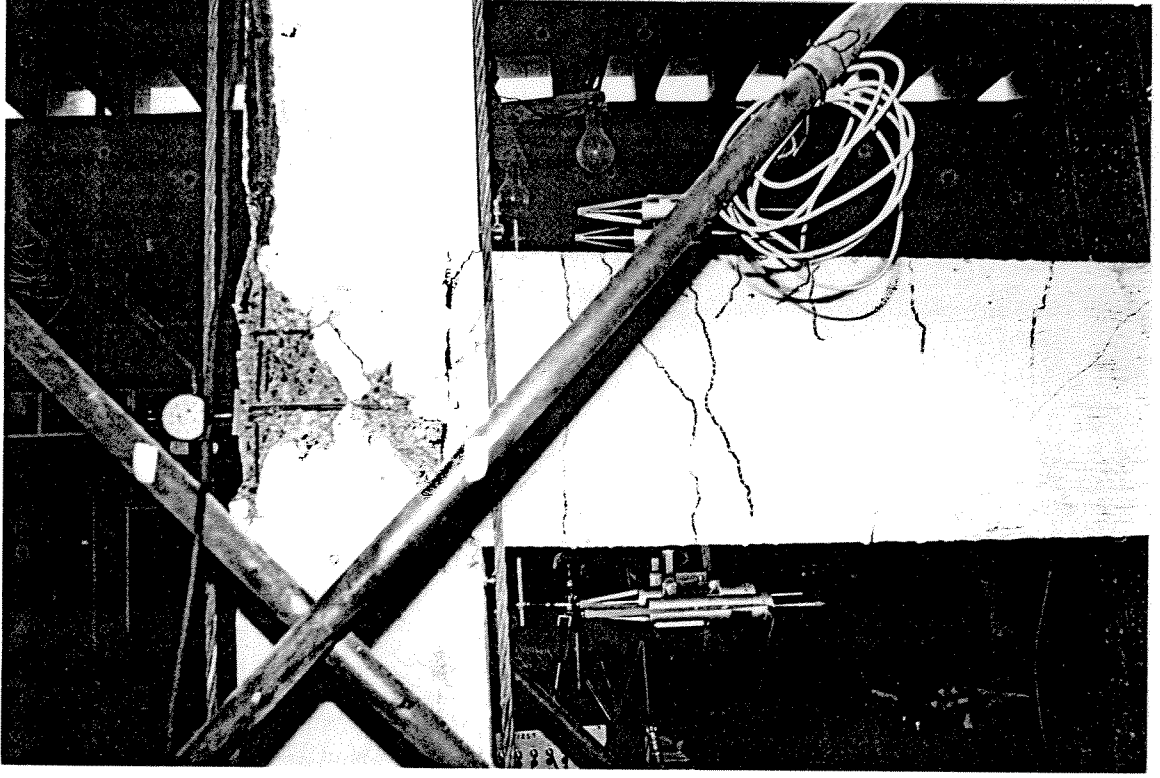
Şekil 4.6 Yukarı Yüklemede MM1'de Akmadan Dolayı Oluşan Çatlaklar



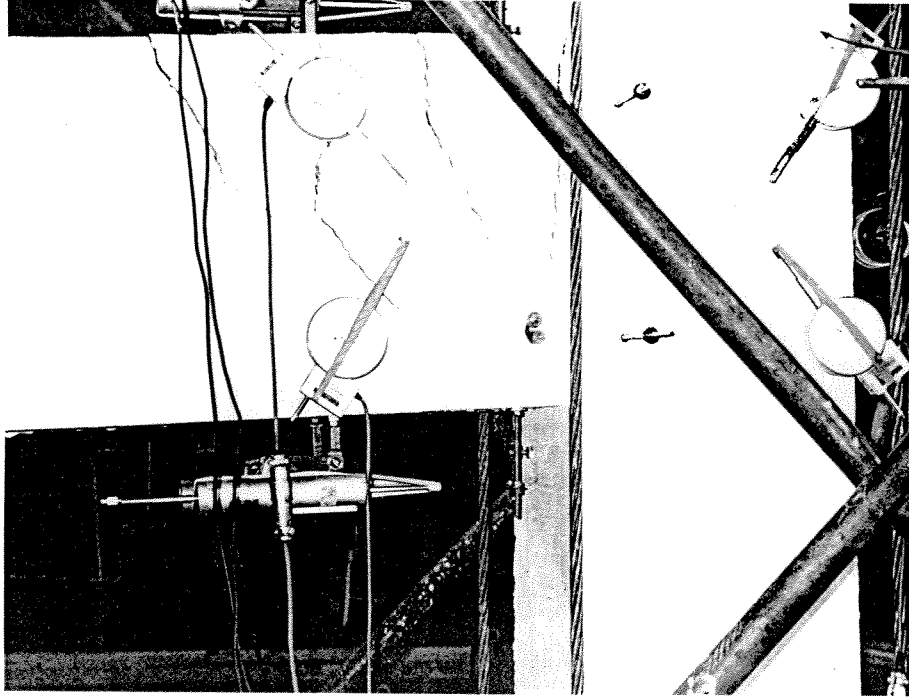
Şekil 4.7 MMI'de Plastik Mafsal Bölgesi



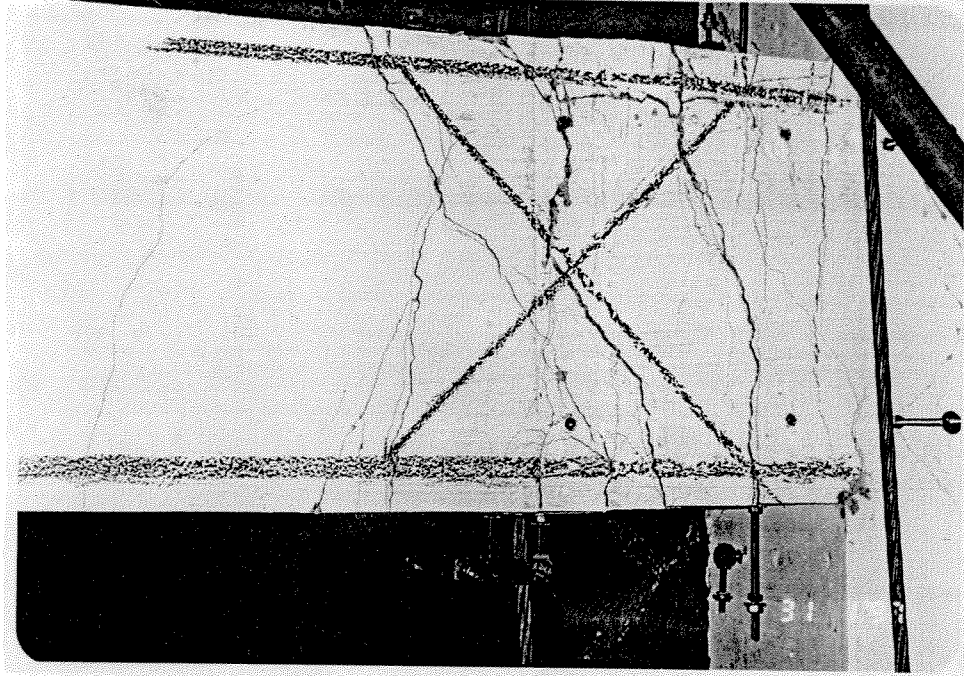
Şekil 4.8 MMI'in Kolon Tepesinde Oluşan Kabuk Ezilmesi



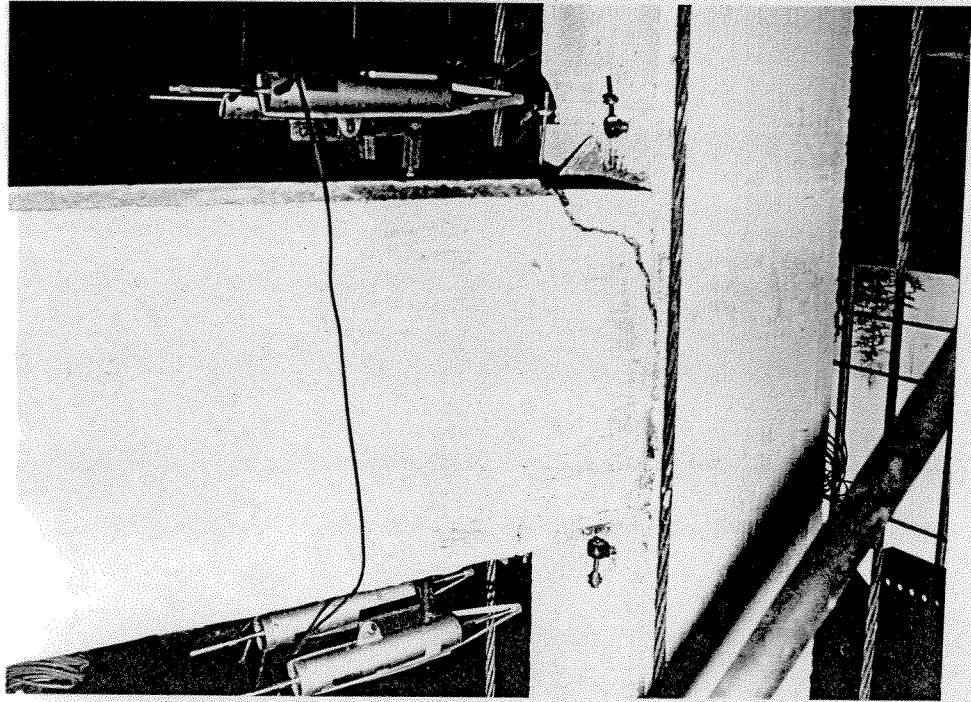
Şekil 4.9 Deney Sonunda MM1'in Görünüşü



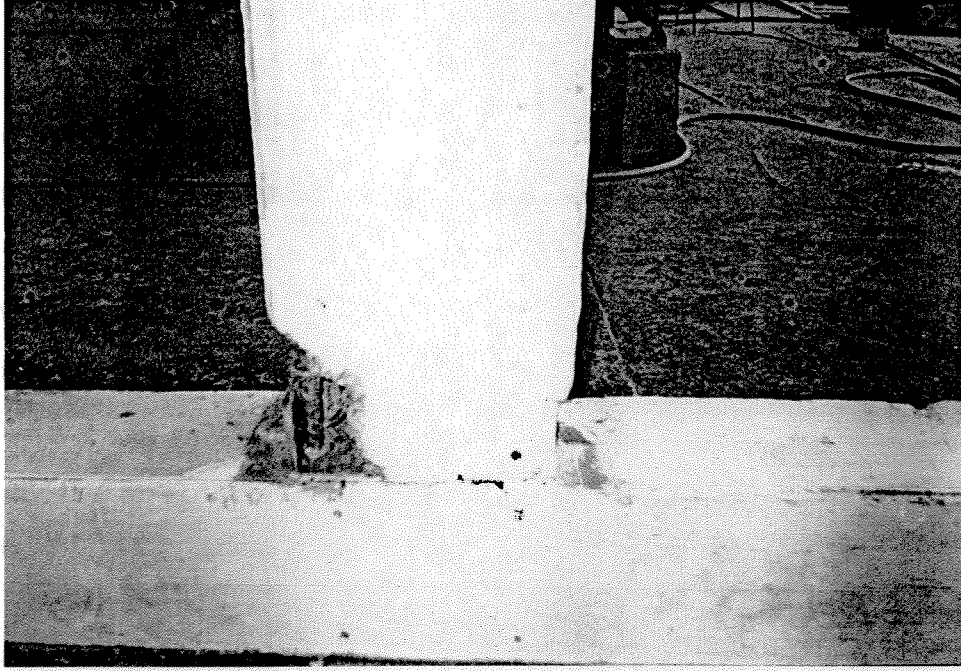
Şekil 4.10 Beşinci Döngüde MM2'de Oluşan Mafsalsal Bölgesi



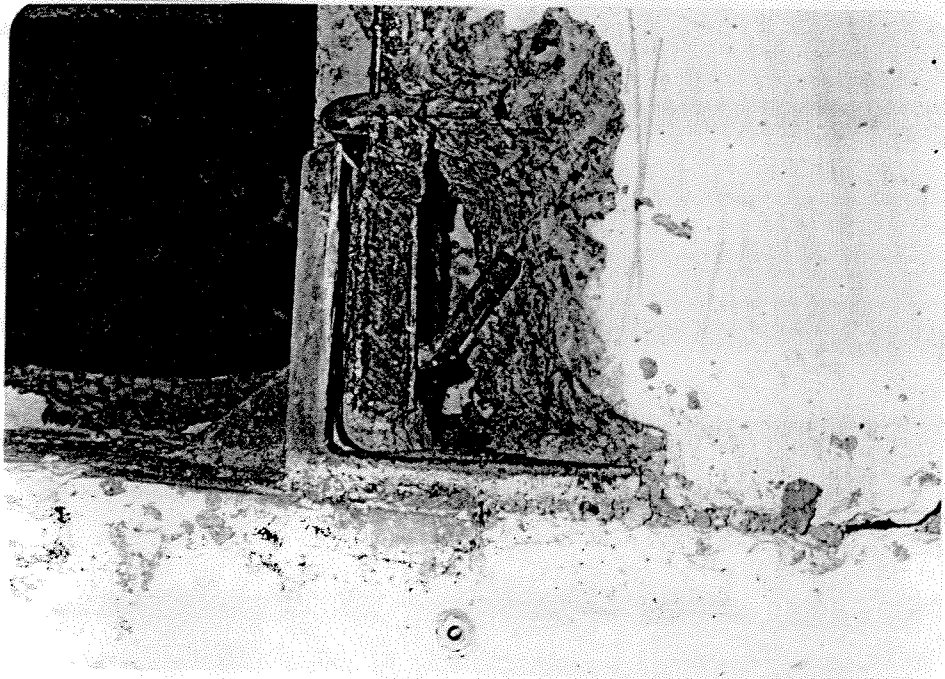
Şekil 4.11 Deney Sonunda MM2’de Görülen Mafsallaşma



Şekil 4.12 Kırılmadan Az Önce PK’nın Görünüşü



Şekil 4.13 PK'nın Otopsi Sonrası Görünüşü



Şekil 4.14 Kopmuş Kiriş Çubuklarının Yakından Görünüşü

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ

5.1. Giriş

Bu çalışmada amaç birdöküm ve öndökümlü çerçevelerin birleşim bölgelerinin sismik davranışını mafsal ötelemesiyle geliştirmektir. Ancak öndökümlü deney elemanlarının kaynak sorunu nedeniyle erken kırılmaları bu çalışmayı monolitik elemanlarla sınırlı kılmıştır. Bu bölümde yapılan bütün analizler birdöküm elemanlar içindir. Öndökümlü elemanların deneylerinden herhangi bir işlenebilir veri elde edilemediği için, bu elemanlar bu bölümde incelenememiştir.

5.2. Moment Kapasiteleri

Hazırlanan bir bilgisayar programıyla kirişlerdeki kritik kesitlerin akma ve taşıma gücü moment kapasiteleri hesaplanmış ve Tablo 5.1'de ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamalarda MK1 ve MK2 için kritik kesit kolon yüzü seçilirken, MM1 ve MM2'de alttan ve üstten bükülmüş çubukların kesiştiği mafsal bölgesinin orta kesiti alınmıştır. Kapasite hesaplamalarında akma kapasitesi tüm çekme donatısının aktığı moment, taşıma gücü kapasitesi ise en uç basınç fiberinin birim deformasyonunu 0.003 yapan moment olarak alınmıştır.

Tablo 5.1 incelendiğinde tüm elemanlar için hesaplanan ve ölçülen moment kapasitelerinin oldukça yakın olduğu görülür. MM1 ve MM2 elemanları için kesit kapasiteleri 45 derece bükülen çubuklar ihmal edilerek tekrar hesaplanmış ve Tablo 5.2'de deneyde ölçülen kapasitelerle karşılaştırılmıştır. Bu durumda arada belirgin farklar görülmektedir. Böylece bükülen çubukların kesitin orta bölgesindeki alanlarının kapasiteye katkısının ihmal edilmemesi gereği ortaya çıkmaktadır.

5.3. Yük-öteleme Eğrileri

Deneylerde kiriş uç deplasmanı LVDT'lerle ölçülmüştür. Bu ölçümler deney düzeneğinde engellenemeyen yer değiştirmeleri de içermektedir. Deney elemanının Şekil 5.1'de görülen yer değiştirme ve dönme açısı deney sırasında alınan ölçümlerle hesaplanmış ve ölçülen uç deplasmanından çıkarılmıştır. Bu şekilde hesaplanan net uç deplasmanları ile yük-öteleme eğrileri her bir deney elemanı için ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 5.2 ve 5.3'te görülen bu eğrilerde pozitif yük ve öteleme aşağı doğru yüklemeye karşılık gelmektedir.

Bu eğrilerden MK1 için başarılı bir davranıştan söz edilemez. Şekilde görüldüğü gibi bu deney elemanının dayanım ve rijitliği dördüncü döngüden sonra büyük düşüş göstermiştir. Bunun nedeni bu döngüde başlamış olan birleşim kırılmasıdır. ACI yönetmeliğine uygun tasarlanmış MK2'de ise böyle bir problem görülmemektedir.

