

PREFABRİKE İNŞAATTA UYGULANAN
BAZI BİRLEŞİM DETAYLARININ
TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

İdris TEZCAN

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. M.Ruhi AYDIN

Şubat-1989

İdris TEZCAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Prefabrike İnşaat Uygulanan Bazı Birleşim Detaylarının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

23.1.3..1.1989

Üye : Prof. M. R. U. AYDIN

Üye : Prof. Ömer Rıza AKGÜN

Üye : Doç. Dr. Ahmet TOPCU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 10. NİSAN 1989
gün ve 209/8..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

ÖZET

Prefabrike çerçeve sistemler, yapımcı firmalar tarafından, yapım hızı, üretim ve montaj kolaylığı açısından mafsallı birleşim olarak tercih edilebilirler. Ancak bu tür birleşimler, deprem etkisinde, geleneksel birleşimli yapılara göre, daha fazla deplasman (şekil değişimi) yaparlar. Bu da yapıda ikinci derece momentlerin artmasına, istenmeyen çatlama oluşmasına neden olabilir.

Yapı emniyetinin birinci derecede önemli olması, bilhassa çok katlı çerçeve sistemlerde, geleneksel yapı tarzına benzer birleşimlerle prefabrike inşaatlar gereksinimini doğurmuştur. Ülkemizde ihtiyaç duyulan bu konuya, ışık tutması açısından, düğüm noktalarının momente dayanıklı teşkili için detay araştırılmıştır. Geliştirilen detaylar, sistemde maruz kalacağı etkilere benzer şekilde yüklenerek, deneyler yapılmıştır.

Deney sonuçları ve diğer çalışmaların ışığı altında geliştirilen detaylar, uygun prefabrike yapılarda kullanılabilir.

SUMMARY

Prefabric frame systems may be preferred as joint connections by construction companies because of construction speed and easiness in production and montage. However, such connections makes more displacement by the influence of an eartquake according to the conventional connection buildings. Therefore, it may cause undesired cracks and may increase secondary moments.

The importance of building security, especially in multistorey building connections as in conventional building form, brought up the necessity of prefabric constructions. Details searched to make the nodal points resistant to moment in order to clarify the subject that is needed in our country. Experiments has made by loading developed details like actual effects.

These details, developed by means of experiments and other studies, can be used in appropriate prefabric buildings.

ÖNSÖZ

Yapı mühendisliğinin amacı kısaca, belli bir hizmet için tasarlanan konstrüksiyonu gerçekleştirmektir. Yapı denilince ilk akla gelen, güvenlik olmalı. Prefabrike sistemlerde, diğer yapım çeşitlerinde de olduğu gibi, yapı güvenliği birinci derecede önemlidir.

Teknolojinin ilerlemesi, orman ürünlerinin giderek azalması ve hızlı yapım gereksinimi, inşaat sektöründe prefabrike sistemlere ihtiyaç duyulmasının en önemli etkenlerindedir.

Prefabrike yapılarda, üretimde kalite kontrolünün, iyi yapılmasına rağmen, araştırmacılar deprem sonrası hasarların genellikle düğüm noktalarındaki bağlantının zayıflığından kaynaklandığı konusunda birleşiyorlar. Ülkemizde henüz yeni olan bu sistemlerin davranışının, uygulayıcılar tarafından bilinmesi gerekmektedir.

Geleneksel veya prefabrike çok katlı (ikiden fazla) ya da normalin üstünde yüklü yapılarda, deprem etkisi perdelerle veya çerçeve sistemlerle karşılanır.

Çalışmamız özellikle, prefabrike çerçevelerin momente dayanımlı birleşimleri üzerinde yapılmıştır. Bu konuda detay araştırması yapıp, üretim ve montaj açısından uygunluğu düşüncesiyle geliştirilen birleşimler, sistemde maruz kalacağı etkilere benzer şekilde yüklenerek, deneyler yapılmıştır. Deneylerden varılan sonuçla ve diğer çalışmaların ışığı altında geliştirilen detaylar ilgili prefabrike yapılarda uygulanabilir.

Bu çalışmamda, sürekli yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof.M.Ruhi AYDIN'a ve deney imkanını sağlayan ESTON A.Ş.'ne şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖNSÖZ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. PREFABRİKE SİSTEMLER VE YORUMLAR	1
1.1. Prefabrike Sistemlerin Tanıtımı ve Tarihçesi	1
1.2. Mafsal Birleşimli Sistemler	2
1.2.1. Mafsal birleşimli konut yapıları	2
1.2.2. Mafsal birleşimli sanayi yapıları ...	3
1.2.3. Prefabrike özel yapılar (köprü vs.) .	3
1.3. Prefabrike Sistemlerde Momente Dayanımlı Birleşim Gereksinimi	3
1.4. Mafsal Birleşim Detayları ve Yorumları	5
1.5. Momente Dayanımlı Birleşim Detayları ve Yorumları	14
2. DENEY SİSTEMLERİNİN TANITIMI, DENEY SONUÇLARI VE DENEYLERİN ANALİTİK DEĞERLENDİRİLMESİ	20
2.1. Deney Elemanlarının Birleşim Halleri	20
2.1.1. Kiriş-kiriş birleşimi "A" deney elemanı	20
2.1.2. Kolon-kolon birleşimi "B", "C", "D" deney elemanları	23
2.2. Deney Setlerinin Hazırlanması	27
2.3. Deney Sonuçları	28
2.3.1. "A" birleşimi deney sonuçları	28
2.3.2. "B" birleşimi deney sonuçları	31

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.3. "C" birleşimi deney sonuçları	32
2.3.4. "D" birleşimi deney sonuçları	33
2.3.5. Beton numuneleri	34
2.4. Taşıma Gücü Genel Esaslar	35
2.4.1. Betonarme davranışı	35
2.4.2. Moment-eğrilik ilişkisi	35
2.5. Deneylerin Analitik Değerlendirilmesi	38
2.5.1. Yerinde dökme betonda moment-eğrilik ilişkisi (üstte çekme)	38
2.5.2. Yerinde dökme betonda moment-eğrilik ilişkisi (altta çekme)	42
2.5.3. Prefabrik giriş kesitinin moment-eğrilik ilişkisi (üstte çekme)	45
2.5.4. Prefabrik giriş kesitinin moment-eğrilik ilişkisi (altta çekme)	46
2.5.5. Yerinde dökme betonda, kritik kesitin hesap taşıma gücü	48
2.5.6. "B", "C", "D" birleşiminde moment-eğrilik ilişkisi	50
2.5.7. Giriş-giriş birleşimi için kayma donatısı hesabı ve birleşimin davranışı hakkında yorum	52
3. DENEYLERİN YORUMU, ÖNERİLER, SONUÇ	55
3.1. Deney Sonuçlarının Sehim Yönünden Hesap Değerleriyle Karşılaştırması	55
3.1.1. "A" birleşimi deney sonuçlarının sehim yönünden hesap değerleriyle karşılaştırması	55
3.1.2. "B" birleşimi deney sonuçlarının hesap değerleriyle karşılaştırması ..	60
3.1.3. "C" birleşimi deney sonuçlarının hesap değerleriyle karşılaştırması ..	61
3.1.4. "D" birleşimi deney sonuçlarının hesap değerleriyle karşılaştırması ..	62
3.1.5. Deneylerin yorumu	63
3.2. Öneriler	64
3.3. Sonuç	67
KAYNAKLAR DİZİNİ	68
EKLER	
EK 1. Resimlemeler	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Kolon-kiriş birleşim detayı	5
1.2. Kolon-kiriş mafsal detayı	5
1.3. Taşıyıcı kiriş-tali kiriş birleşim detayı	6
1.4. Kolon-kiriş birleşim detayı	6
1.5. Kolon-kiriş birleşim detayı	7
1.6. Kolon-kiriş birleşim detayı	7
1.7. Kolon gusesi donatı detayı	8
1.8. Guse donatı detayı	9
1.9. Kolon-makas kiriş ve dere kirişi birleşim detayı	10
1.10. Kolon-makas kirişi ve dere kirişi birleşim detayı	11
1.11. Kolon-makas kirişi ve dere kirişi birleşim detayı	12
1.12. Makas kiriş-pre.aşık birleşim detayı	12
1.13. Kiriş-kolon birleşim detayı	13
1.14. Kolon-kiriş birleşim detayı	13
1.15. Momente dayanımlı birleşim detayı	14
1.16. Momente dayanımlı birleşim detayı	15
1.17. Momente dayanımlı birleşim detayı	16
1.18. Momente dayanımlı birleşim detayı	16
1.19. Momente dayanımlı birleşim detayı	17
1.20. Momente dayanımlı birleşim detayı	17
1.21. Kiriş-kiriş birleşim detayı	18
1.22. Kiriş-kiriş birleşim detayı	18
2.1. Kiriş-kiriş birleşimi deney elemanı (A)	20
2.2. "A" birleşim detayı kiriş görüşleri	21
2.3. "A" birleşim deyatı kiriş donatıları	21
2.4. "A" birleşim detayı kolon görüşleri	22
2.5. "A" birleşim detayı kolon donatıları	22
2.6. Kolon-kolon birleşimi "B", "C", "D" deney elemanları	23
2.7. "B", "C", "D" birleşim detayı alt kolon görüşleri	24

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.8. "B","C","D" birleşim detayı alt kolon donatıları	24
2.9. "B" ve "C" birleşimi üst kolon görünüşleri ...	25
2.10. "B" ve "C" birleşimi üst kolon donatıları	25
2.11. "D" birleşimi üst kolon görünüşleri	26
2.12. "D" birleşimi üst kolon donatıları	26
2.13. "A" birleşimi yükleme hali	28
2.14. "A" birleşimi tersinir yük hali	30
2.15. Kolon deneyleri yükleme hali	31
2.16. Yerinde dökme kiriş kesit özellikleri	40
2.17. Yerinde dökme betonda M-K eğrisi	41
2.18. Yerinde dökme kiriş kesit özellikleri	42
2.19. Yerinde dökme betonda M-K eğrisi	44
2.20. Prefabrik kiriş kesit özellikleri	45
2.21. Prefabrik kiriş kesit özellikleri	46
2.22. Prefabrik kiriş M-K eğrisi (üstte çekme)	47
2.23. Prefabrik kiriş M-K eğrisi (altta çekme)	47
2.24. Kritik kesit (hesap) M-K eğrisi	49
2.25. Kolon birleşim noktasında kesit özellikleri ..	50
2.26. Kolon birleşimi M-K eğrisi	51
2.27. Sonradan dökme betonda etriye dizaynı	52
3.1. Deney sistemlerine uygun köşe birleşimi detay önerisi	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge

2.1. Eşdeğer dikdörtgen dağılımın özellikleri	40
--	----

SİMGELELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A_{cc}	Derinliği "a" ile sınırlanan beton basınç alanı
A_s	Çekme donatısı alanı
A_s'	Basınç donatısı alanı
A_{sw}	Kesitteki etriye alanı
b	Kiriş genişliği (kesit genişliği)
c	Tarafsız eksen derinliği
d	Faydalı yükseklik
E	Elastisite modülü
E_s	Çelik elastisite modülü
F	Kuvvet
F_c	Betondaki basınç kuvveti bileşkesi
F_{cm}	Deney sırasında kırılan numunelerin ortalama basınç dayanımı (karakteristik dayanım)
f	Sehim
f_{cd}	Hesapta kullanılan beton basınç dayanımı
f_{si}	Donatı kuvveti (uzama veya basınç halinde)
f_{yk}	Donatı çeliğinin akma dayanımı (karakteristik dayanım)
f_{yd}	Hesapta kullanılan çelik akma dayanımı
h	Yükseklik
I	Atalet momenti
K	Eğrilik (birim dönme açısı)
ℓ	Eleman boyu, açıklık
M	Moment

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
N	Eksenel kuvvet
P	Yük (kuvvet), Bar karşılığı basınç
q	Yayıllı yük
S	Aralık
t	ton
V	Kesme kuvveti
x	Uzaklık
ϵ_c	Beton birim boy değişimi
ϵ_s	Donatı çeliğindeki birim boy değişimi
ϵ_s'	Basınç donatısındaki birim boy değişimi
σ_c	Betondaki gerilme (basınç)
σ_s	Çekme donatısındaki gerilme
σ_{si}	i seviyesindeki donatıdaki gerilme
δ	Deplasman (yanal)

Kısaltmalar

Ort.	Ortalama
Pre.	Prefabrike

1. PREFABRİKE SİSTEMLER VE YORUMLAR

1.1. Prefabrike Sistemlerin Tanımı ve Tarihçesi

Prefabrike inşaatları, geleneksel olarak adlandırılan inşaatlardan ayırmak oldukça güçtür. Bu konuya açıklık getirmek amacı ile prefabrikasyonun tarifini yapmak uygun olacaktır. "Herhangi bir inşaat malzemesi, yapı elemanı, yapı bileşeni, makina veya teçhizatın, atölye veya fabrikada seri olarak imal edildikten sonra, her türlü yapı inşaatının şantiyede, sadece yerleştirme ve montaj işlerine tabi tutulmasına prefabrikasyon"denir [1]. Bu tarif prefabrike inşaat kavramını da açıklamaktadır.

Başlangıçta bu uygulamanın İkinci Dünya Harbinde, bilhassa Avrupa'da büyük bir uygulama alanı bulduğunu ve daha sonra gelitiğini söyleyebiliriz. Bunu takiben İmar ve İskan Bakanlığı'nın ilk defa 1961'de bu tür uygulamaya yer verdiğini görüyoruz [1]. Bu uygulamadan sonra Bakanlığın yaklaşık yirmi yıl bu konuya ilgisiz kaldığı gözlenmiştir. 1970 yıllarında Türkiye'nin sanayileşme hareketi içerisinde özel sektör, prefabrikasyonu önce sanayi yapılarında daha sonra da konut sistemlerinde uygulamaya koymuştur.

Yapı ister geleneksel, isterse de prefabrike olarak inşa edilmiş olsun, deprem ve rüzgara göre emniyeti aynı hesap esasları kullanılarak sağlanır. Burada, dikkat edilmesi gereken husus, prefabrike yapıların, düğüm noktalarının veya birleşim yerlerinin bu etkiler göz ardı edilmeksizin detaylandırılması ve imal edilmesidir.

Depremde, prefabrike sistemlerin göçme nedenlerinin başında bağlantı detayı hataları gelmektedir [1].

27 Mart 1964 tarihli Alaska Depremi'nde, prefabrik yapılar ağır hasara uğramış ve bazıları da göçmüştür. Bu ağır hasarın nedenlerinin başında, bağlantılarının yeterince emniyetli inşa ve imal edilmediği konusunda birleşilmiştir.

4 Mart 1977 tarihli Romanya Depremi'nde ise, prefabrik yapıların genellikle çok iyi bir davranış örneği gösterdiği açıklanmıştır [1].

Şiddetli depremlerde, yapıdan sünek davranış beklenildiğinde elastik sınırlar ötesinde deformasyon yapacağı varsayıldığından, bilhassa prefabrike birleşimlerde katlar arası deplasmanı sınırlamak için düğüm noktalarını momente dayanımlı teşkil etmek, ikinci mertebeli momentlerini azaltacaktır. Bu da yapı dayanımının artmasını sağlayacaktır [2].

1.2. Mafsallı Birleşimli Sistemler

1.2.1. Mafsallı birleşimli konut yapıları

Genellikle az katlı (üç kata kadar) yapılarda kolonlar tek eleman olarak yapılmaktadır. Kolon-kiriş birleşimi ise mafsallı olarak gerçekleştirilir. Bu birleşimler, dayanım ve ekonomi açısından uygun olmaktadır. Bu tür sistemlerde, deprem etkisinden meydana gelen yatay yükler, sadece kolonlar tarafından karşılanmaktadır. Sistem gereği, deplasmanların fazla olması, ikinci derece momentlerin artmasına neden olmaktadır. Bu da kolon boyutlarının büyümesine etki eden bir başka faktördür. Kirişler ise düşey yüklere göre, basit kiriş olarak dizayn edilirler.

Böyle yapılarda, kirişler, kolon guselerine basit mesnetli olarak oturmaktadır. Prefabrik döşemeler de, kiriş üzerine basit mesnetli oturmaktadır. Bu birleşimde en hassas nokta, kolon ve giriş guseleridir. Bu konuda, hesaplarda veya üretimdeki bir hata, gusenin kırılmasına ve önemli hasarla neden olabilir.

1.2.2. Mafsal birleşimli sanayi yapıları

Sanayi yapıları genellikle tek katlı, bazen de ara katlı olabilir. Avrupa'da ise çok katlı yapımları mümkün olmaktadır [3].

Bu sistemlerde de düğüm noktaları önemlidir. Kolon üzerine oturan ve genellikle değişken kesitli olarak yapılan kirişin mesnet bölgesi hem düşey yüklere hem de deprem ve rüzgar etkisinden meydana gelecek şekil değiştirme etkilerine göre dizayn edilmelidir. Kirişte ve kolonda bırakılacak bağlantı filizlerinin yine bu etkilere göre tertiplenmesi gereklidir. Kolon ve kiriş guseleri aynı etkilere göre dizayn edilmelidir. Ayrıca diğer yapı türleri için de geçerli olan kolonların temel teşkili, yatay etkileri de göz önüne alarak yapılmalıdır [3].

1.2.3. Prefabrike özel yapılar (köprü vs.)

Özel prefabrike yapılara örnek olarak, yol köprüleri, demiryolu köprüleri. Betonarme kafes kiriş olarak üretilen yapı elemanları ve enerji hattı elemanları sayılabilir [3,5].

1.3. Prefabrike Sistemlerde Momente Dayanıklı Birleşim Gereksinimi

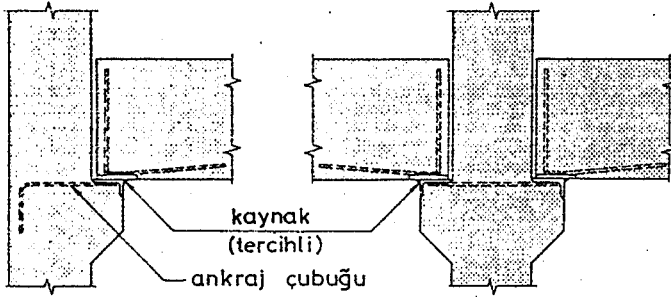
Depremin veya rüzgarın önemli olduğu bölgelerde, özellikle çok katlı yapılar, yatay etkiyi alacak şekilde dizayn edilmelidir. Bunlar,

- a) Sistem tümüyle perdelerden oluşabilir [4,6].
- b) Sistemde çekirdek perde oluşturulabilir.
- c) Sistem momente dayanımlı çerçeve olarak dizayn edilebilir.

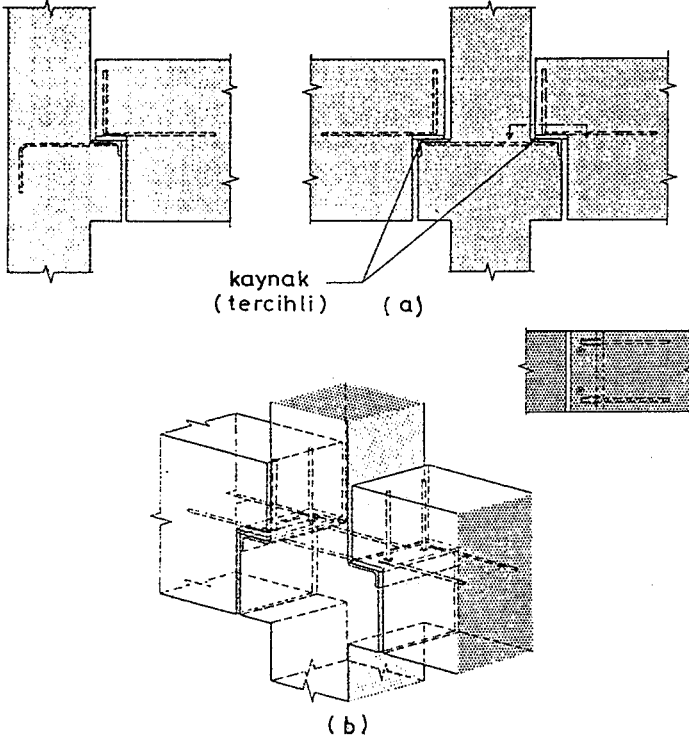
Birinci maddede, deprem etkisi ve dūşey yükler perdeler tarafından alınacaktır. (b)deki sistemde ise yine deprem etkisi, çekirdek perde tarafından alınabilir, diğerk dūşey taşıyıcı elemanlar ise dūşey yüklere göre boyutlandırılır. Bu sistemlerde yatay taşıyıcı olmayan elemanların, perdeye yük transferi, prefabrikedöşemeler tarafından aktarılacak şekilde dizayn edilmelidir. Yani katlardaki yatay rijitlik sağlanmalıdır.