MK1 ile aynı birleşim özelliklerine sahip olan MM1'in yük-öteleme eğrisinde MK1'e göre daha başarılı bir davranış gözlenmektedir. Plastik deformasyonların kolon yüzünden uzakta oluşması bu deney elemanının davranışını iyileştirmiştir. Ancak akmanın birleşime doğru kayması engellenemediği için ve son iki döngüde rijitlik ve dayanım oldukça azalmıştır.

MM2'nin yük-öteleme eğrisi ise çok daha başarılı bir davranışı göstermektedir. MK1 ve MM1'de görülen dayanım ve rijitlik kaybı problemlerinin hiç birisi bu elemanda görülmemektedir. Elemanın akma dayanımı diğer elemanlara oranla beklendiği gibi daha düşük olmasına karşın enerji tüketme özellikleri çok daha olumludur.

5.4. Kayma Deformasyonları

Kolon yükünden 5 cm ile 25 cm arasında oluşan kayma birim deformasyonları her bir deney elemanı için hesaplanmış ve Şekil 5.4'de görüldüğü gibi kesme kuvvetine karşılık

çizilmiştir. MM2'nin deneyi sırasında ölçüm aletinin kayması sonucu bu grafikler sadece MK1, MK2 ve MM1 için elde edilebilmiştir. Bu grafiklerde MK1 ve MK2 karşılaştırıldığında birleşim bölgesi deformasyonunun kiriş kayma deformasyonlarına olan etkisi açıkça görülmektedir. MK1'de birleşim bölgesinin çatlaması sonucu kiriş birleşim bölgesi içinde dönerken MK2'de birleşim bölgesi hemen hemen hasarsız kalmış, kiriş ucunda oluşan mafsallaşmanın etkisiyle betonun ileri döngülerde aşırı çatlaması bu bölgede önemli kayma deformasyonlarına yol açmıştır. Plastik mafsalın kirişe doğru itilmeye çalışıldığı MM1'de ise çapraz bükülen donatıların mafsal bölgesinde kayma deformasyonlarını önemli ölçüde azalttığı görülmektedir.

5.5. Moment-Dönme Eğrileri

Kirişlerdeki dönmeler kolon yüzünden 25 cm ileriye kadar uzanan bir bölgede ölçülmüştür. Bu ölçümler iki farklı bölge için yapılmıştır. Birinci bölge, kök bölgesi, kolon yüzünden kirişe doğru 5 cm'lik bir bölgeyi, ikinci bölge, mafsal bölgesi, kalan 20 cm'lik bölgeyi kapsamaktadır. İkinci bölge, MM1 ve MM2 elemanlarında donatı bükülerek mafsal oluşturulan bölgenin yaklaşık yarısını kapsamaktadır. Bu iki ayrı bölge için ölçülen moment-dönme eğrileri dört deney elemanı için Şekil 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8'de gösterilmiştir.

Birleşim bölgesi TDY-97 ve TS500 koşulları uyarınca tasarlanan MK1 ile ACI-ASCE 352 raporu koşullarını sağlayan MK2 elemanlarının moment-dönme ilişkileri Şekil 5.5 ve 5.6'da verilmektedir. MM1 elemanında sadece kök bölgesinde plastik dönme oluşmakta, ancak kirişin içine doğru ilerlememektedir. Kök bölgesindeki dönmeler ise MK2'ye göre daha az enerji tüketmektedir. Bunun nedeni MK1'de birleşim bölgesinin çatlaması ve kiriş ucunun birleşim bölgesi içinde de bir miktar dönmesidir. Bu durum kapasite tasarımında arzu edilmeyen bir davranış biçimidir. MK2 elemanında ise tüm plastik enerji tüketimi kiriş uç bölgesinde oluşmakta, eğilme çatlakları ileri döngülerde Şekil 5.6.b'de görüldüğü gibi kiriş kökünden içeriye doğru ilerleyerek kirişte daha fazla plastik enerji tüketimine katkıda bulunmaktadır.

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ

5.1. Giriş

Bu çalışmada amaç birdöküm ve öndökümlü çerçevelerin birleşim bölgelerinin sismik davranışını mafsal ötelemesiyle geliştirmektir. Ancak öndökümlü deney elemanlarının kaynak sorunu nedeniyle erken kırılmaları bu çalışmayı monolitik elemanlarla sınırlı kılmıştır. Bu bölümde yapılan bütün analizler birdöküm elemanlar içindir. Öndökümlü elemanların deneylerinden herhangi bir işlenebilir veri elde edilemediği için, bu elemanlar bu bölümde incelenememiştir.

5.2. Moment Kapasiteleri

Hazırlanan bir bilgisayar programıyla kirişlerdeki kritik kesitlerin akma ve taşıma gücü moment kapasiteleri hesaplanmış ve Tablo 5.1'de ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamalarda MK1 ve MK2 için kritik kesit kolon yüzü seçilirken, MM1 ve MM2'de alttan ve üstten bükülmüş çubukların kesiştiği mafsal bölgesinin orta kesiti alınmıştır. Kapasite hesaplamalarında akma kapasitesi tüm çekme donatısının aktığı moment, taşıma gücü kapasitesi ise en uç basınç fiberinin birim deformasyonunu 0.003 yapan moment olarak alınmıştır.

Tablo 5.1 incelendiğinde tüm elemanlar için hesaplanan ve ölçülen moment kapasitelerinin oldukça yakın olduğu görülür. MM1 ve MM2 elemanları için kesit kapasiteleri 45 derece bükülen çubuklar ihmal edilerek tekrar hesaplanmış ve Tablo 5.2'de deneyde ölçülen kapasitelerle karşılaştırılmıştır. Bu durumda arada belirgin farklar görülmektedir. Böylece bükülen çubukların kesitin orta bölgesindeki alanlarının kapasiteye katkısının ihmal edilmemesi gereği ortaya çıkmaktadır.

5.3. Yük-öteleme Eğrileri

Deneylerde kiriş uç deplasmanı LVDT'lerle ölçülmüştür. Bu ölçümler deney düzeneğinde engellenemeyen yer değiştirmeleri de içermektedir. Deney elemanının Şekil 5.1'de görülen yer değiştirme ve dönme açısı deney sırasında alınan ölçümlerle hesaplanmış ve ölçülen uç deplasmanından çıkarılmıştır. Bu şekilde hesaplanan net uç deplasmanları ile yük-öteleme eğrileri her bir deney elemanı için ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 5.2 ve 5.3'te görülen bu eğrilerde pozitif yük ve öteleme aşağı doğru yüklemeye karşılık gelmektedir.

Bu eğrilerden MK1 için başarılı bir davranıştan söz edilemez. Şekilde görüldüğü gibi bu deney elemanının dayanım ve rijitliği dördüncü döngüden sonra büyük düşüş göstermiştir. Bunun nedeni bu döngüde başlamış olan birleşim kırılmasıdır. ACI yönetmeliğine uygun tasarlanmış MK2'de ise böyle bir problem görülmemektedir.

MK1 ile aynı birleşim özelliklerine sahip olan MM1'in yük-öteleme eğrisinde MK1'e göre daha başarılı bir davranış gözlenmektedir. Plastik deformasyonların kolon yüzünden uzakta oluşması bu deney elemanının davranışını iyileştirmiştir. Ancak akmanın birleşime doğru kayması engellenemediği için ve son iki döngüde rijitlik ve dayanım oldukça azalmıştır.

MM2'nin yük-öteleme eğrisi ise çok daha başarılı bir davranışı göstermektedir. MK1 ve MM1'de görülen dayanım ve rijitlik kaybı problemlerinin hiç birisi bu elemanda görülmemektedir. Elemanın akma dayanımı diğer elemanlara oranla beklendiği gibi daha düşük olmasına karşın enerji tüketme özellikleri çok daha olumludur.

5.4. Kayma Deformasyonları

Kolon yükünden 5 cm ile 25 cm arasında oluşan kayma birim deformasyonları her bir deney elemanı için hesaplanmış ve Şekil 5.4'de görüldüğü gibi kesme kuvvetine karşılık

çizilmiştir. MM2'nin deneyi sırasında ölçüm aletinin kayması sonucu bu grafikler sadece MK1, MK2 ve MM1 için elde edilebilmiştir. Bu grafiklerde MK1 ve MK2 karşılaştırıldığında birleşim bölgesi deformasyonunun kiriş kayma deformasyonlarına olan etkisi açıkça görülmektedir. MK1'de birleşim bölgesinin çatlaması sonucu kiriş birleşim bölgesi içinde dönerken MK2'de birleşim bölgesi hemen hemen hasarsız kalmış, kiriş ucunda oluşan mafsallaşmanın etkisiyle betonun ileri döngülerde aşırı çatlaması bu bölgede önemli kayma deformasyonlarına yol açmıştır. Plastik mafsalin kirişe doğru itilmeye çalışıldığı MM1'de ise çapraz bükülen donatıların mafsal bölgesinde kayma deformasyonlarını önemli ölçüde azalttığı görülmektedir.

5.5. Moment-Dönme Eğrileri

Kirişlerdeki dönmeler kolon yüzünden 25 cm ileriye kadar uzanan bir bölgede ölçülmüştür. Bu ölçümler iki farklı bölge için yapılmıştır. Birinci bölge, kök bölgesi, kolon yüzünden kirişe doğru 5 cm'lik bir bölgeyi, ikinci bölge, mafsal bölgesi, kalan 20 cm'lik bölgeyi kapsamaktadır. İkinci bölge, MM1 ve MM2 elemanlarında donatı bükülerek mafsal oluşturulan bölgenin yaklaşık yarısını kapsamaktadır. Bu iki ayrı bölge için ölçülen moment-dönme eğrileri dört deney elemanı için Şekil 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8'de gösterilmiştir.

Birleşim bölgesi TDY-97 ve TS500 koşulları uyarınca tasarlanan MK1 ile ACI-ASCE 352 raporu koşullarını sağlayan MK2 elemanlarının moment-dönme ilişkileri Şekil 5.5 ve 5.6'da verilmektedir. MM1 elemanında sadece kök bölgesinde plastik dönme oluşmakta, ancak kirişin içine doğru ilerlememektedir. Kök bölgesindeki dönmeler ise MK2'ye göre daha az enerji tüketmektedir. Bunun nedeni MK1'de birleşim bölgesinin çatlaması ve kiriş ucunun birleşim bölgesi içinde de bir miktar dönmesidir. Bu durum kapasite tasarımında arzu edilmeyen bir davranış biçimidir. MK2 elemanında ise tüm plastik enerji tüketimi kiriş uç bölgesinde oluşmakta, eğilme çatlakları ileri döngülerde Şekil 5.6.b'de görüldüğü gibi kiriş kökünden içeriye doğru ilerleyerek kirişte daha fazla plastik enerji tüketimine katkıda bulunmaktadır.

Plastik mafsalin kirişe doğru itildiği ilk eleman olan MM1'de mafsal bölgesindeki kapasite azalımı yeterli olmamış ve tüm plastik dönmeler kök bölgesinde oluşmuştur (Şekil 5.7). Elemanın enerji tüketme davranışında referans elemanı MK1'e göre bir miktar iyileşme sağlanmakla birlikte yeterli olmamıştır. Ayrıca birleşim bölgesinde de hasar oluşmuş, ancak MK1 birleşimine göre hasar düzeyi oldukça azalmıştır. MM2 elemanında mafsal kapasitesi referans elemanına göre güçlü yönde %67, zayıf yönde %82 oranına indirildiğinde plastik enerji tüketimi beligin şekilde kök bölgesinden mafsal bölgesine kaymıştır (Şekil 5.8). Plastik mafsalda olumlu enerji tüketme davranışı elde edilmiş, birleşim bölgesinde ise ince çatlaklar dışında hasar gözlenmemiştir. Ancak zayıf yöndeki kapasite azaltımı yeterli olmamış ve bu yönde kök bölgesinde de mafsal oluşumu ve hasar elde edilmiştir. Şekil 5.8.b'de gözlenen zayıf yöndeki enerji tüketimi bu durumu göstermektedir.

5.6. Uç Deplasman Bileşenleri

Her deney elemanı için deney ölçümleri kullanılarak uç deplasmanını oluşturan bileşenler hesaplanmış ve bunlar toplanarak ölçülen uç deplasmanlarıyla Şekil 5.9, 5.10, 5.11 ve 5.12'de görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır.

Bu eğrilerden görüldüğü gibi mafsal bölgesi kesme deformasyonları MK2 elemanındaki ileri döngüler haricinde ihmal edilebilir bir düzeydedir. Uç deplasmanının büyük bir kısmını eğilme deformasyonları oluşturmaktadır. MK1 referans elemanında eğilme deformasyonları tamamen kök bölgesinde oluşmakta ve ileri döngülerde birleşim bölgesinin içine nüfuz ederek birleşim hasarına neden olmaktadır. MK2 elemanında da kök bölgesinde önemli eğilme deformasyonu oluşmakta, ancak ileri döngülerde bu deformasyonlar birleşim bölgesine değil kapasite tasarımı amaçlarına uygun olarak kirişe doğru ilerlemektedir. MK2 elemanında elastik deformasyonların ve birleşim bölgesindeki deformasyonların kiriş uç deplasmanına katkısı ihmal edilebilir düzeyde olduğu için Şekil 5.10'da bu bileşenler gösterilmemiştir.

MM1 ile referans elemanı MK1 deplasman bileşenleri karşılaştırıldığında, MM1'de kiriş üzerinde oluşması amaçlanan plastik mafsaldaki dönmelerin toplam deplasmana belirgin katkı yaptığı görülmektedir (Şekil 5.11). Ancak önceden de belirtildiği gibi bu elemanda mafsal oluşumu yeterince sağlanamamıştır. Öte yandan kiriş üzerinde plastik mafsalin tam olarak oluşturulduğu MM2 elemanında plastik mafsal dönme bileşeni toplam kiriş deplasmanına en büyük katkıyı yapmaktadır (Şekil 5.12). Bu elemanda böylece kiriş eğilme mafsalinın tüm olumlu özelliklerini elde etmek mümkün olmuştur.

5.7. Enerji Tüketimi

Deney elemanlarının enerji tüketimi kapasiteleri yük-öteleme eğrileri altındaki alanlar hesaplanarak Şekil 5.13'de karşılaştırılmıştır. Bu eğrilerden de görüldüğü gibi altıncı döngüye kadar önemli bir farklılık görülmemektedir. Ancak bu döngüden sonra MK1 ve MM1'de görülen birleşim kırılmasından dolayı, bu elemanlar MM2'ye göre daha az enerji tüketmişlerdir. MK2 elemanında ise son döngü hidrolik kriko problemi nedeniyle tamamlanamamıştır.

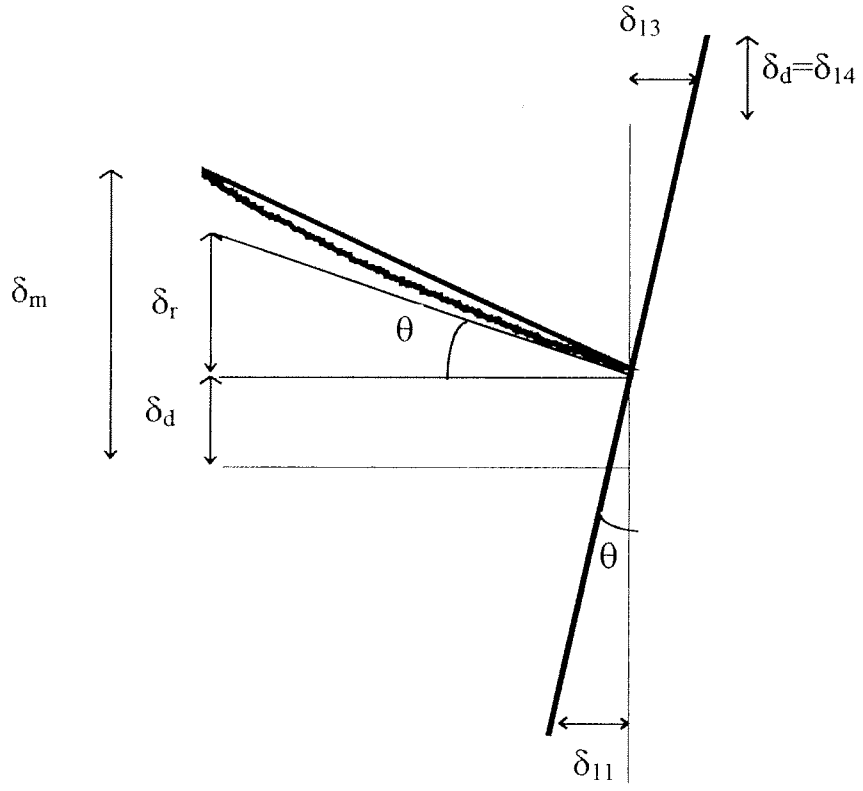
Mafsal ve kök bölgelerindeki plastik rotasyonlardan dolayı tüketilen enerjiler moment-dönme eğrileri altındaki alanlar kullanılarak hesaplanmış ve tüketilen toplam enerji ile her bir deney elemanı için karşılaştırılmıştır. Şekil 5.14 ve 5.15'te görüldüğü gibi MK1 ve MK2'de tüketilen enerjinin büyük bir kısmı kök rotasyonlarından dolayıdır. Ancak MK1'de hasar gören birleşim bölgesinin kiriş kökünde alınan dönme ölçümlerini etkilediği göz önünde tutulmalıdır. Nitekim bu durumun önlendiği MK2'de kök bölgesindeki dönme nedeniyle tüketilen enerji azalmış, ancak plastik mafsalin ileri döngülerde kirişe doğru kayması sonucu mafsal bölgesi olarak tanımlanan bölgede de plastik eğilme ile enerji tüketilmiştir.