Klasik çerçeve tarzındaki sistemlerde c şikkı uygulanabilir. Perde teşkilinin mimarı ve ekonomik olarak söz konusu olmadığı durumlarda bu sistem uygun olacaktır. Bu tür yapıları 1.2.1 deki nedenlerden dolayı mafsalı yapmak oldukça güçtür ve ekonomik değildir. Bu tür sistemlerde yatay rijitliğe son derece önem verilmelidir.

1.4. Mafsal Birleşim Detayları ve Yorumları

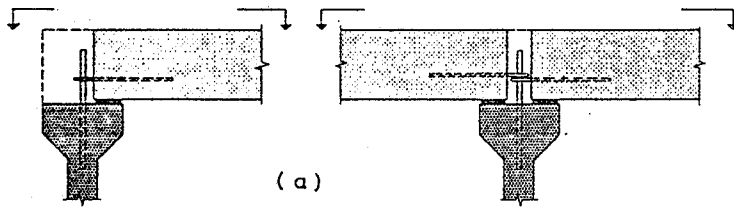


Şekil 1.1 kolon kiriş birleşim detayı

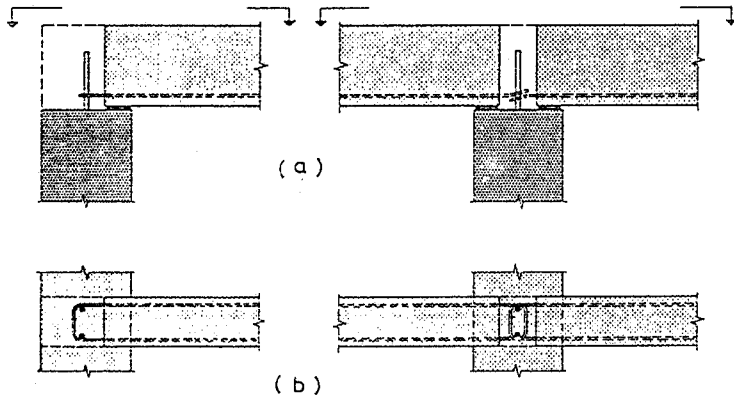


Şekil 1.2 kolon kiriş mafsal detayı

Şekil 1.1. ve 1.2 de kolon-kiriş birleşimi mafsallı olarak teşkil edilmiştir [7]. Bu birleşimler düşey yükü kolona, aynı zamanda yatay kuvvetleri sisteme aktarmak amacıyla dizayn edilirler. Bu birleşimde kaynaklar tercihli olarak verilmiştir. Dinamik etkilere maruz birleşimlerde kaynaklı birleşim öngörülmektedir. Kaynaklar iyi dizayn edilmezse, deprem etkisinde yırtılarak, birleşim kaynaksız hale gelebilir.

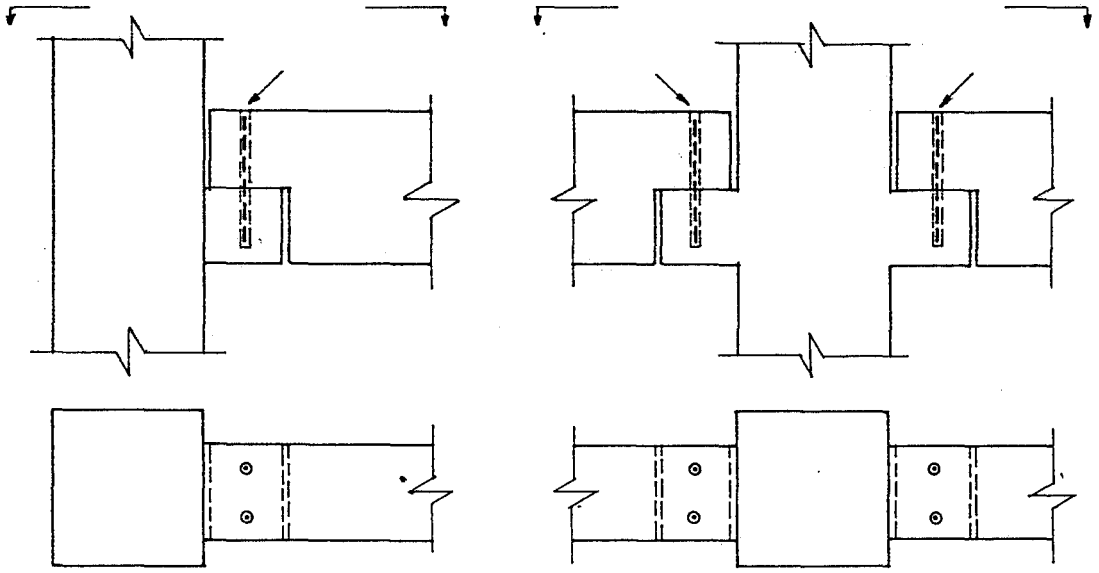


Şekil 1.3 taşıyıcı kiriş - tali kiriş birleşim detayı

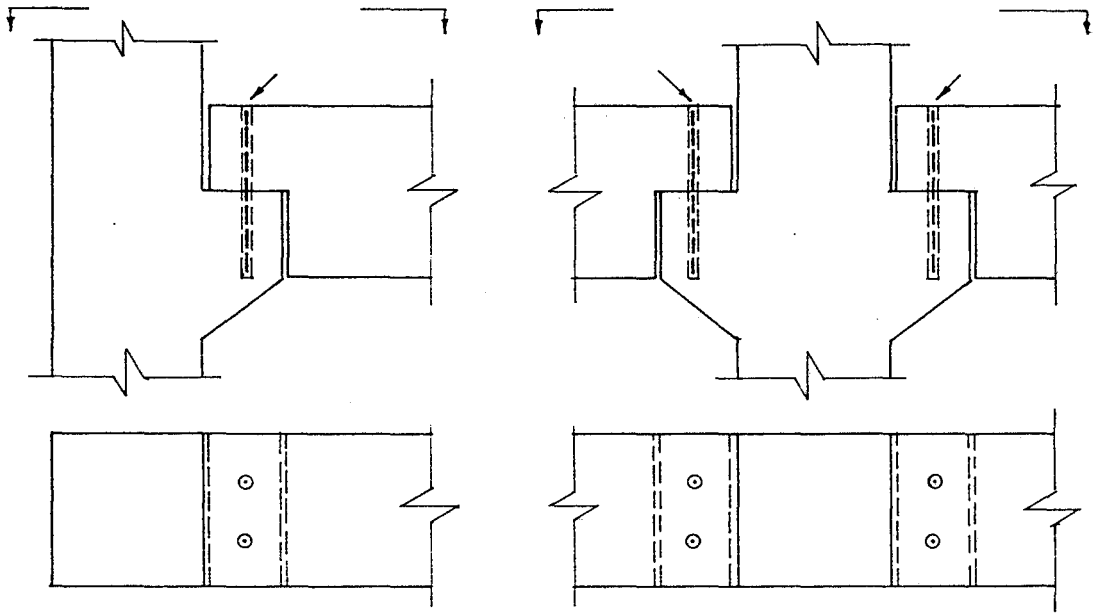


Şekil 1.4 kolon - kiriş birleşim detayı

Şekil 1.3 te taşıyıcı kirişle, tali kirişin birleşim detayı, Şekil 1.4 te ise kiriş-kolon birleşimi gösterilmiştir [7]. Bu birleşimlerde, prefabrike kolon ve kirişte filiz bırakılmak suretiyle yerinde dökme betonla birleşim sağlanmıştır. Bu tür birleşimlerde oturma bölgesi yeterli olmalıdır. Oturma bölgesi kırılmaları önlemek için yeterince sarılmalıdır. Prefabrik elemanlarda bırakılan filizler belli kriterler göz önüne alınarak dizayn edilmelidir.

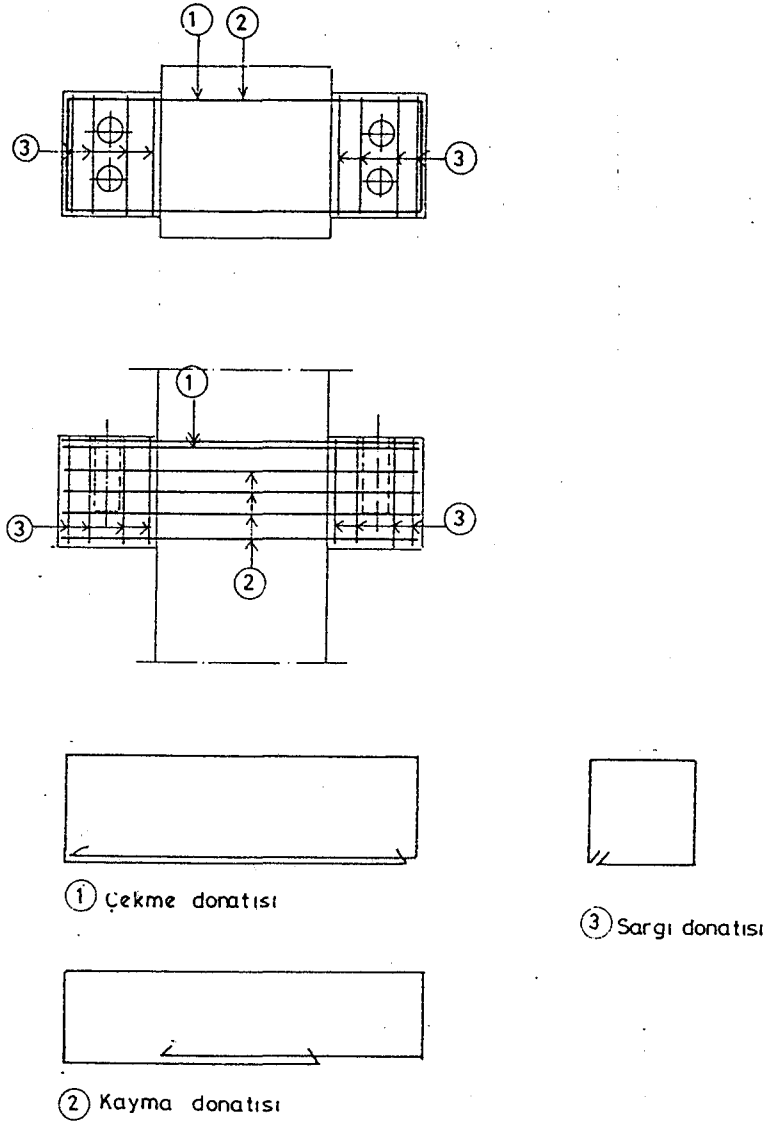


Şekil 1.5 kolon-kiriş birleşim detayı



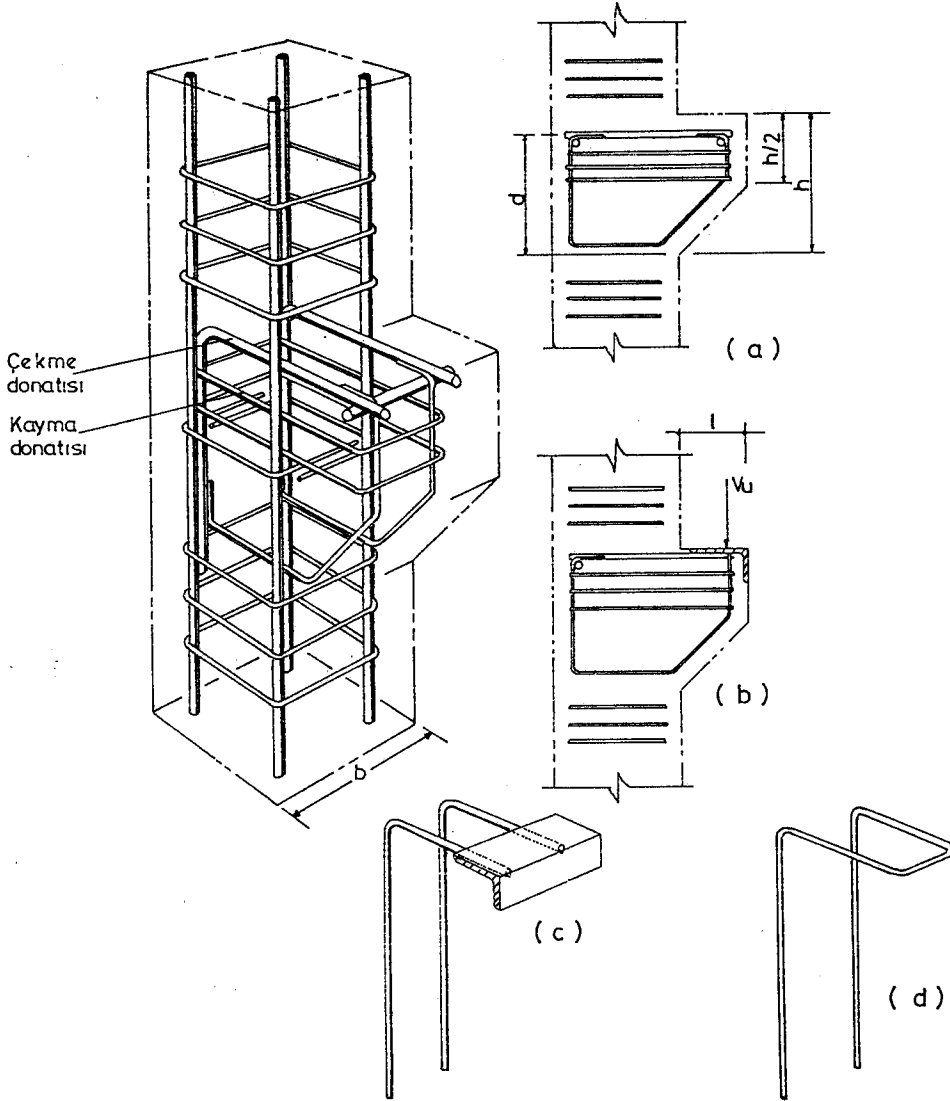
Şekil 1.6 kolon-kiriş birleşim detayı

Şekil 1.5 te konut ve sanayi yapılarında kullanılan birleşim, Şekil 1.6 da ise genellikle sanayi yapılarında uygulanan birleşim görülmektedir. Bu tür birleşimler üretim ve montaj kolaylığı açısından prefabrik elemanlarda delik bırakarak, yerinde filiz ve beton şerbetiyle sağlanır. Delik ve filizler belli kriterlere göre dizayn edilmelidir.



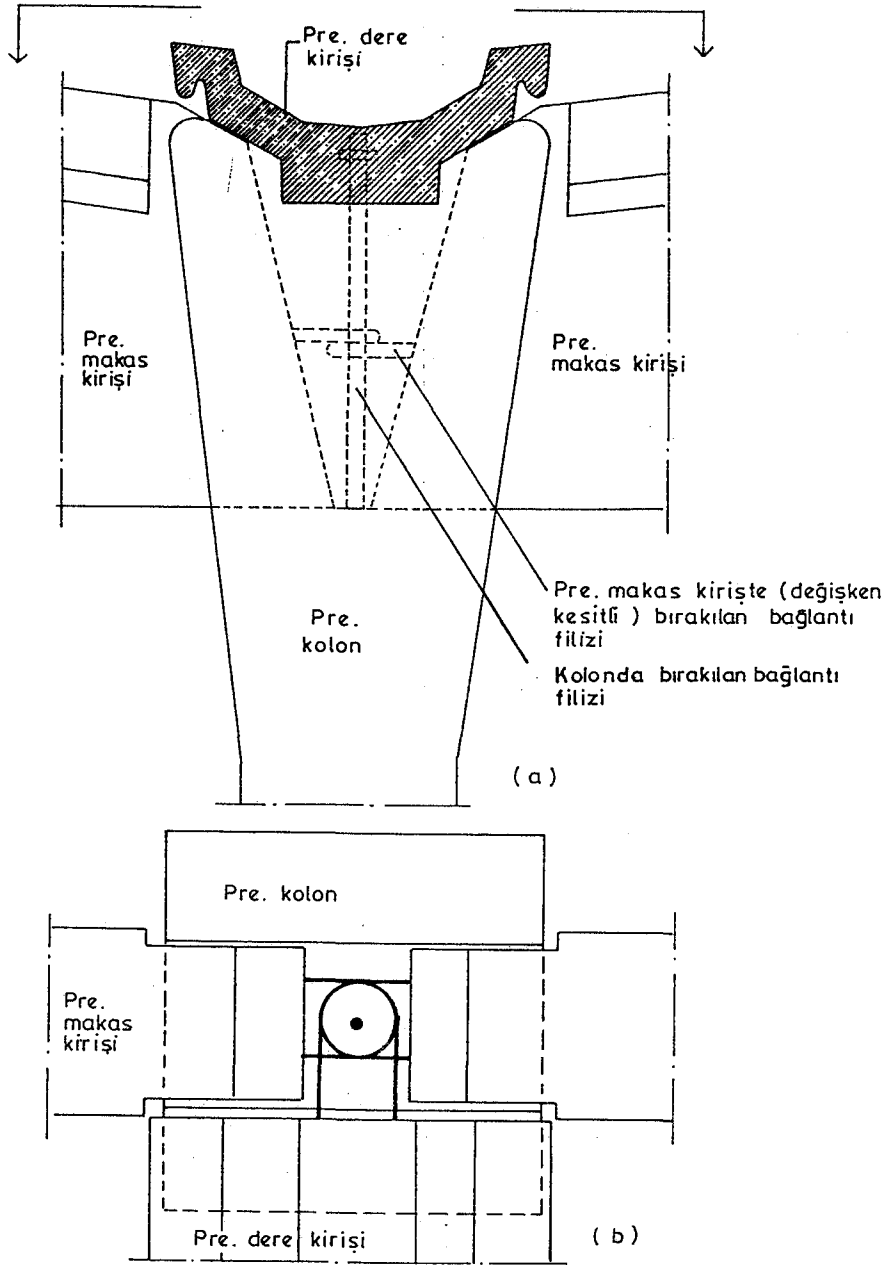
Şekil 1.7 Kolon gusesi donatı detayı

Şekil 1.7 de tipik bir guse donatı dizaynı gösterilmiştir. Görüldüğü gibi gusede yerinde birleşim de kullanılacak filiz için delik bırakılmıştır. Çekme donatısı, kolon yüzü itibariyle, her iki tarafa şartnamelere uygun ankre edilmelidir. Sargı donatısının, delik nedeniyle zayıflayan kesiti takviye ve iyi bir betonarme sağlamak amacıyla kullanılması uygun olacaktır.



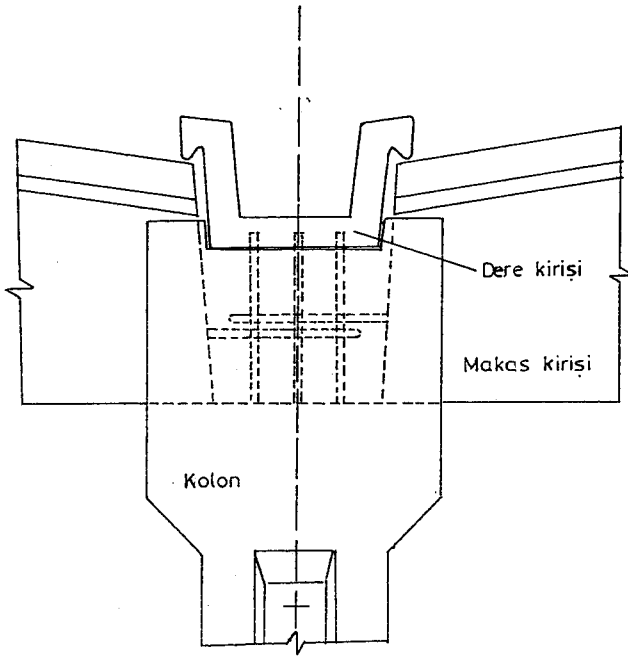
Şekil 1.8 Guse donatı detayı

Şekil 1.8 de sanayi yapılarına uygun, kolon guse donatı dizaynı görülmektedir [6]. a detayında çekme donatısının, enine çubuğa kaynakla ankraji sağlanmıştır. b ve c detayında ise, çekme donatısının kösebente kaynatılmış ankraji görülmektedir. Bu tip detaylar dinamik yüklere maruz gusesler için uygun olabilir. d detayında ise kıvrılabilir danıtalar (BÇI) için, çekme donatısı detayı görülmektedir.