MM1 elemanında kiriş üzerinde mafsal oluşturma çabalarına karşın kök bölgesinde tüketilen enerji mafsal bölgesinde tüketilen enerjiden fazladır. Bu durum kiriş üzerindeki plastik mafsalin etkili olmadığını göstermektedir. Mafsal kapasitesinin daha fazla azaltıldığı

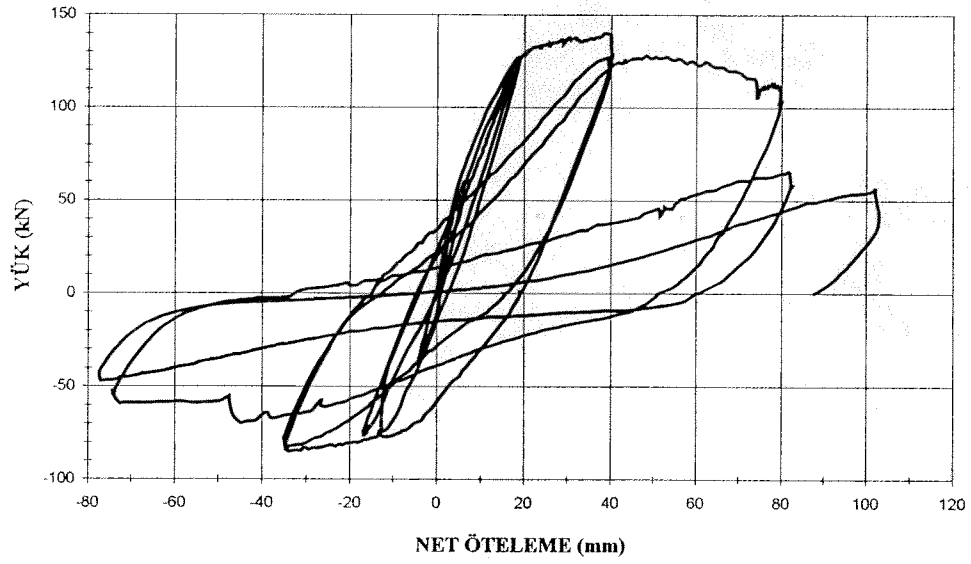
MM2’de kiriş üzerinde plastik mafsal oluşması ile mafsal bölgesinde tüketilen enerji artmış, kök bölgesinin enerji tüketimi ise sınırlı kalmıştır. Böylece deneyde amaçlanan hedefe ulaşılmış, enerji tüketimi ve dolaylı hasar birleşim bölgesinden uzakta tutulmuştur.

5.8. Kırılma Mekanizmaları

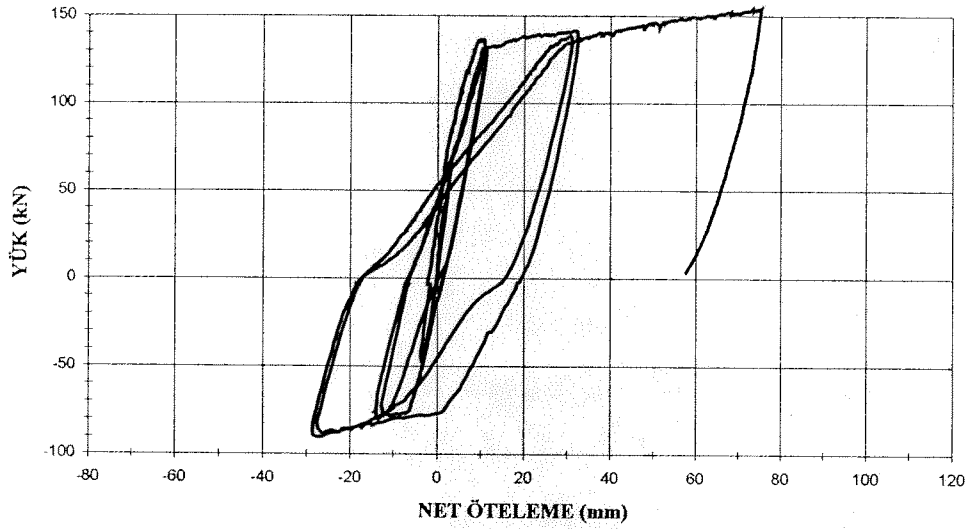
Bu çalışmada deney elemanlarının çeşitli bileşenlerinin moment ve kesme kapasiteleri hesaplanmış ve uygulanan maksimum deney kuvvetleriyle Tablo 5.3’de karşılaştırılmıştır. Böylece deneyler sırasında gözlenen ve teorik olarak beklenen kırılma mekanizmaları karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar deneysel olarak gözlenen davranışla tamamen uyusmaktadır. Sadece MM2’nin ileri yüklemesi sırasında hesap sonuçlarına göre birleşim bölgesi kırılması işaret edilirken deneyde bu görülmemiştir. Birleşimde çatlama başlamış, ancak birleşim kırılması oluşmamıştır. Bunun nedeni birleşime giren kiriş çekme donatısının akmamış olması, dolayısı ile birleşime etki eden gerçek kesme kuvvetinin hesaplanandan daha düşük olarak gerçekleşmesidir. Bu sonuç deney amaçlarına uygundur. Zira MM2 elemanında birleşim bölgesinden ileride kiriş üzerinde plastik mafsal tam olarak meydana geldiği için kirişten birleşim bölgesine giren donatılarda (kök bölgesi) okuma meydana gelmemiştir.



Şekil 5.1 Uç Deplasman Bileşenleri

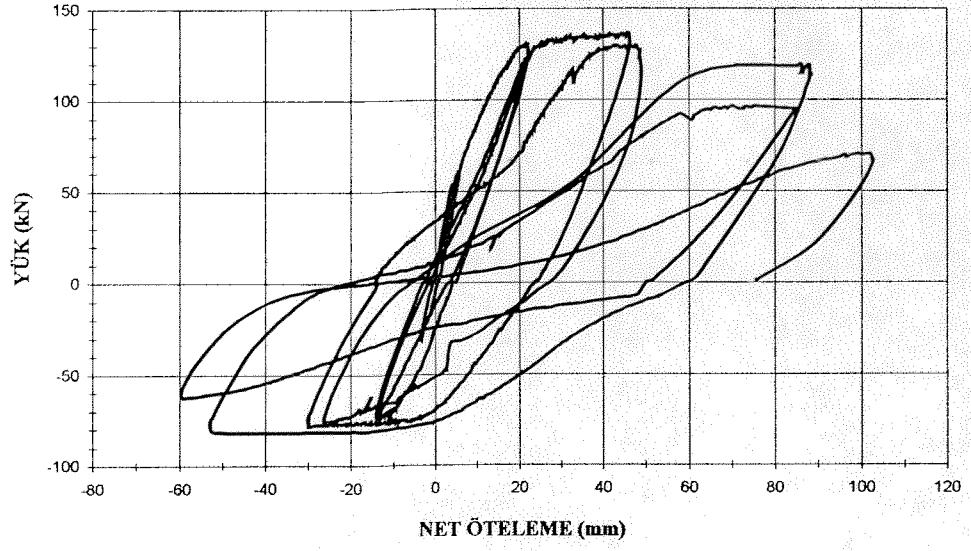


a) MK1

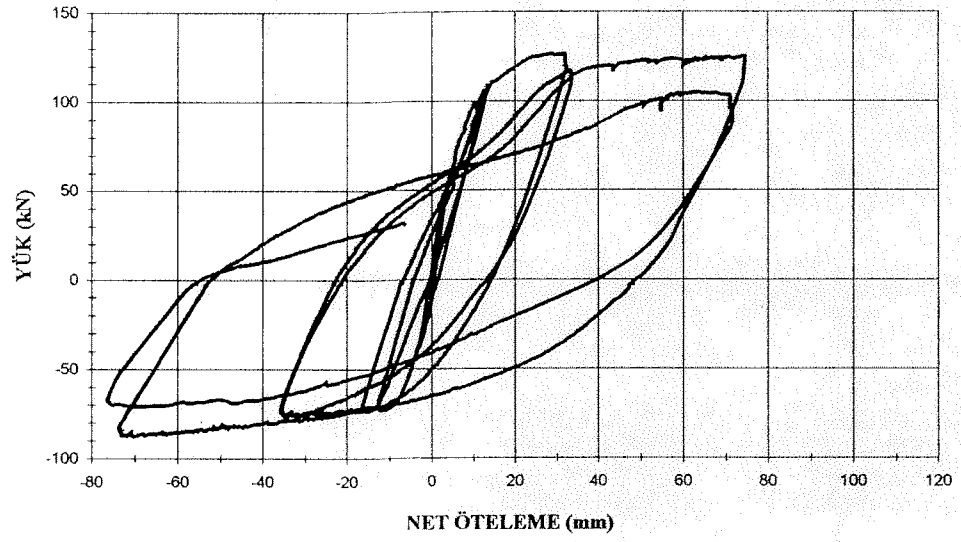


b) MK2

Şekil 5.2 Yük - Öteleme Eğrileri (MK1, MK2)

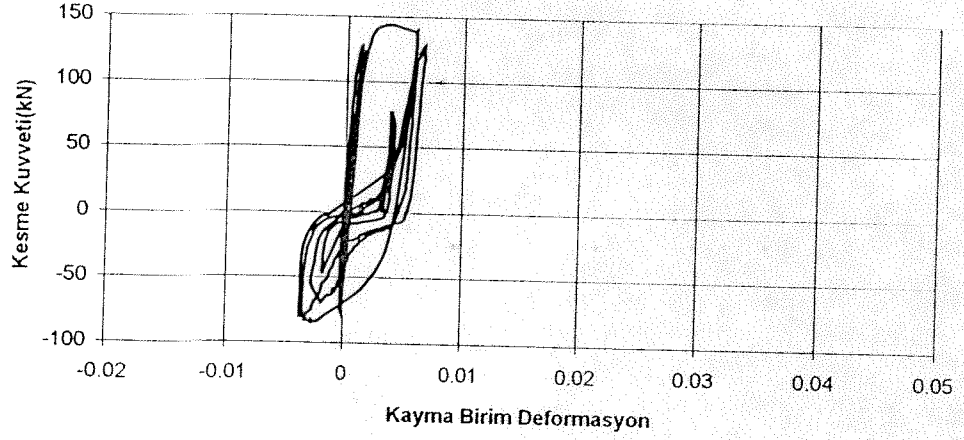


a) MM1

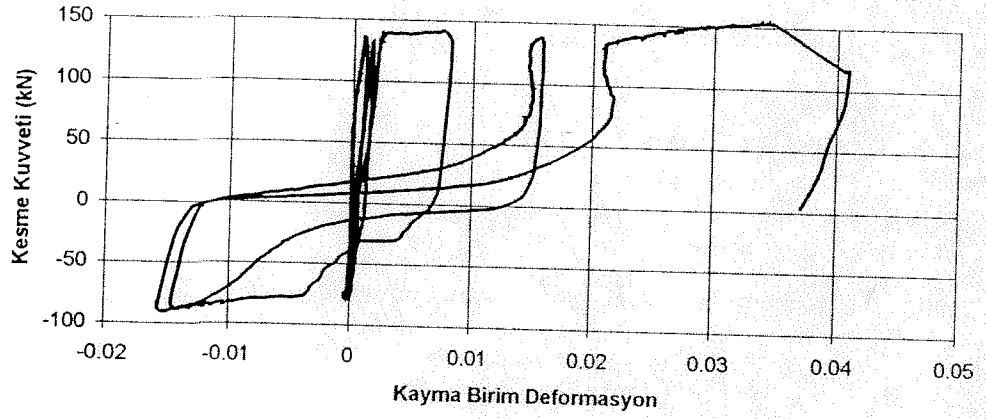


b) MM2

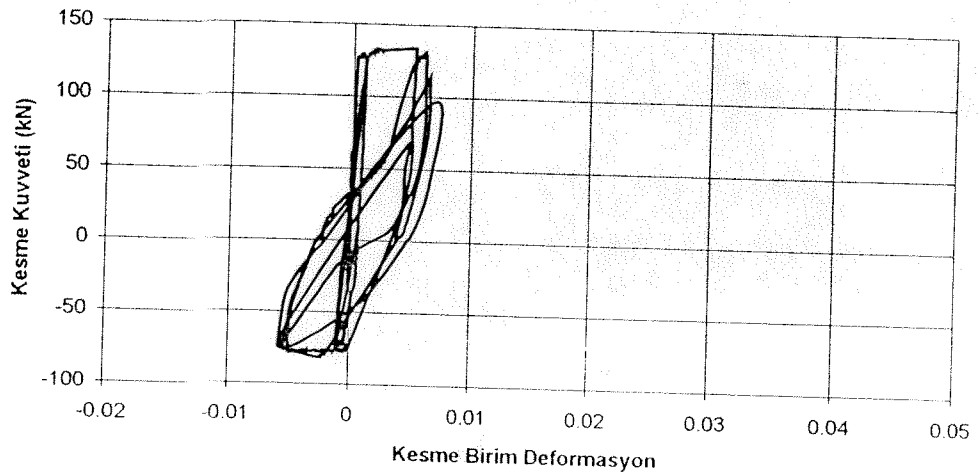
Şekil 5.3 Yük - Öteleme Eğrileri (MM1, MM2)



a) MKI

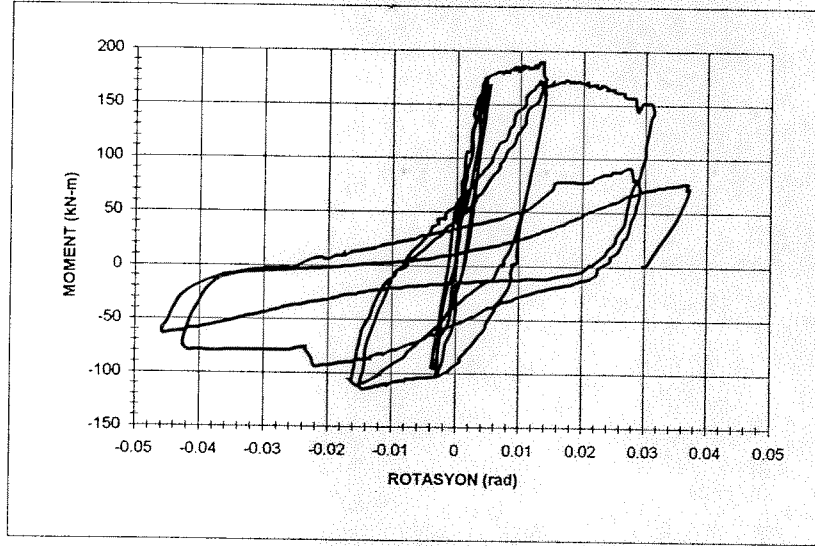


b) MK2

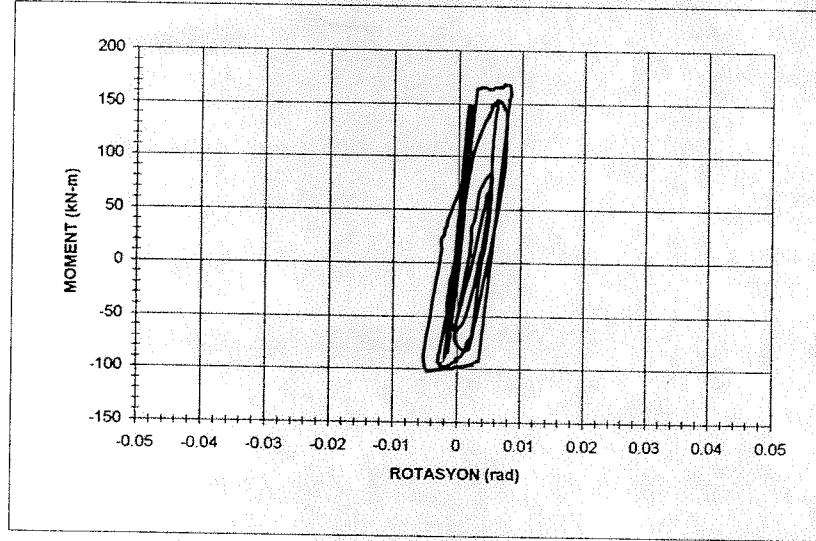


c) MMI

Şekil 5.4 Kesme - Birim Deformasyon Eğrileri

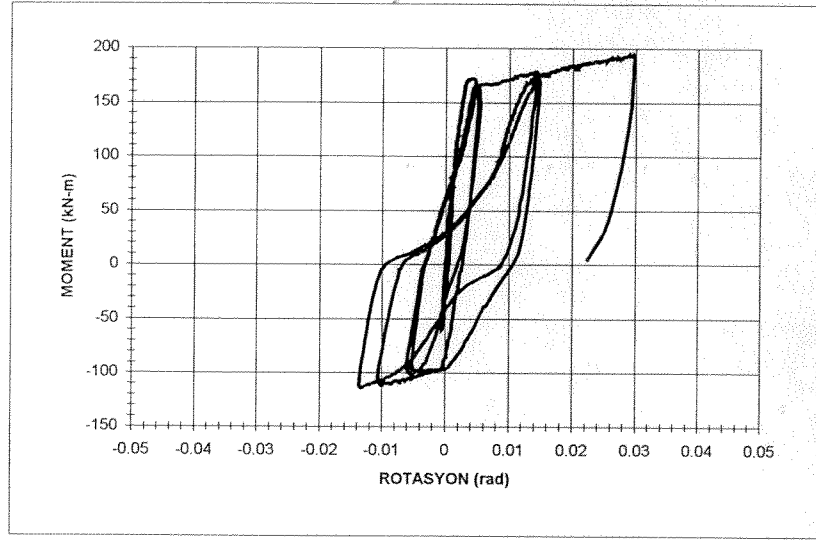


a) kök bölgesi

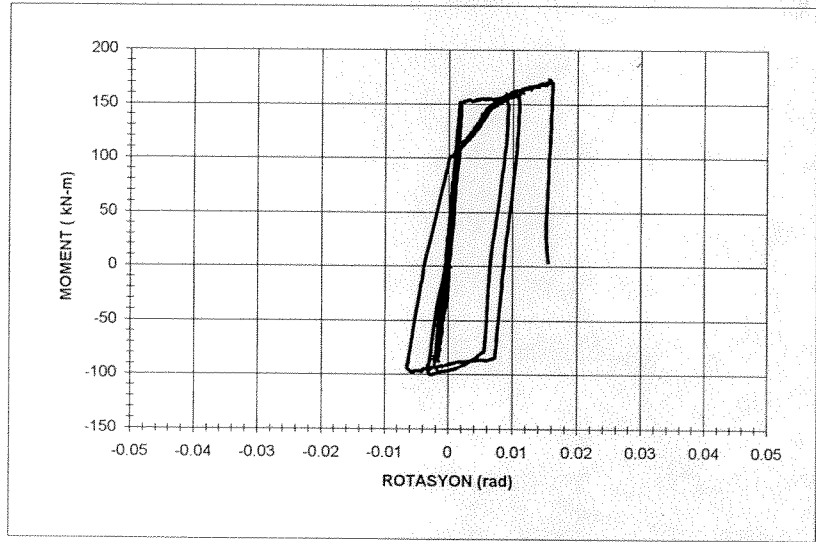


b) mafsal bölgesi

Şekil 5.5 Moment - Dönme Eğrileri (MK1)

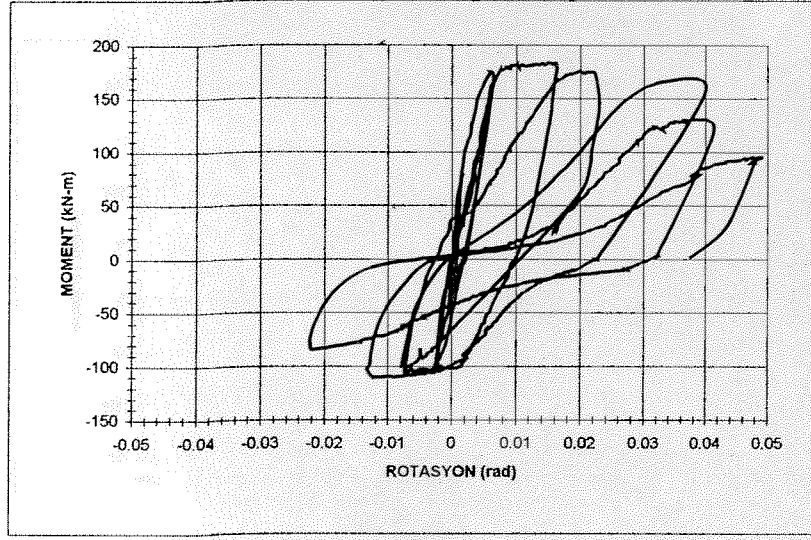


a) kök bölgesi

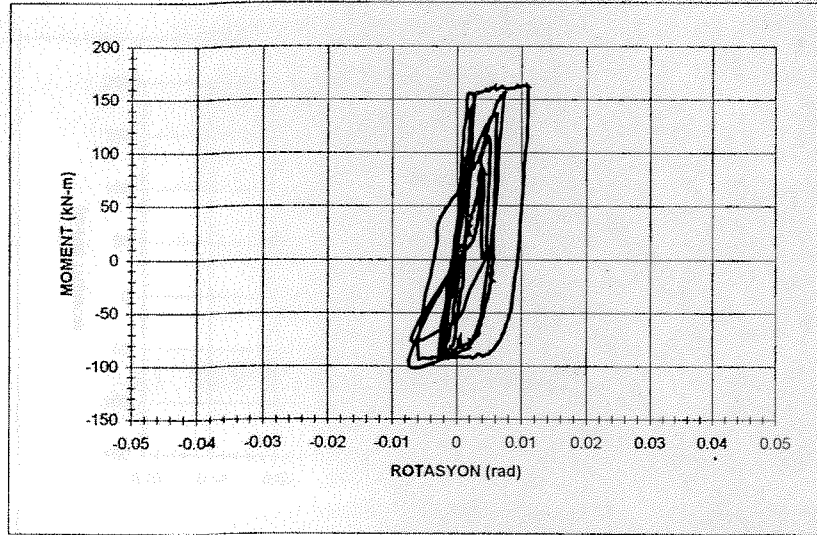


b) mafsal bölgesi

Şekil 5.6 Moment - Dönme Eğrileri (MK2)

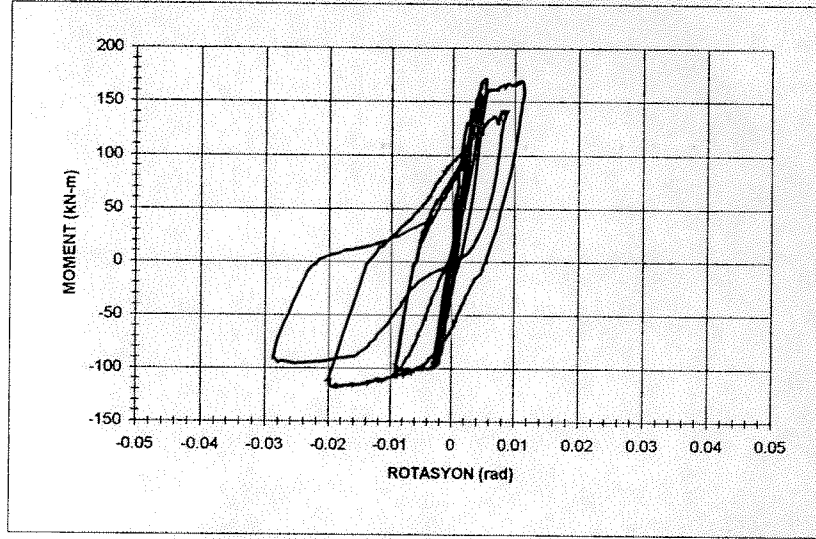


a) kök bölgesi

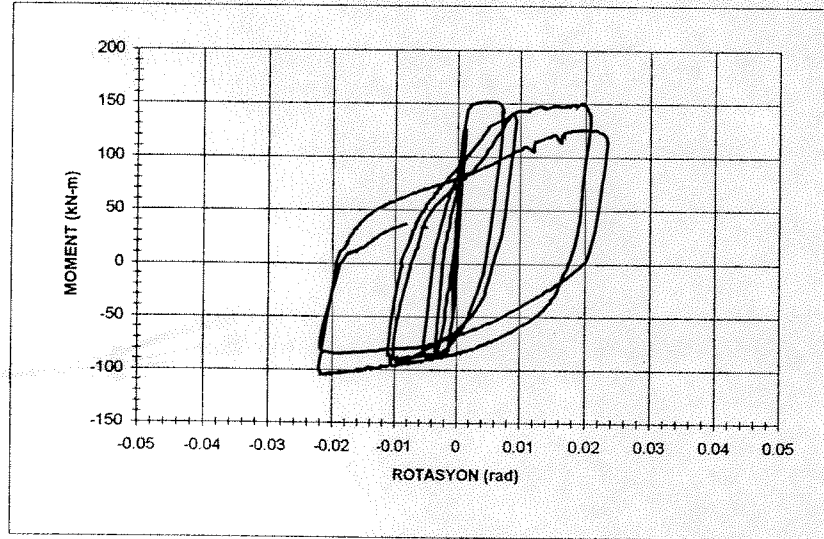


b) mafsal bölgesi

Şekil 5.7 Moment - Dönme Eğrileri (MMI)

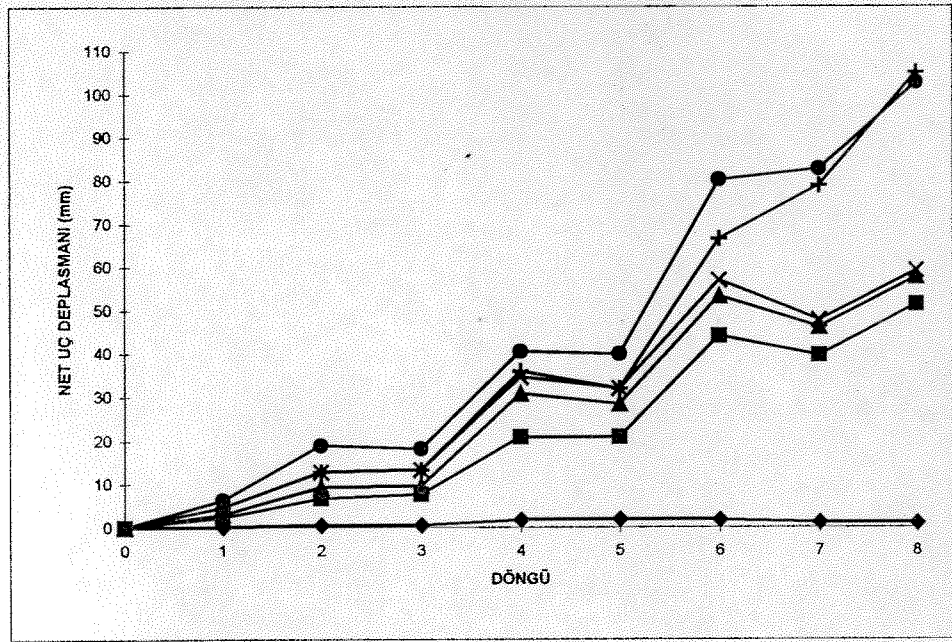


a) kök bölgesi

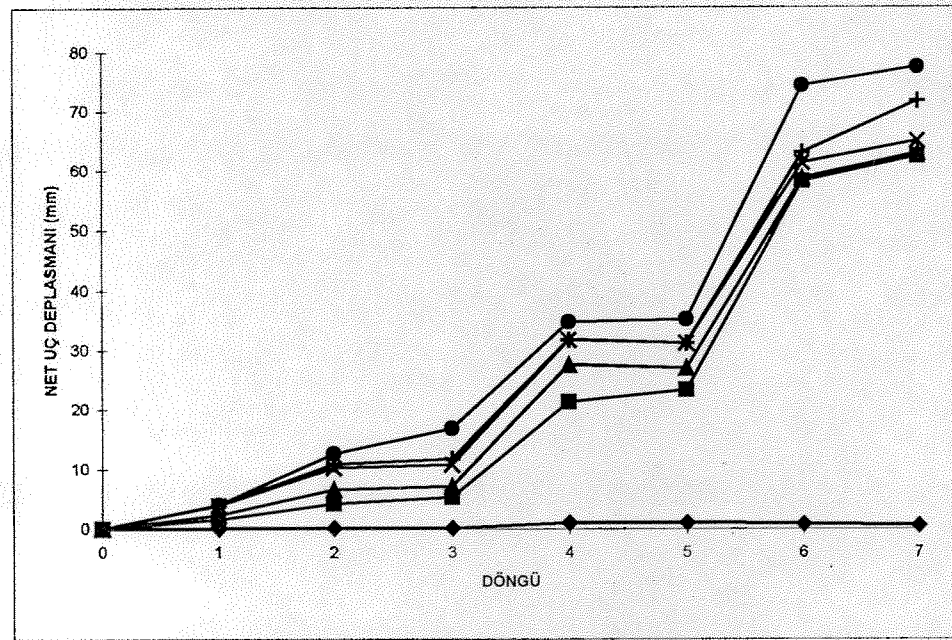


b) mafsal bölgesi

Şekil 5.8 Moment - Dönme Eğrileri (MM2)



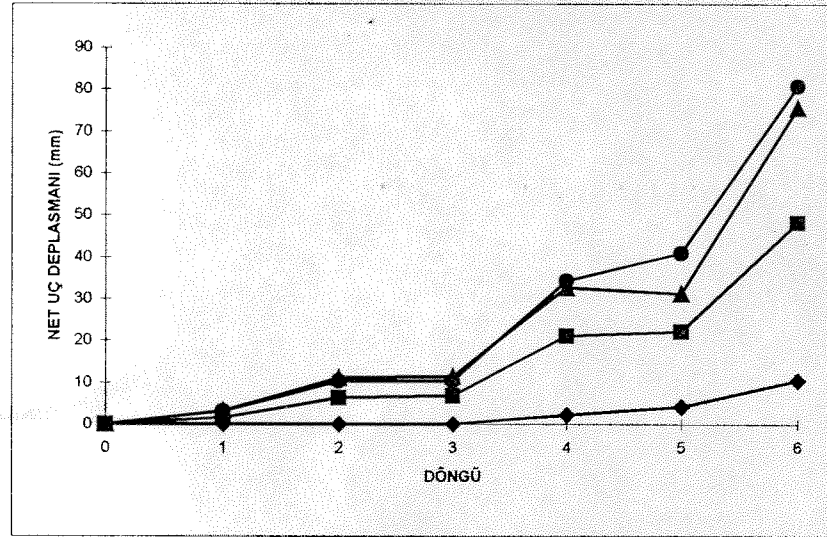
a) aşağı yükleme



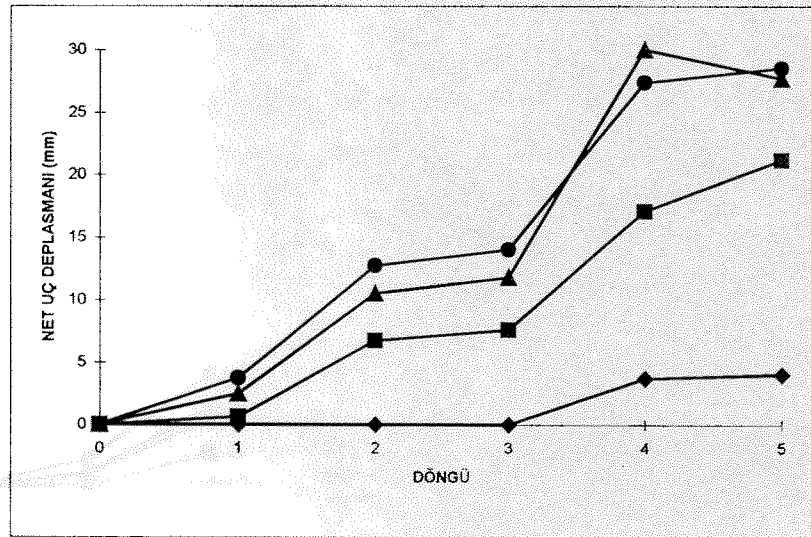
b) yukarı yükleme

- ◇ :MAFSAL KESME DEFORMASYONU
□ :MAFSAL KESME + KÖK ROTASYONU
Δ :MAFSAL KESME + KÖK ROTASYONU + MAFSAL ROTASYONU
x :MAFSAL KESME + KÖK ROT. + MAFSAL ROT. + ELASTİK ROT.
+ :MAF. KES. + KÖK ROT. + MAF. ROT. + ELASTİK ROT. + BİRLEŞİM KESME
○ :TOPLAM

Şekil 5.9 Uç Deplasman Bileşenleri (MK1)