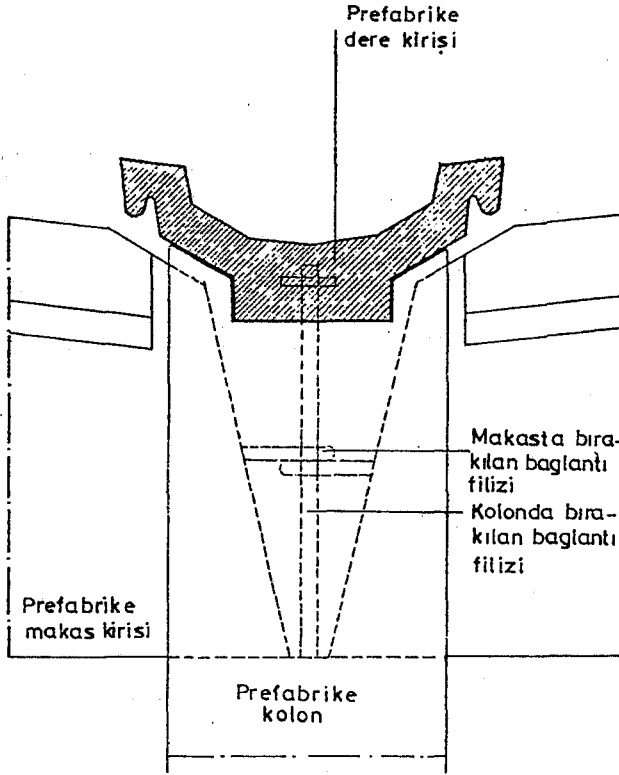
Şekil 1.9 kolon - makas kiriş ve dere kiriş birleşim detayı

Şekil 1.9 da sanayi yapılarında kullanılan kolon-makas kiriş ve dere kiriş birleşim detayı görülmektedir. Bu detaydaki kritik noktalardan biri, kolon kafasının, makas kirişin yanıl devrilme momentini alacak şekilde dizayn edilmesidir. Bir başka husus ta, deprem etkisinde, dere kirişinde bırakılan fiirketenin, kolon filizinden kurtulmayacak şekilde dizayn edilmesidir.

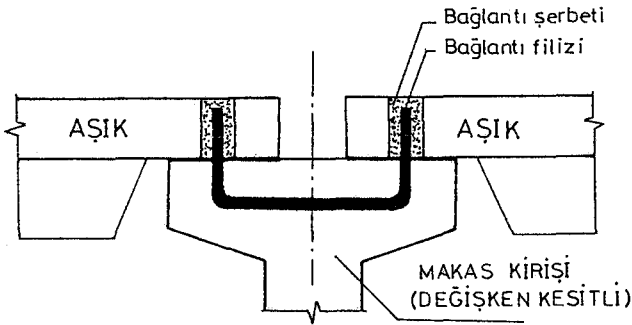


Şekil 1.10 kolon makas kirişi ve dere kirişi birleşim detayı

Şekil 1.10 da yine bir prefabrik kolon-kiriş ve dere kirişi birleşimi görülmektedir. Bu birleşimde de Şekil 1.9 da olduğu gibi kolon kafası genişletilmiştir. Bu detay Şekil 1.9 a göre kolon kafası ve makas kirişin oturma mesafesi açısından daha emniyetlidir.

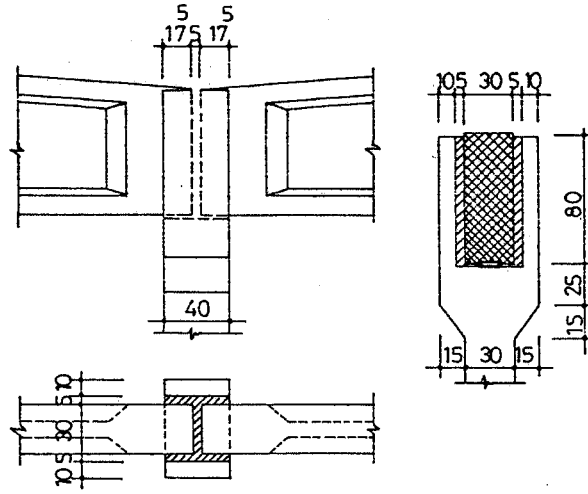


Şekil 1.11 Kolon-makas kirişi ve dere kirişi birleşim detayı

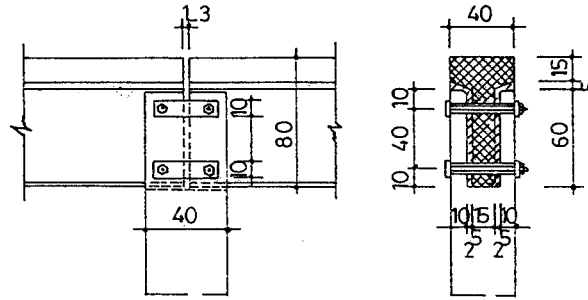


Şekil 1.12 Makas kiriş-Pre. aşıklar birleşim detayı

Şekil 1.11 de başka bir kolon-kiriş ve dere kirişi birleşimi görülmektedir. Bu detayın, Şekil 1.9 ve 1.10 dan farkı, kolon kafasının birleşim noktasında genişletilmemesidir. Detayda, Şekil 1.9 da bahsedilen etkilerden dolayı, kolon kafasının iyi dizayn edilmesi gerekir. Şekil 1.12 de prefabrik aşıklar ile makas kiriş (esas kiriş) mafsal birleşimi gösterilmiştir.



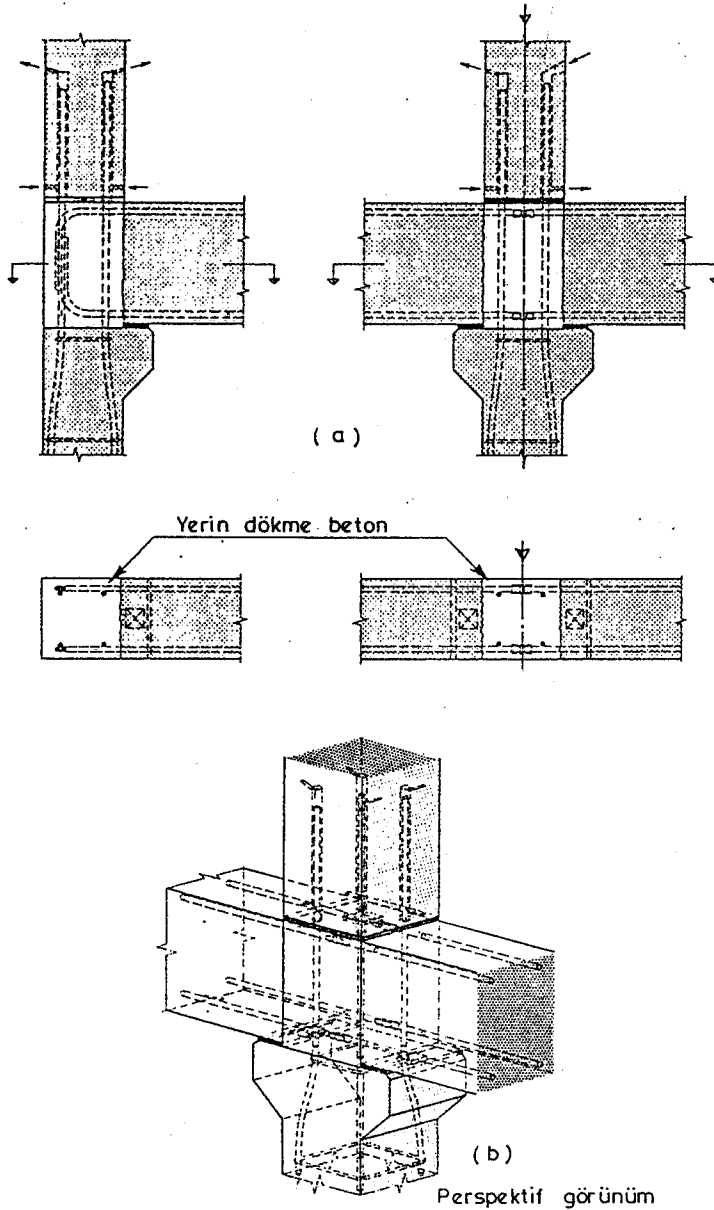
Şekil 1.13 Kiriş - kolon birleşim detayı



Şekil 1.14 Kolon - kiriş birleşim detayı

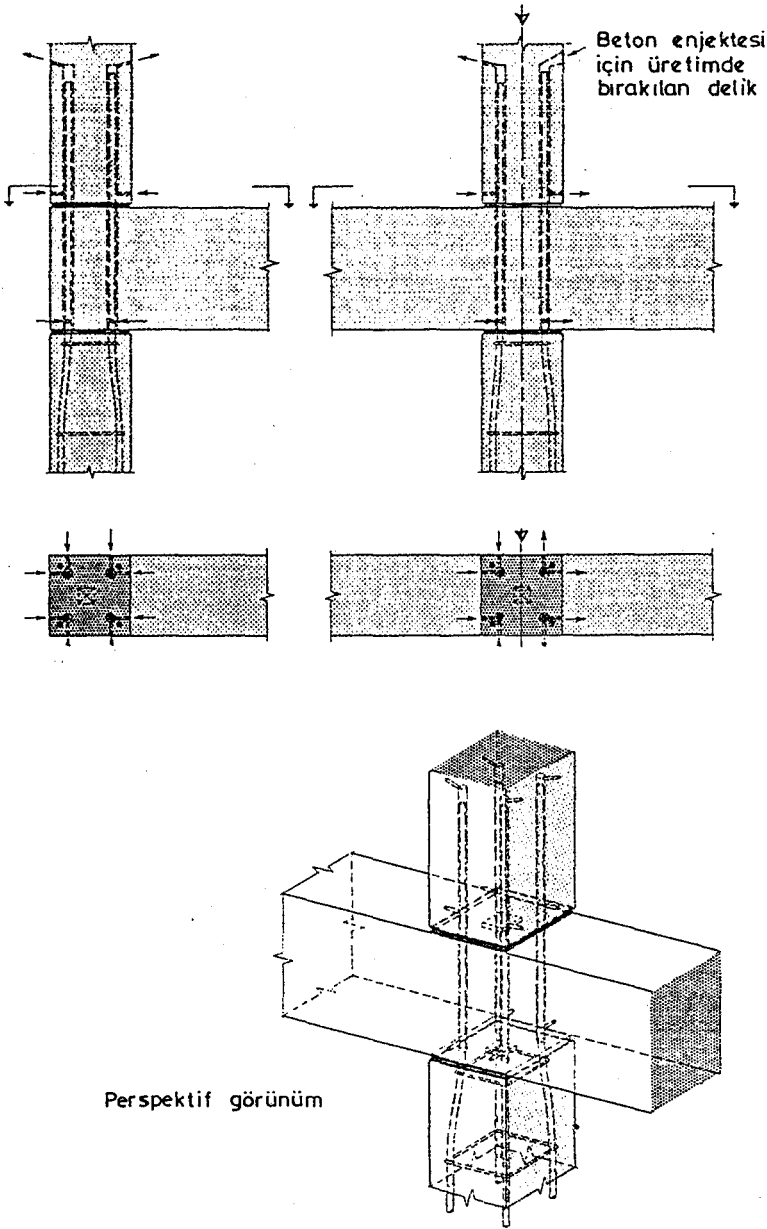
Şekil 1.13 ve Şekil 1.14 te kolon ve kiriş birleşimi detayı görülmektedir [3]. Şekil 1.14'teki detay, Şekil 1.9, 1.10, 1.11 ve 1.13 teki detaylara göre, makasın devrilmemesi açısından daha emniyetlidir. Üretim ve montaj zorluğuna rağmen Şekil 1.14 teki detayı uygulamak yapı güvenliği açısından uygun olacaktır.