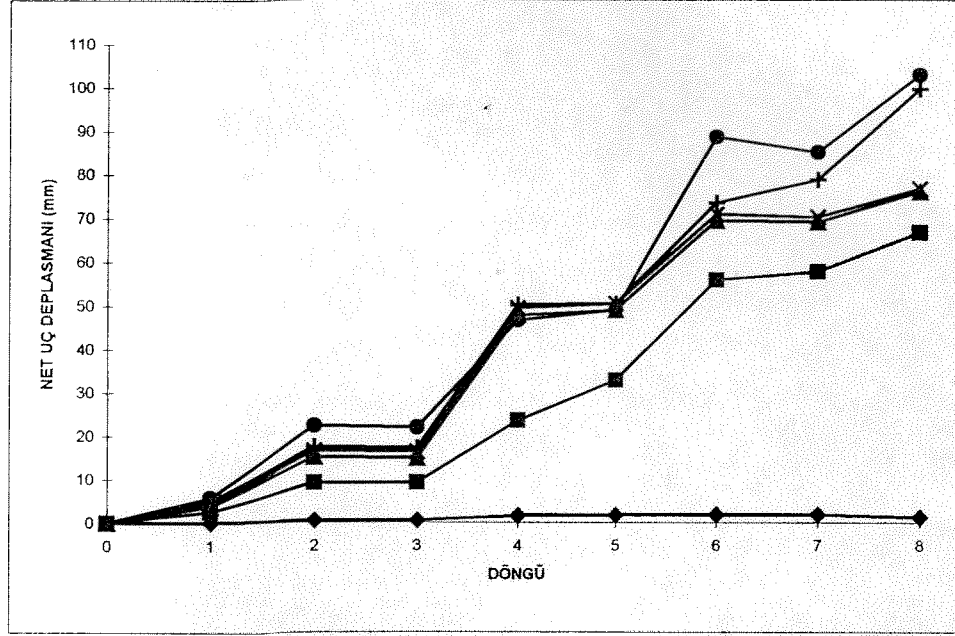
a) aşağı yükleme



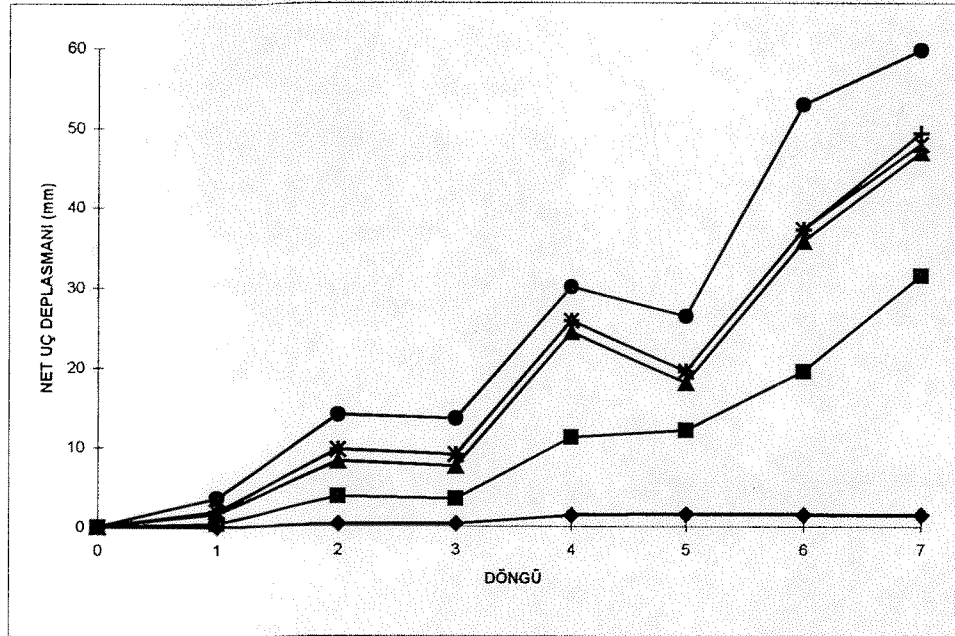
b) yukarı yükleme

◇ :MAFSAL KESME DEFORMASYONU
 □:MAFSAL KESME + KÖK ROTASYONU
 Δ: MAFSAL KESME + KÖK ROTASYONU + MAFSAL ROTASYONU
 O:TOPLAM

Şekil 5.10 Uç Deplasman Bileşenleri (MK2)



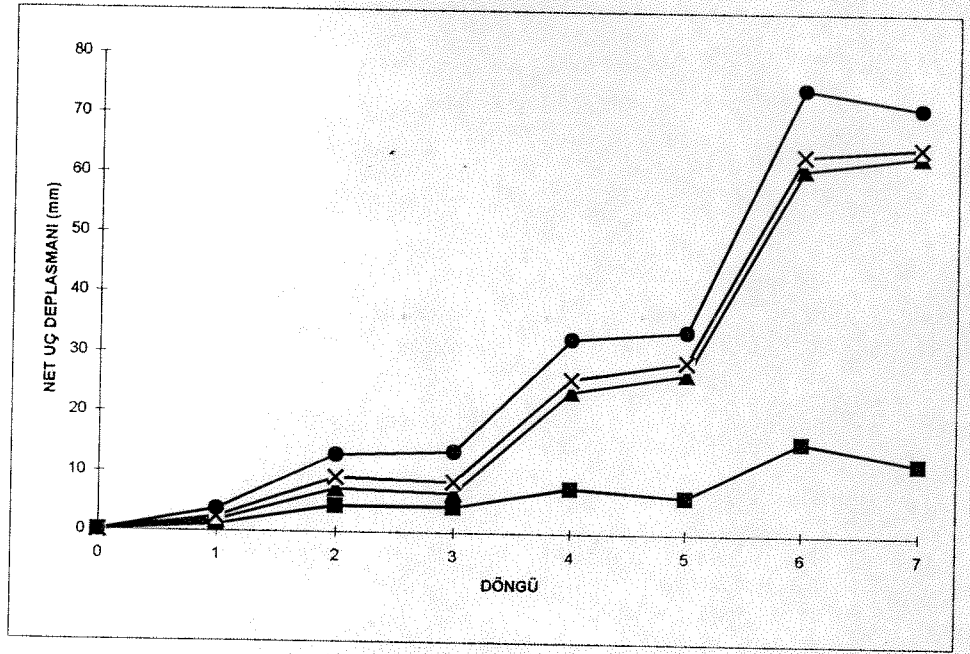
a) aşağı yükleme



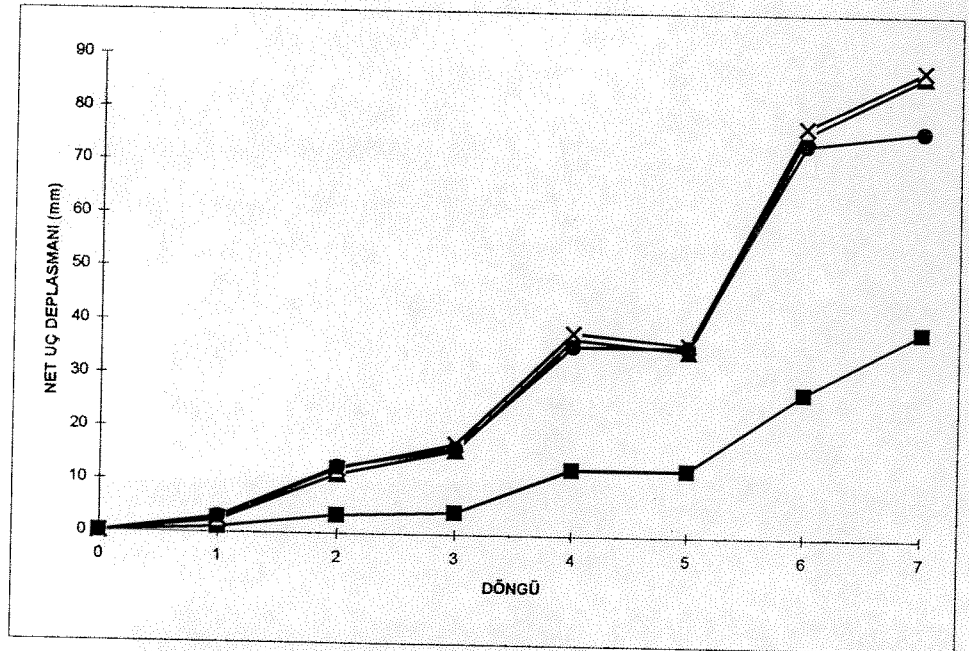
b) yukarı yükleme

- ◊:MAFSAL KESME DEFORMASYONU
 ◻:MAFSAL KESME + KÖK ROTASYONU
 Δ: MAFSAL KESME + KÖK ROTASYONU + MAFSAL ROTASYONU
 ×: MAFSAL KESME + KÖK ROT. + MAFSAL ROT. + ELASTİK ROT.
 +: MAF. KES. + KÖK ROT. + MAF. ROT. + ELASTİK ROT. + BİRLEŞİM KESME
 ○:TOPLAM

Şekil 5.11 Uç Deplasman Bileşenleri (MM1)



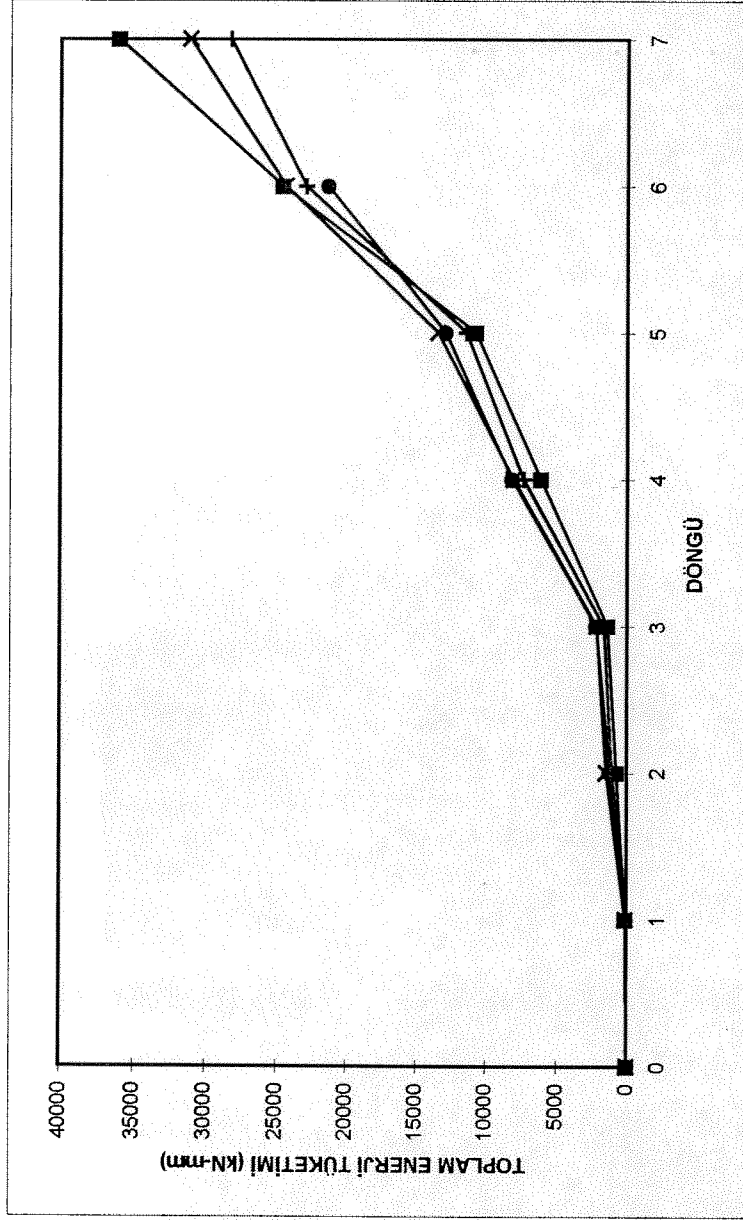
a) aşağı yükleme



b) yukarı yükleme

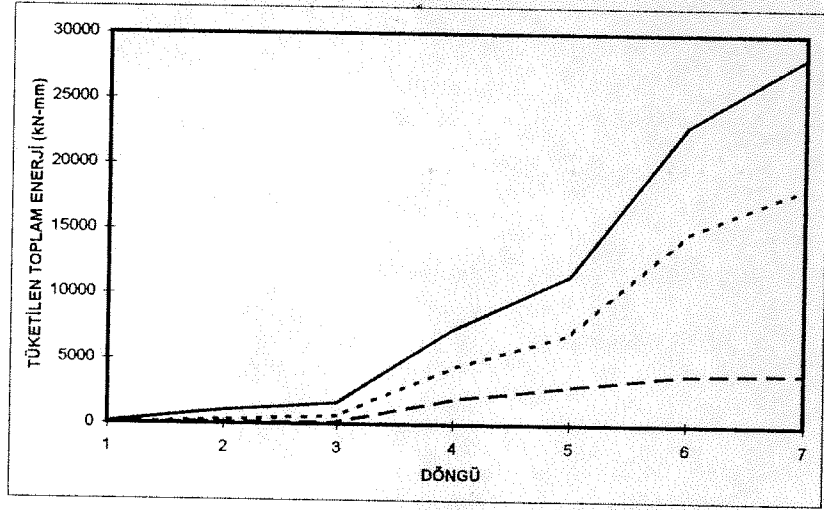
□:KÖK ROTASYONU
 Δ:KÖK ROTASYONU + MAFSAL ROTASYONU
 ×:KÖK ROT. + MAFSAL ROT. + ELASTİK ROT.
 ○:TOPLAM

Şekil 5.12 Uç Deplasman Bileşenleri (MM2)

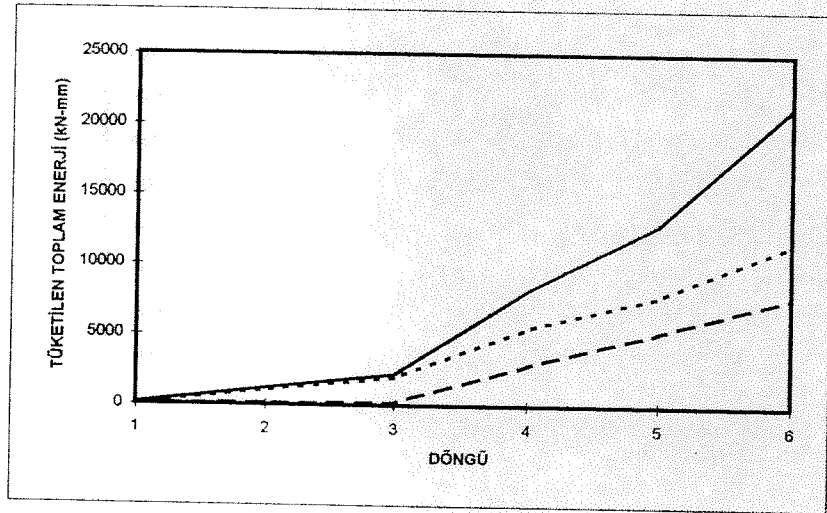


- : MM2
- ×: MM1
- +: MK1
- : MK2

Sekil 5.13 Toplam Enerji Tüketimi



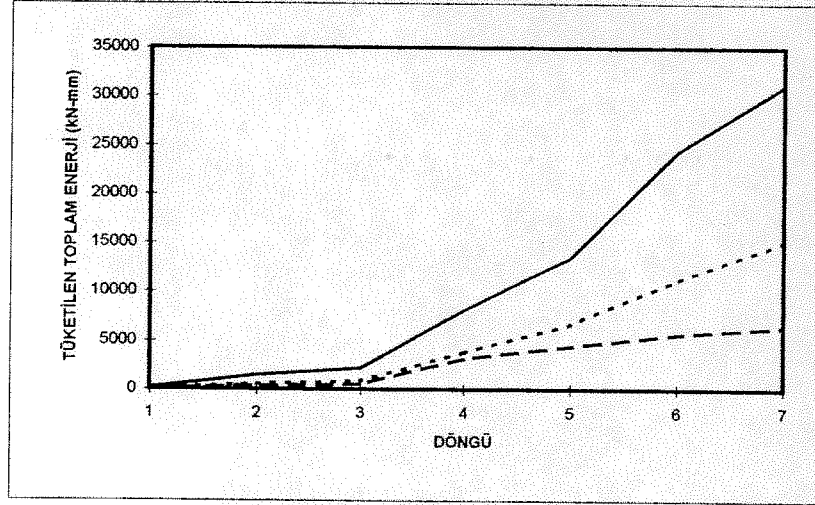
a) MK1



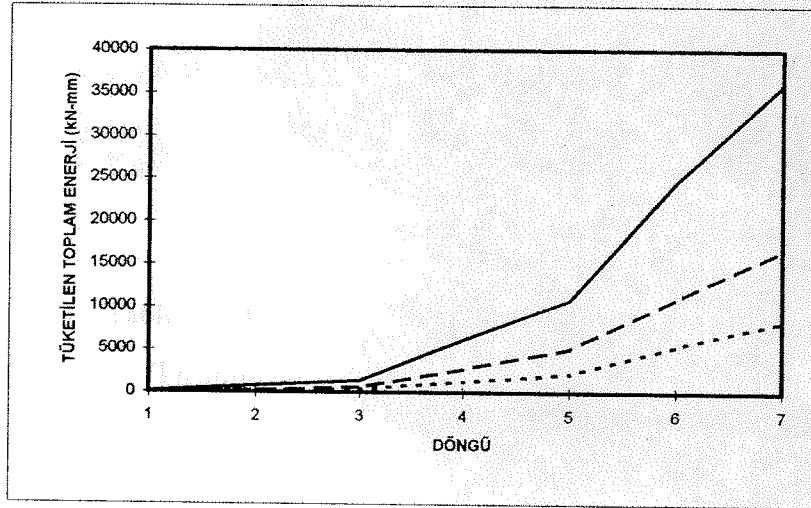
b)MK2

_____ : TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ
 - - - - - : KÖK DÖNMESİ KATKISI
 - . - . - : MAFSAL DÖNMESİ KATKISI

Şekil 5.14 Enerji Bileşenleri (MK1, MK2)



a) MM1



b) MM2

_____ : TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ
 - - - - - : KÖK DÖNMESİ KATKISI
 : MAFSAL DÖNMESİ KATKISI

Şekil 5.15 Enerji Bileşenleri (MM1, MM2)

Tablo 5.1 Moment Kapasitesi Hesaplamaları

		akma momenti (kN-m)			taşıma gücü momenti (kN-m)		
		hesaplanan	ölçülen	%fark	hesaplanan	ölçülen	% fark
MK1	aşağı	180.2	175.5	-2.5	189.86	189.03	-0.4
	yukarı	110.3	105.3	-4.4	123.56	116.78	- 6
MK2	aşağı	180.2	175.8	-2.5	189.86	209.3	9.3
	yukarı	110.3	108.0	-1.9	123.56	122.0	-1.3
MM1	aşağı	167	171.45	2.7	172.7	182.3	6
	yukarı	88.3	91.8	4	107.5	110.7	3
MM2	aşağı	121.27	128.25	5.8	149.6	163.75	8.6
	yukarı	90.46	91.6	1.3	117.38	118.8	1.2

Tablo 5.2 Moment Kapasitesi Hesaplamaları

(kırılmış çubuklar hesaba katılmadan)

		akma momenti (kN-m)		taşıma gücü moment (kN-m)	
		hesaplanan	ölçülen	hesaplanan	ölçülen
MM1	aşağı	171.45	142.4	182.3	153.8
	yukarı	91.8	73.3	110.7	85.3
MM2	aşağı	128.25	106.3	163.75	119.8
	yukarı	91.6	73.2	118.8	84.9

Tablo 5.3 Kırılma Mekanizmaları

a) Hesaplanan Kapasiteler

eleman	yükleme yönü	Vr (kN) (kiriş)	Vr (kN) (kol.)	Vr (kN) (birleşim)	My (kN-m) (kök)	My (kN-m) (mafsal)	My (kN-m) (kol.)
MK1	A	279.3	197.1	460	180.2	180.2	110
	Y	279.3	197.1	460	110.3	110.3	110
MK2	A	279.3	315.4	609	180.2	180.2	175.6
	Y	279.3	315.4	609	110.3	110.3	175.6
MM1	A	281.4	198.7	467	180.2	167	110
	Y	281.4	198.7	467	110.3	88.3	110
MM2	A	280.8	198.3	465	180.2	121.27	110
	Y	280.8	198.3	465	110.3	90.46	110

b) Uygulanan Yükle

		Vu (kN) (kiriş)	Vu (kN) (kol.)	Vu (kN) (birleşim)	Mu (kN-m) (kök)	Mu (kN-m) (mafsal)	Mu (kN-m) (kol.)	gözlenen kırılma şekli
MK1	A	140.01	58.52	501.16	189.01	168.01	83.39	birleşim kırılması, kiriş akması (kök)
	Y	85.33	35.66	300.05	115.20	102.4	50.82	kiriş akması (kök)
MK2	A	153.4	61.36	498.3	170.3	139.6	92.3	kiriş akması (kök)
	Y	90.6	36.2	299.5	105.56	82.4	135.9	kiriş akması (kök)
MM1	A	136.93	57.23	502.5	184.86	164.32	81.55	birleşim kırılması, kiriş akması (kök) kiriş akması (mafsal)
	Y	81.715	34.15	301.57	110.32	98.06	48.66	kiriş akması (kök) kiriş akması (mafsal)
MM2	A	126.46	52.85	489.1	170.72	151.75	75.31	birleşim kırılması, kiriş akması (mafsal)
	Y	87.79	36.69	299.2	118.5	105.35	52.28	kiriş akması (kök) kiriş akması (mafsal)

6. ELASTİK ÖTESİ ÇERÇEVE DAVRANIŞI

Bu bölümde, daha önce Bölüm 3.3'de ve Şekil 3.1'de özellikleri verilen prototip çerçevenin analitik olarak statik yatay itme testi yapılmıştır. İtme testi (push-over test) geometrik özellikleri aynı, kiriş donatı detayı farklı iki ayrı çerçeve modeline uygulanmıştır. İki ayrı modelde MK1 ve MM2 deney elemanlarının kiriş özellikleri tanımlanmıştır. İtme testleri, elastik ötesi eğilme davranışının temsil edilebildiği DRAIN 2DX [17] programı kullanılarak yapılmıştır. Sunulan itme testlerinin amacı kiriş özellikleri farklı iki çerçevenin global yatay davranışları, kapasiteleri ve yıkılma mekanizmalarının karşılaştırılmasıdır.

6.1. Statik İtme Testi (Push-over Test)

Analitik olarak gerçekleştirilen testlerde önce tasarımı yapılmış olan çerçeve elemanlarının elastik dayanımları programa tanımlanmaktadır. Bu amaçla kritik kiriş kesitinin akma momentleri, kolon kesitlerinin ise moment-eksenel yük etkileşim diyagramları, ayrıca kesit atalet momentleri ve malzeme özellikleri değerleri veri olarak programa girilir. Daha sonra binanın düşey yükleri bir defada uygulanır ve statik iç kuvvet dağılımı hesaplanır. Ardından yatay deprem yükleri yönetmelik uyarınca hesaplanarak uygulanır ve binanın analizi yapılır. Yönetmelik koşullarını sağlayan bir bina tüm bu yükler altında elastik davranış gösterecektir. Ancak bu safhadan sonra yatay yükler dağılım şekli değiştirilmeden, fakat kuvvet mertebeleri adım adım artırılarak uygulanır ve binanın tepkisi statik olarak her adımda hesaplanır. Artan yatay yükler altında iç kuvvetler arttıkça elastik limitinin üzerinde zorlanan kesitlerde plastik mafsallar oluşur, yapı rijitliği azalır ve yapı elastik ötesi davranış göstermeye başlar. Yatay yükler bir mekanizma oluşmasına, yani yapı yıkılma konumuna gelene dek artırılır.

Statik itme testleri yönetmeliklerin öngördüğü yatay yük dağılımlarının değişmediği kabulü ile bina çerçevelerinin gerçek elastik dayanımlarının hesaplanması, yönetmelikçe tanımlanan yatay yüklere oranla rezerve dayanımlarının

(overstrength) hesaplanması, elastik ötesi deformasyon mertebelerinin ve yıkılma mekanizmalarının ortaya konması bakımından çok yararlı analizlerdir. İkibinli yılların deprem yönetmeliklerinde standart analiz yöntemi olarak önerilmektedir. Özellikle azaltılmış deprem yükleri altında analizi ve tasarımı yapılan yapının gerçek deprem yükleri altındaki dayanım ve ötelenmelerinin basit olarak hesaplanmasını sağladığı için geniş kabul görmektedir.

6.2. Konvansiyonel Çerçevenin İtme Testi

Dış kolonları 25x30 cm, iç kolonları ise 30x35 cm olan konvansiyonel çerçevenin kolon etkileşim diyagramları Şekil 3.13'de verilmiştir. Kiriş boyutları 25x38 cm'dir ve MK1 deney elemanı kirişi ile aynı boyut ve detaylara sahiptir. Çerçeve elemanları 1. derece deprem bölgesinde TDY-97 tasarım koşullarını sağlamaktadır. Ancak MK1 elemanı deney sonuçları dış kiriş-kolon birleşiminin yetersiz olduğunu göstermiştir. Statik itme testinde birleşimlerin dayanım yetersizliği göz önüne alınmamıştır.

Çerçevenin toplam yatay yük (taban kesme kuvveti) ile çatı deplasmanı ilişkisi Şekil 6.1'de sunulmaktadır. Şekilde TDY-97 tasarım dayanımının (183 kN) sağlandığı ve ilk kiriş mesnet mafsalinin olduğu elastik sınırdaki 296 kN dayanıma ulaşıldığı görülmektedir. Bu durumda rezerve elastik dayanım oranı %62'ye ulaşmaktadır.

Mafsal mekanizmasının artan yatay yükler altında gelişmesi Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Kapasite tasarımına uygun bir kiriş mekanizması elde edildiği görülmektedir. Alt kat kolonlarının tümünün tabanı 367 kN taban kuvvetinde (Şekil 6.2.i) akmaktadır ve bu değer elastik limitin %24 üzerindedir. Çerçeve kayma mekanizması konumuna Şekil 6.2.r'de 3. kat kolonlarının tümünün üst mesnetlerinde plastik mafsal oluştuğunda ulaşmaktadır. Bu konumda yatay yük dayanımı (408 kN) tasarım dayanımının 2.3 katı, gerçek elastik sınırın ise 1.38 katıdır. Diğer yandan çatı ötelenmesi 20 cm, toplam ötelenme oranı da (çatı ötelenmesi/toplam yükseklik) 0.013

gibi küçük bir değerdedir ve bu ötelenme değerlerinde ikinci merteye etkiler ihmal edilir düzeydedir.

TDY-97 koşullarını sağlayan konvansiyonel çerçeve olumlu bir yıkılma davranışı göstermektedir. Ancak deneysel gözlemler birleşim bölgesinin yetersiz olduğunu kanıtlamıştır. Dolayısıyla gerçekte konvansiyonel çerçeve birleşim yetersizliği nedeniyle burada sergilenen olumlu davranışı gösteremeyecek, elastik sınırını aştıktan hemen sonra yıkılma konumuna gelecektir.

6.3. Kiriş Üzerinde Mafsal Oluşturulan Çerçevenin İtme Testi

Bu bölümde analitik olarak test edilen çerçevenin konvansiyonel çerçeve ile tek farkı kiriş detaylarının MM2 deney elemanı kirişi ile aynı olmasıdır. MM2 elemanında kolon yüzünden ileride kiriş üzerinde kesit zayıflatılarak plastik mafsal oluşturulmuş, deneylerde tüm hasar kiriş üzerinde kalmış ve birleşim bölgesi hasar görmemiştir (Bölüm 5). Kiriş plastik mafsalının akma momenti kiriş mesnetine oranla artı (kuvvetli) ve eksi (zayıf) yönlerde %67 ve %82'dir.

İtme testi sonuçları beklendiği gibi konvansiyonel çerçeveye oranla kiriş kapasiteleri azaltılmış çerçevede elastik ötesi bölgede rijitlik ve dayanım azalması olduğunu göstermektedir (Şekil 6.1). Ancak bu azalmalar oldukça sınırlıdır ve genel davranış aynı şekilde olumludur. Çerçevenin dayanımı tüm sınır durumlarında konvansiyonel çerçeveye göre yaklaşık 24 kN azalmıştır. Bu durumda yatay dayanım (390 kN) tasarım dayanımının 2.13 katı, elastik sınır dayanımı (270 kN) ise tasarım dayanımının 1.48 katı olmaktadır.

Çerçevede amaçlandığı gibi kiriş mesnetlerinden önce kiriş üzerindeki zayıflatılmış bölgelerde yaygın olarak plastik mafsal meydana gelmektedir (Şekil 6.3.a,b,c,d). Daha sonra yatay yüklerin artmasıyla alt kat dış kolon tabanında ve kiriş mesnetlerinde de plastik mafsallaşma olmaktadır. Ancak birleşim bölgeleri ele alındığında her birleşimde önce kiriş üzerinde, daha sonra kiriş mesnetinde plastik

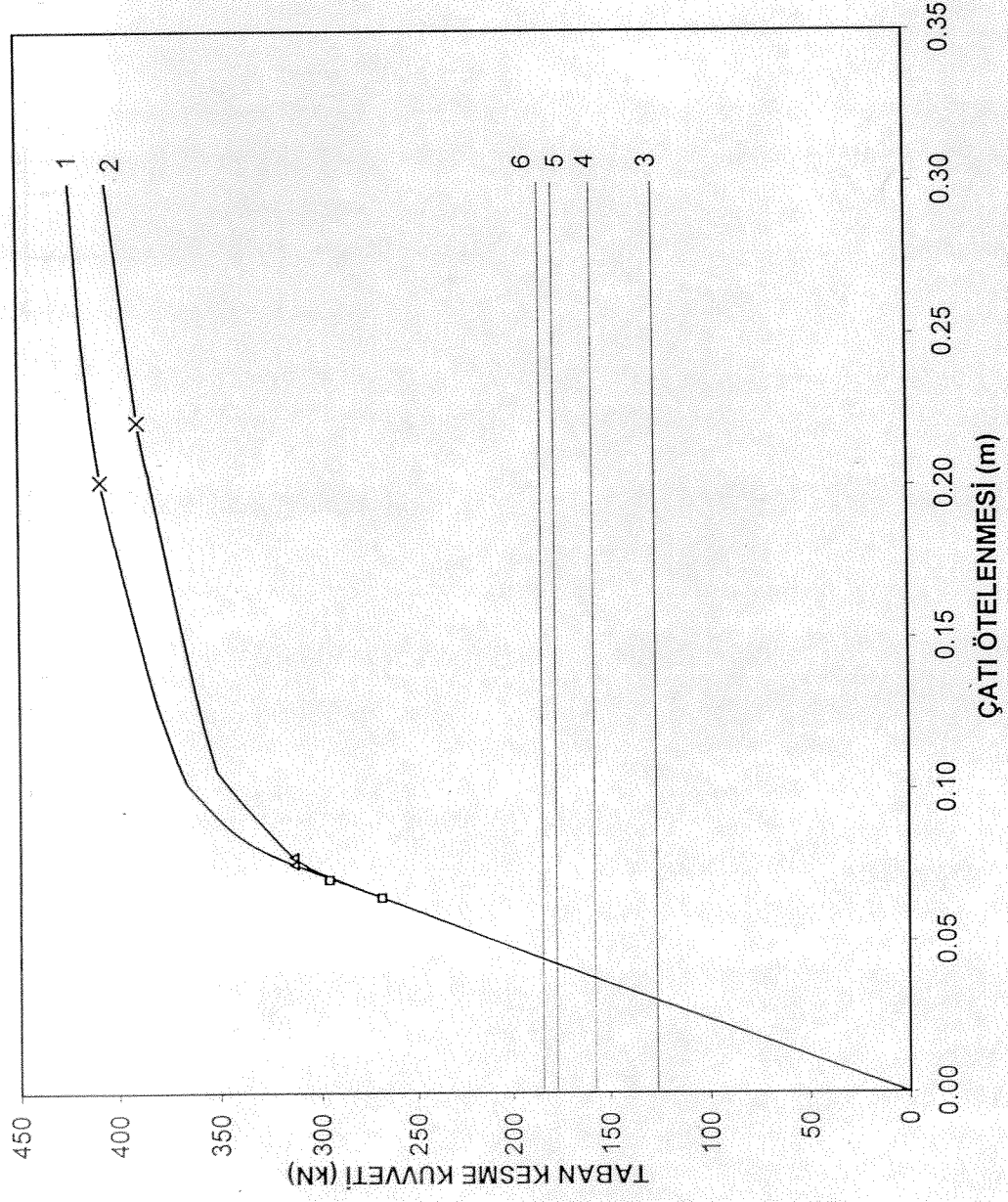
mafsal olmaktadır (Şekil 6.3.h-p). Böylece amaçlanan mafsallaşma hiyerarşisi elde edilmektedir. MK1 elemanında olduğu gibi kiriş mesnetinde plastik mafsal oluşumu nedeniyle meydana gelebilecek birleşim hasarı en erken Şekil 6.3.h konumundan sonra beklenebilir. Ancak MM2 elemanı deneyinde kiriş üzerinde oluşan plastik mafsal daha sonra kiriş mesnetine doğru ilerlemiş olmasına ve kolon yüzünde de mafsallaşma olmasına rağmen birleşim bölgesinde kılcal çatlaklar dışında hasara neden olmamıştır (Şekil 4.10 ve 4.11). Aynı davranışın simüle edilen çerçeve birleşimlerinde de elde edilmesi ve çerçevenin birleşim hasarı olmaksızın taşıma gücü limit durumuna ulaşması doğaldır.

İncelenen çerçeve, taşıma gücü limitine Şekil 6.3.r'de gösterilen mekanizma durumunda ulaşmaktadır. Bu konumda ilk üç katın dahil olduğu bir kiriş kayma (beam sway) mekanizması oluşmaktadır. Mekanizma durumunda bazı ara kat kolonlarının sadece üst başlarında mafsallaşma olduğundan zayıf kat (weak story) mekanizması riski yoktur.

6.4. İtme Testi Sonuçlarının Karşılaştırması

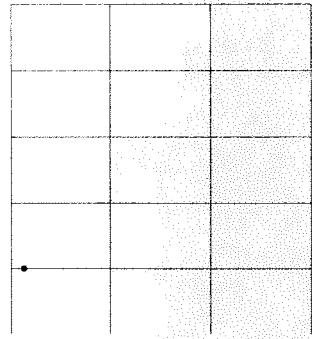
Sunulan çalışmanın deneysel kısmında test edilen ve TDY-97 koşullarını sağlayan dış kiriş-kolon birleşimi MK1 elemanının özelliklerinin temsil edildiği konvansiyonel çerçeve ile, kiriş üzerinde mafsal oluşturmak için detaylandırılan MM2 elemanının özelliklerini temsil eden çerçevenin analitik itme testi sonuçları Şekil 6.1'de karşılaştırılmıştır. Her iki çerçeve de gerek deprem yönetmeliğince öngörülen dayanım ve ötelenme koşullarını, gerekse kapasite tasarımında amaçlanan yıkılma türü olan kiriş kayma mekanizmasını sağlamaktadırlar. İki çerçevenin elastik davranışları tamamen aynı, elastik ötesi davranışları ise çok yakındır. Bu durumda ikinci çerçevede kiriş üzerinde kapasite azaltarak yaratılan zayıf kesitlerdeki plastik mafsalların çerçeve yatay davranışına olumsuz bir etkisi olmamaktadır. Diğer yandan ilk çerçevede kolon yüzünde meydana gelen ve birleşime nüfuz ederek hasara neden olduğu deneysel olarak gözlenen konvansiyonel tasarımın bu olumsuz özelliği ikinci çerçevede giderilmiştir. Zira bu çerçevede plastik mafsal ve neden olduğu hasar önce

birleşimden uzakta başlamakta ve daha sonra ileri yük mertebelerinde kolon yüzüne doğru ilerlemektedir. Böylece sismik enerji tüketmesi öncelikle tercih edilen kiriş elemanlarının daha fazla enerji tüketmesine olanak sağlanmaktadır. Ayrıca kiriş epeyce hasar gördükten sonra kolon yüzüne ulaşan mafsallaşma, birleşime saplanan kiriş donatılarının tümünün akması nedeniyle (mafsal bölgesinde 45° bükülen donatılar kolon yüzünde akmamaktadır) birleşim bölgesinde hasar yaratmamaktadır. Zira birleşim bölgesi hasarının temel nedeni akma dayanımına ulaşan kiriş çekme donatılarının birleşim bölgesinde kesme kapasitesinin üzerinde kesme gerilmesi oluşturması ve birleşim bölgesi içinde akan donatının kendini saran betonda yarattığı uzamalar ve aşırı gerilmelerdir.