1.5. Momente Dayanıklı Birleşim Detayları ve Yorumları



Sekil 1.15 Momente dayanıklı birleşim detayı

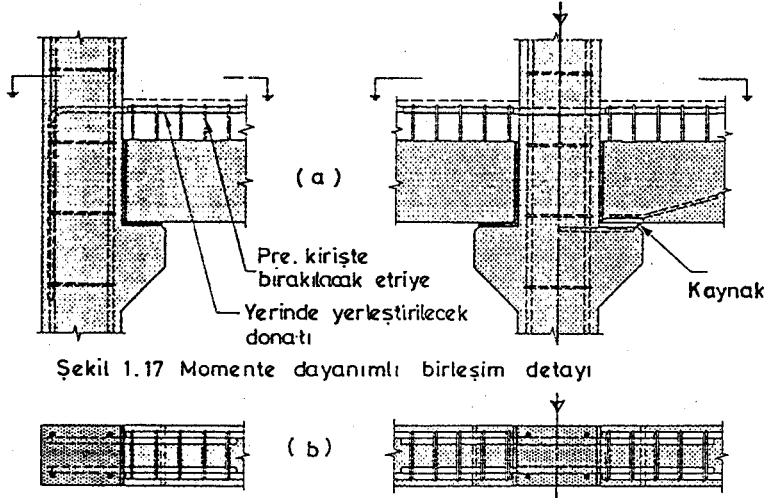
Şekil 1.15 te, köşe ve ara birleşim için momente dayanıklı düğüm noktası gösterilmiştir [7]. Bu birleşimde, kirişlerde bırakılan mesnet donatıları, yerinde yapılan kaynakla birleştirilmiştir. Üst kolona ankastre bağlantı ise alt kolon filizinin, üst kolon deliklerine geçirilerek beton enjekteri ile sağlanmıştır. Dizayn momenti hesaplanırken, kesitte donatı mesafelerine uygun hesap yapılmalıdır.



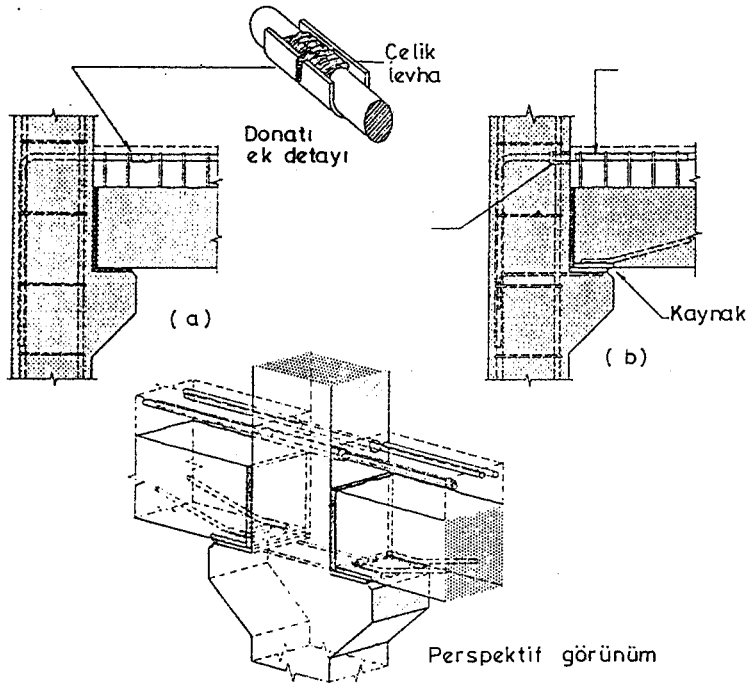
Şekil 1.16 Momente dayanımlı birleşim detayı

Şekil 1.16 daki birleşimde, kirişlerde ve üst kolonda donatı sürekliliğini sağlamak amacıyla delikler bırakılmıştır [7]. Alt kolon tespitinden sonra, üst kolon, alt kolonda bırakılan filizlere geçirilir, daha sonra şekildeki deliklerden beton enjeksi yapıılır. Bu tür uygulamalarda gerek üretimde gerekse montajda itinalı çalışmak gerekir. Üretimde deliklerin yerinde bırakılması, montajda ise deliklere beton enjektisinin iyi yapılması gerekir. Enjekte edilen beton mukavemetini kazanmadan, montaj anında sisteme

bir hareket verilmemesine dikkat edilmelidir. Bu tür birleşimlerin özelliği kirişin düğüm noktasında tek eleman oluşudur.



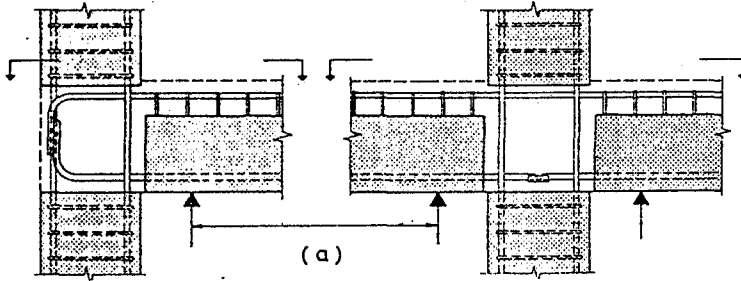
Şekil 1.17 Momente dayanımlı birleşim detayı



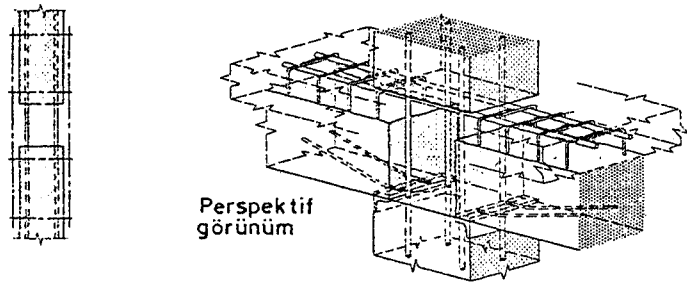
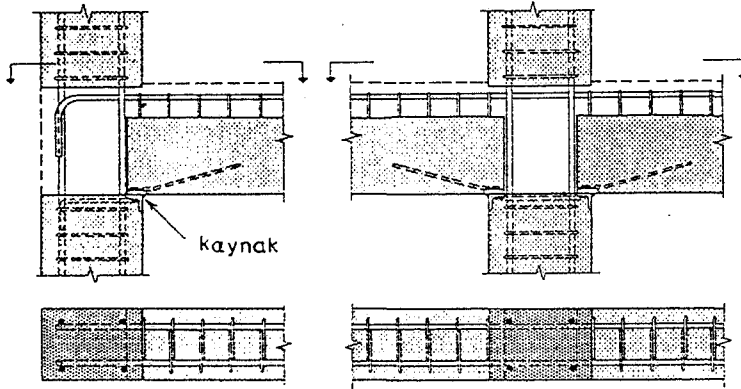
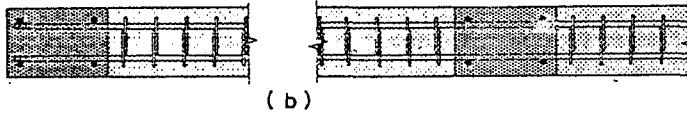
Şekil 1.18 Momente dayanımlı birleşim detayı

Şekil 1.17 ve 1.18 de, sürekli kolon ve kolon guselelerine oturan kirişlerle birleşim yapılmıştır [7]. Şekil 1.17 de etriyeler arasından ve kolon deliklerinden donatı geçirilerek yerinde dökme betonla ara momente dayanımlı birleşim sağlanmıştır. Kenar birleşim için Şekil 1.17 de ankraj boya kadar kolonda filiz bırakılmıştır. Şekil 1.18 de ise kolonda kısa bırakılan filiz detaydaki gibi yerinde

yerleştirilecek donatıya kaynatılmak suretiyle ankrajı sağlanıp betonlanmıştır. Oturma bölgelerindeki ankrajlı levhaların birbirine kaynatılmasıyla tersinir momentler için dayanım sağlanabilir.



Şekil 1.19 momente dayanımlı birleşim detayı

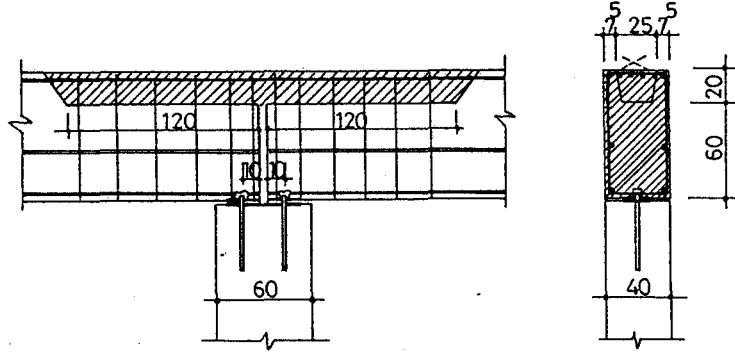


Şekil 1.20 momente dayanımlı birleşim detayı

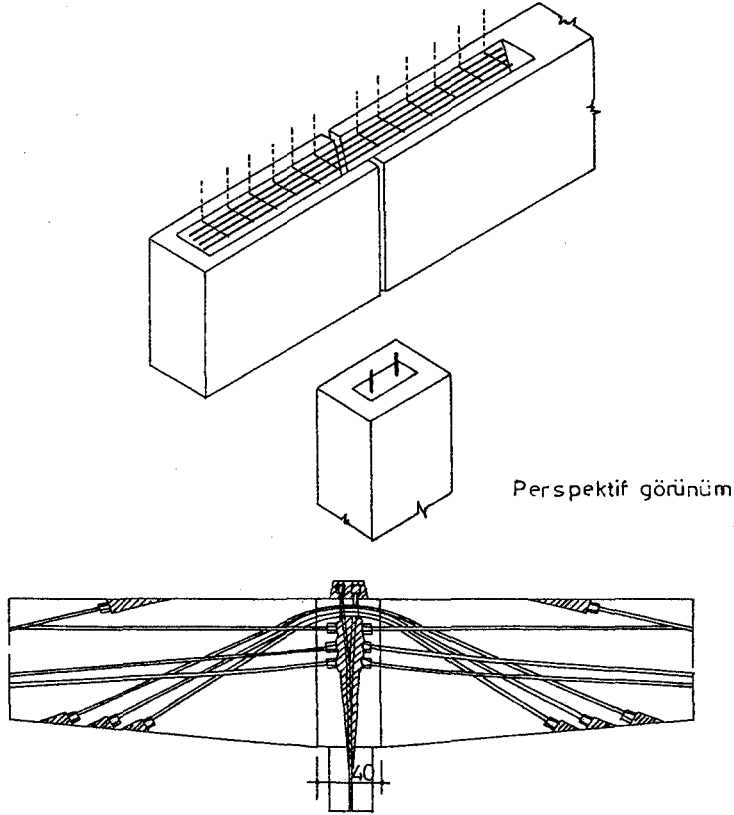
Şekil 1.19 ve 1.20 de momente dayanımlı birleşim görülmektedir [7].