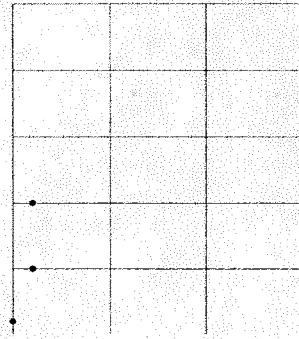


- 1 — Konvansiyonel Çerçeve
- 2 — Kirişleri Zayıflatılmış Çerçeve
- 3 — UBC-94 Tasarım Kuvveti
- 4 — TDY-75 Tasarım Kuvveti
- 5 — UBC-94 Tasarım Kuvveti x 1.4
- 6 — TDY-97 Tasarım Kuvveti
- Kirişte ilk mafsalsal
- Kolonda ilk mafsalsal
- X— Mekanizma Oluşumu

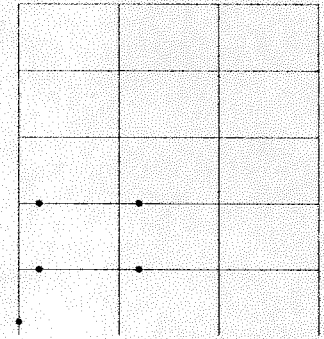
Şekil 6.1 Çerçevelerin Kapasite Eğrileri



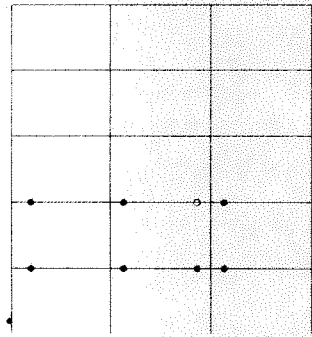
T.D = 0.0715 m
B.S = 295.86 kN
(a)



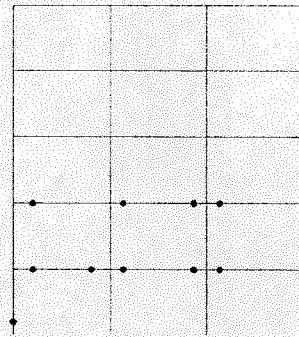
T.D = 0.076 m
B.S = 313.635 kN
(b)



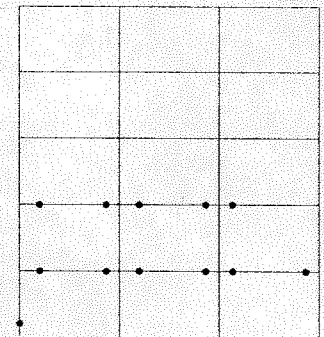
T.D = 0.0785 m
B.S = 324.135 kN
(c)



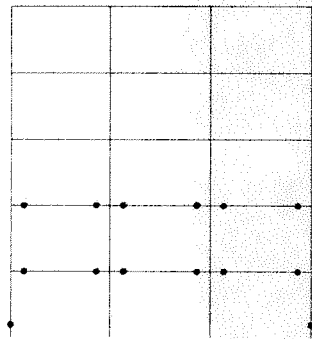
T.D = 0.082 m
B.S = 334.365 kN
(d)



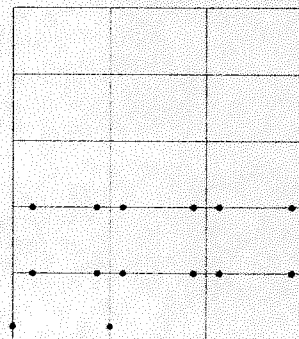
T.D = 0.084 m
B.S = 338.805 kN
(e)



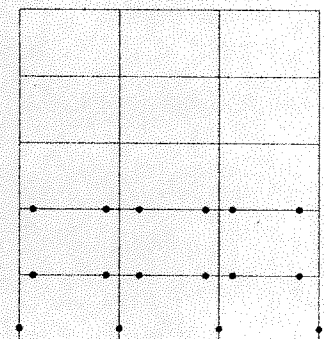
T.D = 0.0875 m
B.S = 345.495 kN
(f)



T.D = 0.093 m
B.S = 353.775 kN
(g)

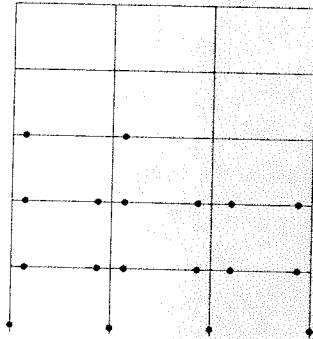


T.D = 0.1015 m
B.S = 365.34 kN
(h)

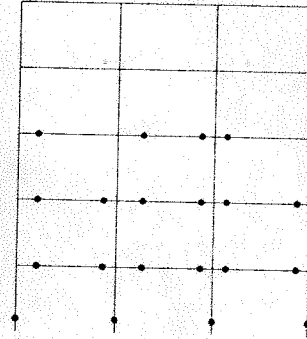


T.D = 0.1025 m
B.S = 366.39 kN
(i)

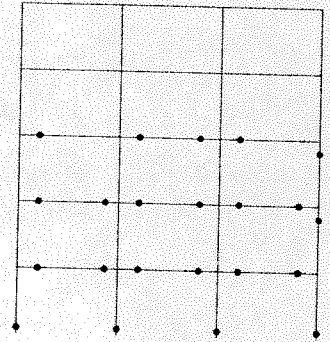
Şekil 6.2 Konvansiyonel Çerçevenin Yıkılma Mekanizması



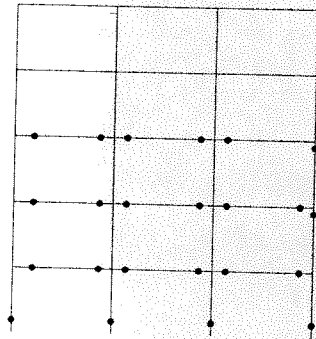
T.D = 0.1105 m
 B.S = 371.34 kN
 (j)



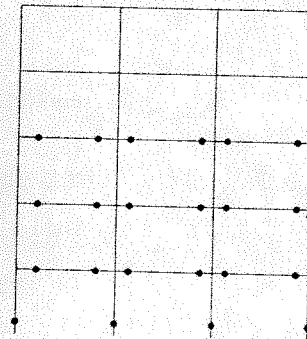
T.D = 0.1285 m
 B.S = 380.76 kN
 (k)



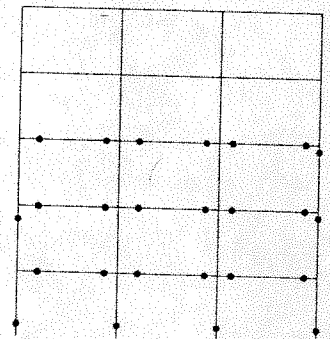
T.D = 0.1355 m
 B.S = 383.79 kN
 (l)



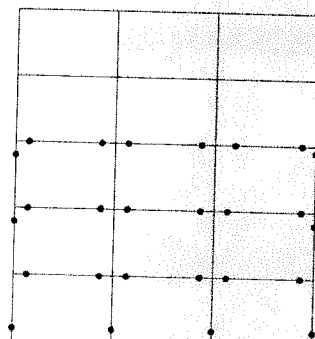
T.D = 0.1365 m
 B.S = 384.18 kN
 (m)



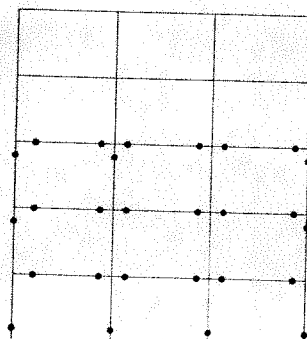
T.D = 0.1605 m
 B.S = 393.33 kN
 (n)



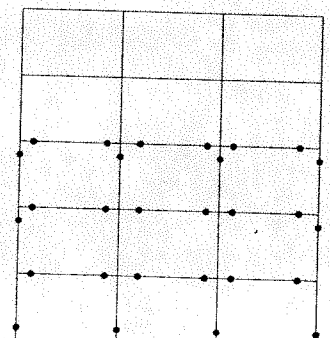
T.D = 0.1725 m
 B.S = 397.77 kN
 (o)



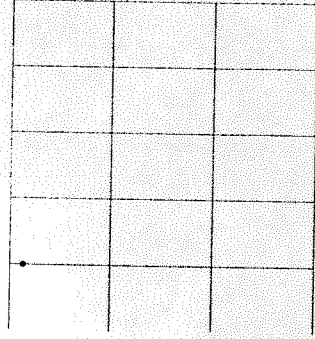
T.D = 0.1815 m
 B.S = 401.325 kN
 (p)



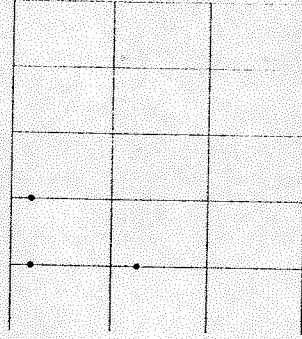
T.D = 0.1995 m
 B.S = 407.595 kN
 (q)



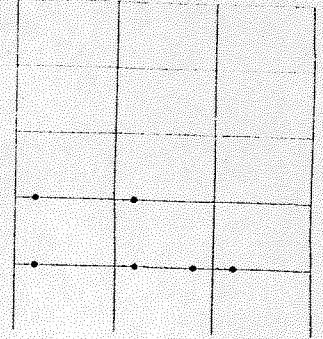
T.D = 0.2015 m
 B.S = 408.195 kN
 (r)



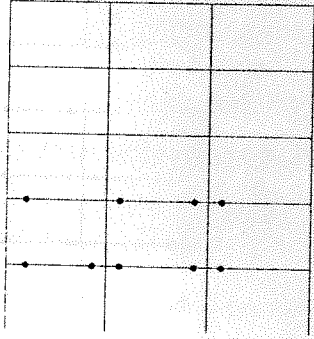
T.D = 0.065 m
B.S = 268.77 kN
(a)



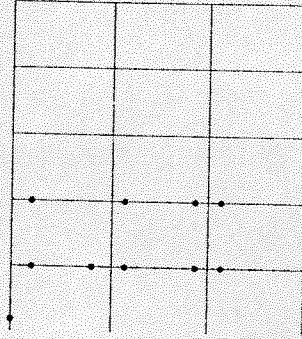
T.D = 0.072 m
B.S = 297.825 kN
(b)



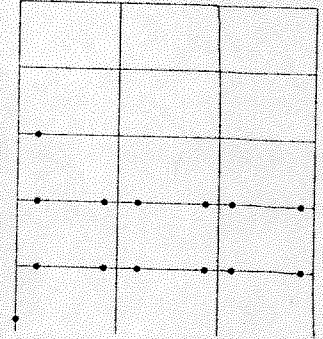
T.D = 0.074 m
B.S = 304.59 kN
(c)



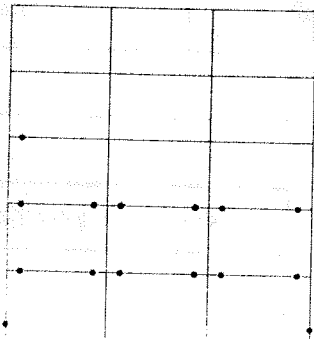
T.D = 0.076 m
B.S = 309.675 kN
(d)



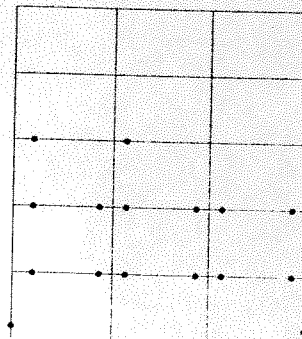
T.D = 0.0785 m
B.S = 313.8 kN
(e)



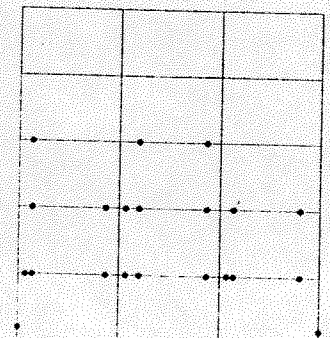
T.D = 0.0945 m
B.S = 337.275 kN
(f)



T.D = 0.096 m
B.S = 339.225 kN
(g)

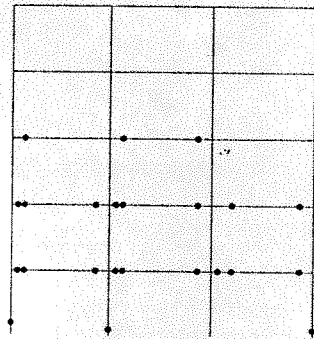


T.D = 0.102 m
B.S = 346.54 kN
(h)

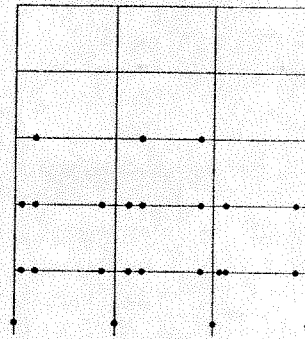


T.D = 0.1055 m
B.S = 350.58 kN
(i)

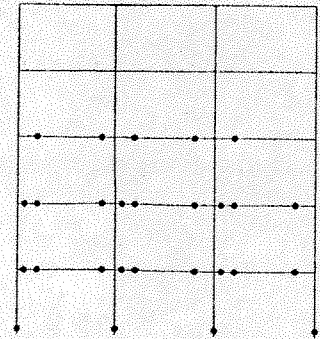
Şekil 6.3 Kirişleri Zayıflatılmış Çerçevenin Yıkılma Mekanizması



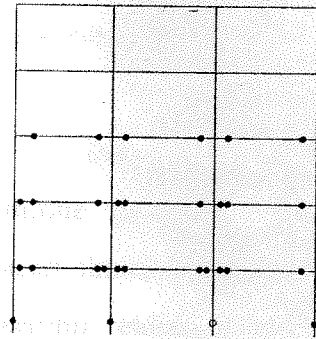
T.D = 0.106 m
 B.S = 351.045 kN
 (j)



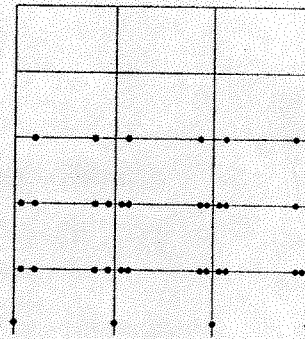
T.D = 0.107 m
 B.S = 234.48 kN
 (k)



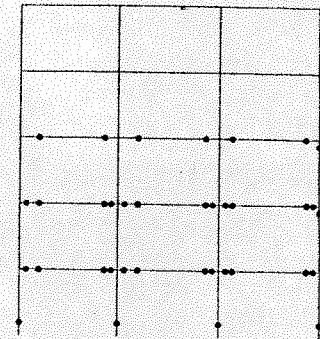
T.D = 0.112 m
 B.S = 253.97 kN
 (l)



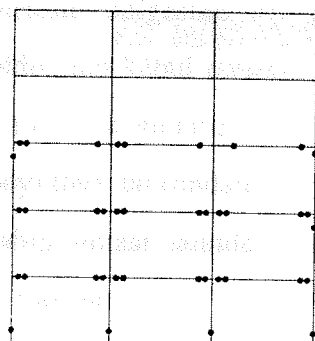
T.D = 0.1215 m
 B.S = 357.855 kN
 (m)



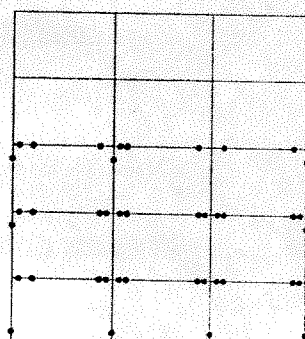
T.D = 0.133 m
 B.S = 361.86 kN
 (n)



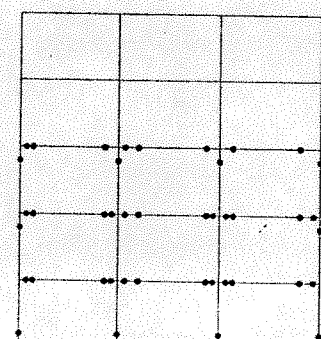
T.D = 0.1735 m
 B.S = 374.955 kN
 (o)



T.D = 0.203 m
 B.S = 384.105 kN
 (p)



T.D = 0.2185 m
 B.S = 388.98 kN
 (q)



T.D = 0.221 m
 B.S = 389.61 kN
 (r)

7. SONUÇ

Sunulan çalışmanın deneysel ve analitik bölümlerine ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

7.1. Birdöküm Birleşim Referans Elemanları (MK1 ve MK2)

Deneylerde iki adet birdöküm referans elemanı test edilmiştir. MK1 elemanı TDY-97 koşullarını, MK2 elemanı ise ACI-ASCE 352 koşullarını sağlamaktadır. İki elemanın kirişleri aynı, ancak birleşim bölgesi boyut ve donatısı ile buna bağlı olarak kolon boyutları oldukça farklıdır. MK1 elemanının birleşim derinliği ve bu yöndeki kolon boyutu 380 mm, MK2 elemanının ise 480 mm'dir.

Deney sonuçlarına göre MK1 elemanı birleşim bölgesi hasarı ile taşıma gücü limitine ulaşmış, ancak MK2 elemanında kılcal çatlaklar dışında birleşim bölgesi hasarı olmamış ve tüm hasar kiriş mesnetinde olmuştur. Bu sonuca göre MK1 elemanı tasarımı yetersiz, MK2 elemanı tasarımı ise yeterli olarak nitelenebilir. Ancak MK2 elemanı birleşim bölgesi boyut ve donatısının ve buna bağlı olarak hesaplanan kolon boyutlarının oldukça abartılı olduğunu ve tasarım sonucu elde edilen donatının birleşim bölgesine yerleştirilmesi ve betonlanmasının pratik uygulamada oldukça güç olduğunu kabul etmekte yarar vardır. Laboratuvar koşullarında bile ACI-ASCE 352 birleşim koşullarını uygulamak oldukça zor olmuştur. Diğer yandan birleşim bölgesi boyutları tarafından empoze edilen kolon boyutları, kolonların minimum donatıya sahip olması halinde dahi gerekli tasarım kapasitesinin çok üzerinde kapasiteye sahip olmasına neden olmaktadır. Bu kapasite kuvvetli kolon-zayıf kiriş ilkesinin gerektirdiği kolon kapasitesinin oldukça üzerindedir.

7.2. Kiriş Üzerinde Mafsallı Oluşturulan Elemanlar (MM1 ve MM2)

TDY-97 birleşim tasarımını değiştirmeden, ancak birleşime saplanan kiriş üzerinde, mesnetten bir kiriş derinliği kadar uzakta zayıf kesit yaratarak mafsallı oluşturulan deney elemanlarından MM1 ve MM2'de farklı mafsallı eğilme kapasiteleri elde edilmesi amaçlanmıştır. MM1 elemanı mafsallı kuvvetli ve zayıf eğilme yönlerinde çekme donatıları %80 ve %67'ye azaltılmıştır. Dolaylı eğilme kapasiteleri aynı yönlerde %93 ve %80'e azalmıştır. MM2 elemanında kuvvetli ve zayıf yönlerde çekme donatıları %60 ve %67'ye, buna bağlı eğilme kapasiteleri ise %67 ve %82'ye azalmıştır. Ancak deneysel olarak gözlenen azalma oranları aynı yönlerde MM1'de %97 ve %87, MM2'de ise %73 ve %87'dir.

MM1 elemanında uygulanan kiriş mafsallı bölgesindeki kapasite azaltımı yeterli olmamış, birleşimdeki hasar MK1'e oranla azalmasına rağmen tam olarak önlenememiştir. Plastik mafsallı hem kiriş üzerinde, hem de kiriş mesnetinde aynı zamanda oluşmaya başlamıştır. Diğer yandan MM2 elemanında oldukça başarılı sonuç elde edilmiş ve plastik mafsallı önce kiriş üzerinde tam olarak oluşmuş, daha sonra mesnete doğru kaymış, ancak birleşim bölgesi hasar görmemiştir.

Deneylerde düşey yük uygulama noktasının (Şekil 3.5) mafsallı ve mesnet kesitlerinden uzaklığı nedeniyle mafsala uygulanan eğilme momenti mesnet momentinin %82'sidir. Dolayısıyla bu değer altına sadece MM2 elemanında inilmiş ve amaçlanan kiriş mafsallı oluşturulmuştur. Mafsallı önce kiriş üzerinde oluşması tüm hasarın sadece kiriş üzerinde ve eğilme modunda olmasını sağlamış ve birleşim bölgesini korumuştur.

TDY 97'de uygulanan kapasite tasarımında amaç taşıma gücü limit durumunda kirişlerin hasar görmesi, ancak aynı safhada birleşimlerin hasarsız kalmasıdır. Sunulan çalışmada bu amaca ulaşılabilmesi için kuşatılmamış birleşimlere saplanan kirişlerin mesnet eğilme kapasitelerinin azaltılması gereği ortaya çıkmaktadır. Burada bir seçenek olarak sunulan kapasite azaltmanın mesnet yerine

kiriş üzerinde mafsal tanımlayarak yapılmasının daha olumlu bir davranış sağladığı deneysel olarak gözlenmiştir.

7.3. Öndökümlü Elemanlar (PK, PM1 ve PM2)

Birdöküm elemanlar için uygulanan tüm mafsal parametreleri öndökümlü elemanlara da uygulanmış ve MK1, MM1 ve MM2 ile aynı özelliklere sahip PK, PM1 ve PM2 elemanları üretilmiştir. Öndökümlü elemanlarda kaynaklı kuru bağlantı detayı kullanılmıştır. Ancak yüksek dayanımlı S420 çekme donatıları kaynak yapıldığında dayanımlarını yitirmişler ve deney elemanları kaynak bölgesinde donatı kırılması nedeniyle hedeflenen dayanımlarına ulaşamamışlardır. Bu sonuç öndökümlü elemanların bağlantı bölgelerindeki sorunlarının ancak çok titiz bir malzeme ve işçilik kontrolü ile aşılabileceğini göstermektedir. Şantiye koşullarında yapılması zorunlu olan bağlantılarda ülkemiz koşullarında böylesi bir titizliğin uygulanabilmesi kuşkuludur.

7.4. Analitik İrdelemeler

Sunulan çalışmanın deneysel kısmında TDY-97 koşullarını sağlayan MK1 birleşim elemanına alternatif olarak MM2 elemanı geliştirilmiş ve bu elemanda birleşim hasarının önlendiği deneysel olarak kanıtlanmıştır. Çalışmanın analitik bölümünde MM2 elemanının kirişindeki kapasite azaltımının çerçeve davranışına olan etkileri irdelenmiştir. Kiriş kapasite azaltımı çerçeve dayanımı ve rijitliğinde oldukça önemsiz miktarda azalmalara neden olmuş, ancak kapasite tasarımında amaçlandığı şekilde olumlu bir yıkılma (kiriş kayma) mekanizması elde edilmiştir.

Kapasite tasarımında hedeflenen kiriş kayma mekanizmasını birleşimlere hasar vermeden elde edebilmek için tek yöntem, birleşimleri ve buna bağlı olarak kolonları aşırı güçlendirmek değildir. Aynı yıkılma mekanizmasını kirişleri belirli bölgelerde zayıflatarak elde etmek de mümkündür. Bu yöntemle tüm limit durumlarında hem

tasarımda amaçlanan kontrollu enerji tüketme performansına ulaşılabilmekte, hem de daha ekonomik ve pratikte uygulanabilir tasarımlar elde edilebilmektedir.

REFERANSLAR:

- [1] Üzümeri, S.M., "Strength and Ductility of Cast-in-Place Beam-Column Joints," Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones, SP-53, American Concrete Institute, Detroit, 1977, pp. 293-350
- [2] Galunic, B., Bertero, V.V., Popov, E.P., "An Approach for Improving Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Interior Joints," University of California, Report No.UCB/EERC - 77/30, December 1977
- [3] Meinheit, D.F., Jirsa, J.O., "Shear Strength of R/C Beam-Column Connections," Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 107, No. ST11, November 1981, pp. 2227-2243
- [4] Abdel-Fattah, B., Wight, J.K., "Study of Moving Beam Plastic Hinging Zones for Earthquake Resistant Design of R/C Buildings," ACI Structural Journal, January-February 1987, pp. 31-39
- [5] Al-Haddad, M.S., Wight, J.K., "Relocating Beam Plastic Hinging Zones for Earthquake Resistant Design of Reinforced Concrete Buildings," ACI Structural Journal, March-April 1988, pp.123-133
- [6] Tsonos, A.G., Tegos, I.A., Penelis, G.Gr., "Seismic Resistance of Type 2 Exterior Beam-Column Joints Reinforced with Inclined Bars," ACI Structural Journal, January-February 1992, pp. 3-12
- [7] Agbabian, M.S., Higazy, E.M., Abdel-Ghaffar, A.M., Elnashai, A.S., "Experimental Observations on the Seismic Shear Performance of RC Beam-to-Column Connections Subjected to Varying Axial Column Force," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 23, 1994, pp. 859-876
- [8] Bhatt, P., Kirk, D.W., "Tests on Improved Beam Column Connection for Precast Concrete," ACI Journal, November-December 1985, pp. 834-843
- [9] Seçkin, M., Fu, H.C., "Beam-Column Connections in Precast Reinforced Concrete Construction," ACI Structural Journal, May-June 1990, pp. 252-261
- [10] French, C.W., Amu, O., Tarzikhian, C., "Connections Between Precast Elements-Failure Outside Connection Region," Journal of Structural Engineering, Vol.115, No.2, February 1989, pp. 316-340

- [11] Ochs, J.E., Ehsani, M.R., "Moment Resistant Connections in Precast Concrete Frames for Seismic Regions," PCI Journal, September-October 1993, pp. 64-75
- [12] Ersoy, U., Tankut, T., Özcebe, G., Yağcı, S., "Önüretimli Betonarme Yapılardaki Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Deprem Davranışı," 7. Prefabrikasyon Sempozyumu Bildirileri, İstanbul, Ekim 1993, pp. IX-1 – IX-18
- [13] Sucuoğlu, H., "Inelastic Seismic Response of Precast Concrete Frames with Constructed Plastic Hinges," Computers & Structures, Vol. 56, No. 1, 1995, pp. 121-131
- [14] ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures," American Concrete Institute, 1989, pp. 4-16
- [15] Deprem Mühendisliği Türkiye Milli Komitesi , "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik," Ankara, Ocak 1997, pp. 16-59
- [16] *Uniform Building Code* (UBC-94), International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1991
- [17] *Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar – Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan – Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları* (TS9967), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU	
1- Proje No: INTAG 545	2- Rapor Tarihi: 31 Ağustos 1997
3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1 Eylül 1995 - 31 Ağustos 1997	
4- Projenin Adı: Birdöküm ve Öndökümlü Betonarme Çerçevelerde Deprem Enerjisinin Kontrollü Plastik Mafsall Oluşumu ile Tüketilmesi	
5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Prof.Dr.Haluk Sucuoğlu (Yürütücü) Doç.Dr. Güney Özcebe (Yardımcı araştırmacı) İnş.Müh. Emre Başaran(Yardımcı araştırmacı)	
6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ	
7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Türkiye Prefabrik Birliği	
8- Öz (Abstract): <p>Bu araştırma programında kiriş plastik mafsall kapasitesinin kiriş-kolon birleşim davranışına olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla betonarme bir çerçeveye ait yedi dış birleşim deney elemanı test edilmiştir. Bu elemanlardan dört tanesi birdöküm olarak hazırlanmıştır. Kuru bir birleşim detayı ile tasarlanan diğer üç eleman ise prefabrik olarak üretilmiştir. Her iki deney elemanı seti konvansiyonel olarak tasarlanmış referans elemanları ve yeni bir tasarım yaklaşımının kullanıldığı elemanlardan oluşmuştur. Yeni tasarım yaklaşımıyla amaçlanan, plastik mafsallaşma bölgesinin kiriş-kolon arayüzünden uzaklaştırılması ile birleşim bölgesinde tersinir yükleme altında oluşan zorlamaların azaltılması ve kontrollü enerji tüketiminin sağlanmasıdır. Bu yaklaşımla tasarlanan deney elemanlarında kiriş üst ve alt boyuna donatıları 45 derece bükülmüş ve böylece seçilen bölgede moment kapasitesi azaltılmıştır. Bu donatı detayını kullanan deney elemanlarında kapasite azaltımı miktarı değişken olarak seçilmiştir.</p> <p>Deney elemanlarının davranışları birbirleriyle dayanım, rijitlik ve enerji tüketimi açısından karşılaştırılmıştır. Öndökümlü elemanlar ani olarak kırılmış ve kırışta mafsall oluşturmanın etkileri bu elemanlarda gözlemlenememiştir. Fakat birdöküm eleman deneyleri elastik mafsall ötelemesinin elemanın enerji-tüketim özelliklerine olumlu katkı yaptığını ve birleşim bölgesindeki gerilmeleri azalttığını göstermiştir.</p> <p>Test sonuçları %30-35 arası bir kapasite azaltımının başarılı bir birleşim davranışı için yeterli olduğunu göstermiştir. Ancak belirli tasarım kurallarının ortaya konulabilmesi için daha fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç vardır.</p>	
Anahtar Kelimeler: plastik-mafsall, kiriş-kolon birleşim bölgeleri, öndöküm bağlantılar, sismik davranış	
9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler	
10- Bilim Dalı: Doçentlik B. Dalı Kodu: 624 Uzmanlık Alanı Kodu: 624.03.01 ISIC Kodu:	
11- Dağıtım (*): <input type="checkbox"/> Sınırlı <input type="checkbox"/> Sınırsız	
12- Raporun Gizlilik Durumu : <input type="checkbox"/> Gizli <input type="checkbox"/> Gizli Değil	

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

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU	
1- Proje No: INTAG 545	2- Rapor Tarihi: 31 Ağustos 1997
3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1 Eylül 1995 - 31 Ağustos 1997	
4- Projenin Adı: Birdöküm ve Öndökümlü Betonarme Çerçevelerde Deprem Enerjisinin Kontrollü Plastik Mafsallı Oluşumu ile Tüketilmesi	
5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Prof.Dr.Haluk Sucuoğlu (Yürütücü) Doç.Dr. Güney Özcebe (Yardımcı araştırmacı) İnş.Müh. Emre Başaran(Yardımcı araştırmacı)	
6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ	
7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Türkiye Prefabrik Birliği	
8- Öz (Abstract): <p>Bu araştırma programında kiriş plastik mafsallı kapasitesinin kiriş-kolon birleşim davranışına olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla betonarme bir çerçeveye ait yedi dış birleşim deney elemanı test edilmiştir. Bu elemanlardan dört tanesi birdöküm olarak hazırlanmıştır. Kuru bir birleşim detayı ile tasarlanan diğer üç eleman ise prefabrik olarak üretilmiştir. Her iki deney elemanı seti konvansiyonel olarak tasarlanmış referans elemanları ve yeni bir tasarım yaklaşımının kullanıldığı elemanlardan oluşmuştur. Yeni tasarım yaklaşımıyla amaçlanan, plastik mafsallaşma bölgesinin kiriş-kolon arayüzünden uzaklaştırılması ile birleşim bölgesinde tersinir yükleme altında oluşan zorlamaların azaltılması ve kontrollü enerji tüketiminin sağlanmasıdır. Bu yaklaşımla tasarlanan deney elemanlarında kiriş üst ve alt boyuna donatıları 45 derece bükülmüş ve böylece seçilen bölgede moment kapasitesi azaltılmıştır. Bu donatı detayını kullanan deney elemanlarında kapasite azaltımı miktarı değişken olarak seçilmiştir.</p> <p>Deney elemanlarının davranışları birbirleriyle dayanım, rijitlik ve enerji tüketimi açısından karşılaştırılmıştır. Öndökümlü elemanlar ani olarak kırılmış ve kırışta mafsallı oluşturmanın etkileri bu elemanlarda gözlemlenememiştir. Fakat birdöküm eleman deneyleri elastik mafsallı ötelemesinin elemanın enerji-tüketim özelliklerine olumlu katkı yaptığını ve birleşim bölgesindeki gerilmeleri azalttığını göstermiştir.</p> <p>Test sonuçları %30-35 arası bir kapasite azaltımının başarılı bir birleşim davranışı için yeterli olduğunu göstermiştir. Ancak belirli tasarım kurallarının ortaya konulabilmesi için daha fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç vardır.</p>	
Anahtar Kelimeler: plastik-mafsallı, kiriş-kolon birleşim bölgeleri, öndöküm bağlantılar, sismik davranış	
9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler	
10- Bilim Dalı: Doçentlik B. Dalı Kodu: 624 Uzmanlık Alanı Kodu: 624.03.01 ISIC Kodu:	
11- Dağıtım (*): <input type="checkbox"/> Sınırlı <input type="checkbox"/> Sınırsız	
12- Raporun Gizlilik Durumu : <input type="checkbox"/> Gizli <input type="checkbox"/> Gizli Değil	

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