Şekil 1.19 daki birleşimde, yerinde dökme beton mukavemetini kazanmadan, şekilde gösterilen taşıyıcı sistem

kaldırılmaz. Şekil 1.20 de ise böyle bir sorun yoktur. Şekil 1.19 daki detayın uygulanması montaj açısından oldukça zor. Şekil 1.20 de ise, kirişin kolon kafasına oturması nedeniyle, eksene yaklaşan donatılar, kolonun taşıma gücünü azaltmaktadır.



Şekil 1.21 kiriş - kiriş birleşim detayı



Şekil 1.22 kiriş - kiriş birleşim detayı

Şekil 1.21 de kolonla kiriş mafsallı, kiriş-kiriş birleşimi ise momente dayanımlı teşkil edilmiştir [3]. Mesnet bölgesinde kirişe açılan yuvada açıkta bırakılan etri-

yeler arasına donatı yerleştirip, beton dökerek birleşim salanacaktır.

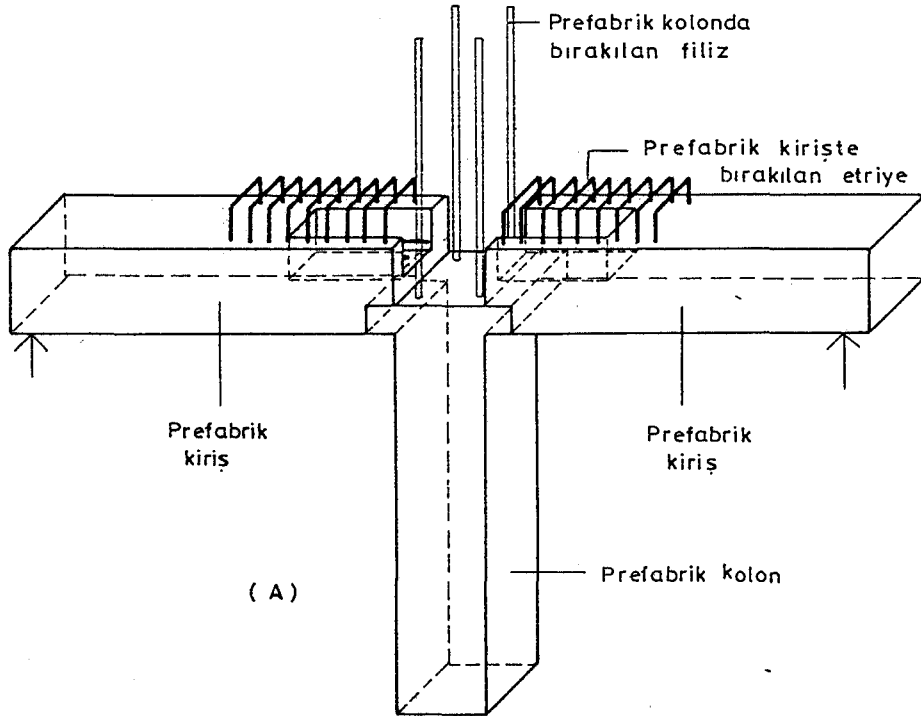
şekil 1.22 de ise sonradan germe ile, momente dayanım-
lı birleşim yapılmıştır [3]. Bu tür birleşimlerin üretim
ve montajı oldukça zordur.

2. DENEY SİSTEMLERİNİN TANITIMI, DENEY SONUÇLARI VE DENEYLERİN ANALİTİK İNCELENMESİ

Geliştirilen birleşim detayları, üretim kolaylığı, ekonomik yapım ve inşaat hızını önemli ölçüde etkilemeyeceği düşüncesiyle, prefabrike sistemlere uygulanabilir. Detaylar birleşim noktasında tek yönde momente dayanımlı olarak düzenlenmiştir. Ancak aynı tarzda yapımla çift yönlü momente dayanımlı dizayn edilebilir. Bu birleşimlerde montaj anında yerinde dökme beton, prefabrike elemanlar arasında uygulanacağından önemli bir kalıp gereksinimi ve işçilik gerektirmeyeceği düşünülmüştür.

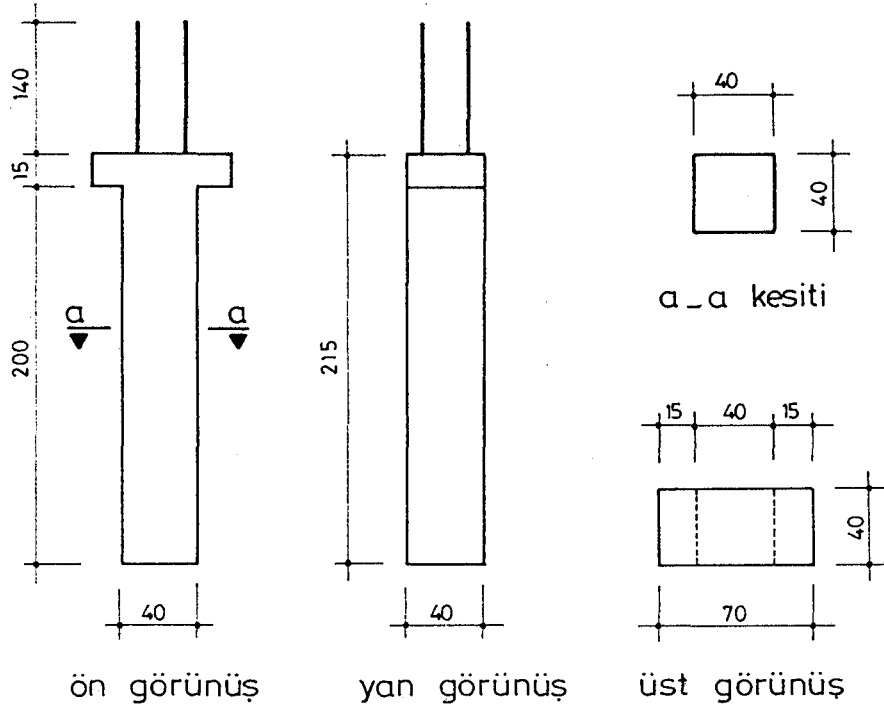
2.1. Deneysel Elemanlarının Birleşim Halleri

2.1.1. Kiriş-kiriş birleşimi "A" deneysel elemanı

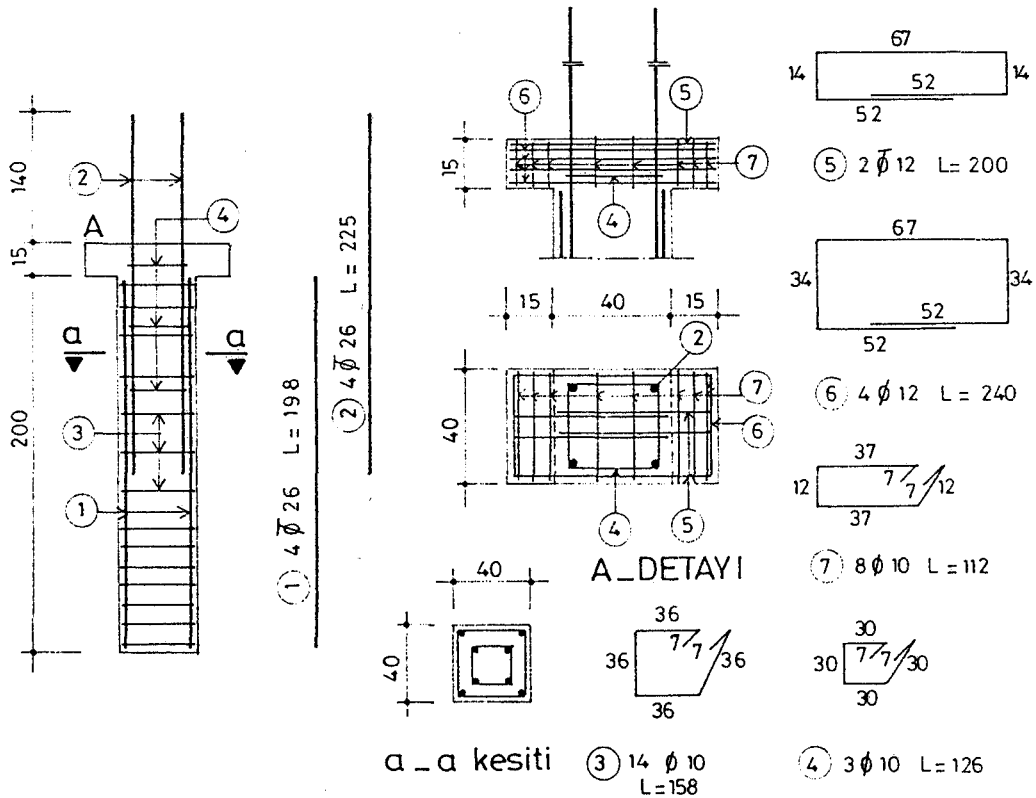


Şekil 2.1 kiriş - kiriş birleşimi deneysel elemanı (A)

"A" birleşimi için Şekil 2.1'de üretimden çıkmış prefabrik elemanların düğüm noktası teşkilinde, deneysel aşaması gösterilmiştir (Bakınız Ek.1, Resim D).

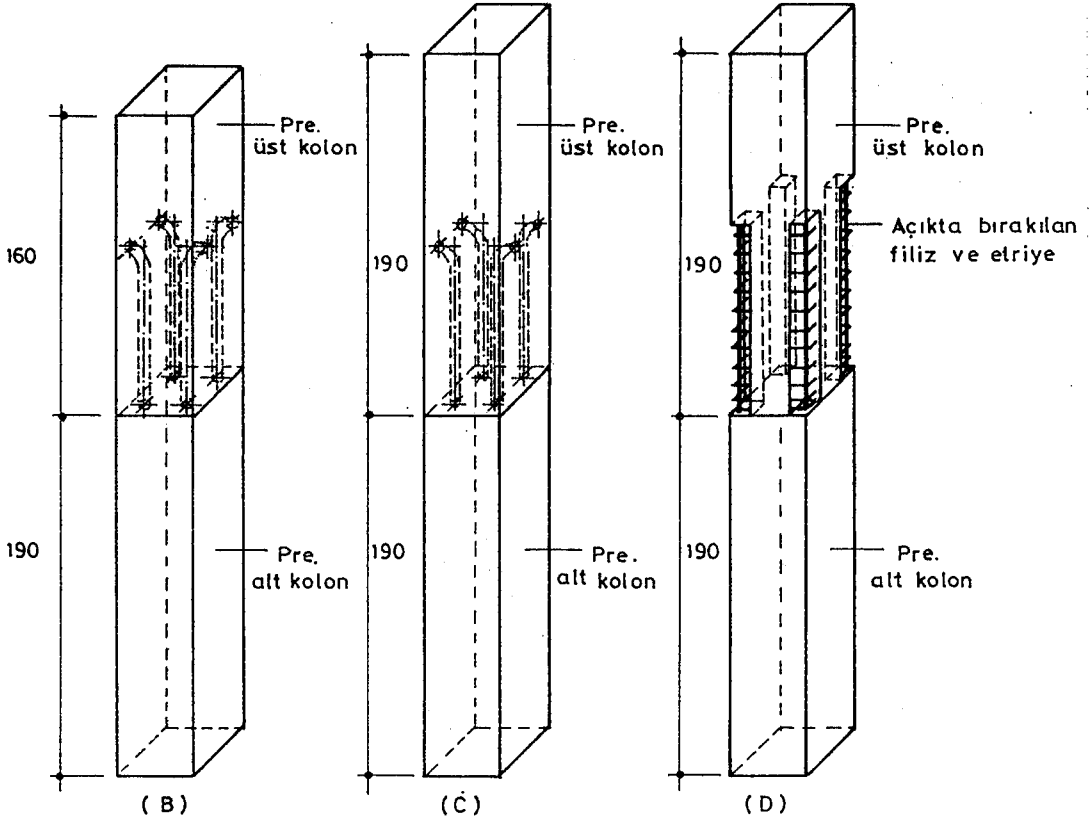


Şekil 2.4 "A" birleşim detayı kolon görünüşleri



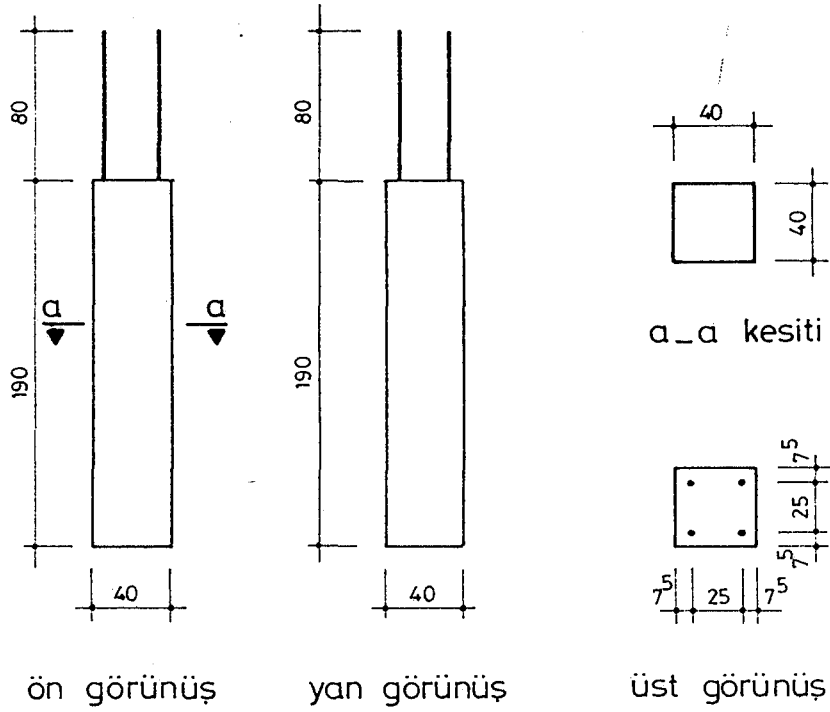
Şekil 2.5 "A" birleşim detayı kolon donatıları

2.1.2. Kolon-kolon birleşimi "B", "C", "D" deney elemanları

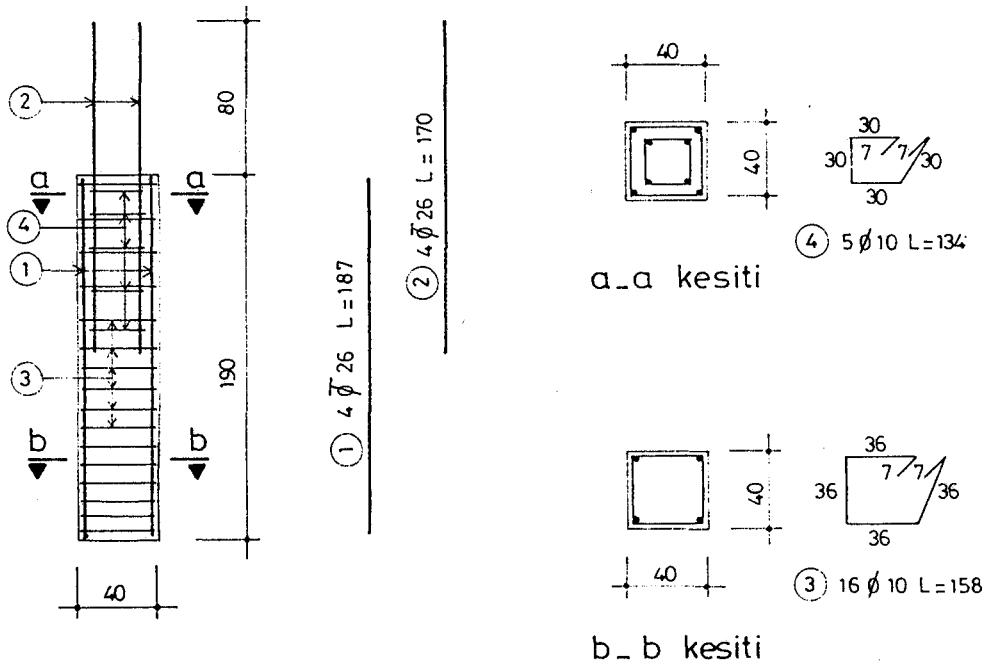


Şekil 2.6 kolon-kolon birleşimi "B", "C", "D" deney elemanları

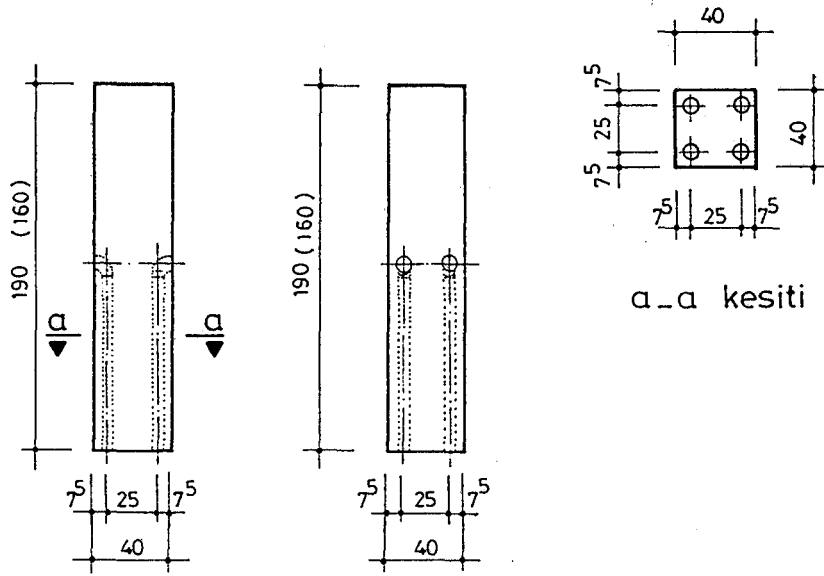
"B", "C", "D" kolon-kolon birleşimi, Şekil 2.2 de gösterilmiştir. "B" ve "C" birleşimde üst kolonda delik bırakılmıştır. C de ise kolon donatılarının ankraj boyu kadar birbirine geçmesi için kolon köşeleri, etriyeler ve donatı açıkta kalacak şekilde boş bırakılmıştır (Bakınız Ek 1, Resim 24, Resim 27).



Şekil 2.7 " B", "C", "D" birleşim detayı alt kolon görünüşleri

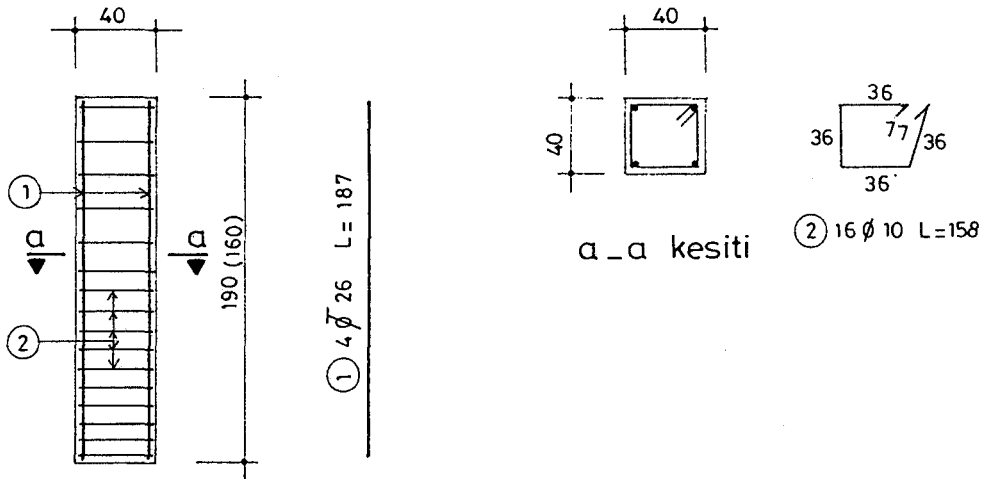


Şekil 2.8 " B", "C", "D" birleşim detayı alt kolon donatıları

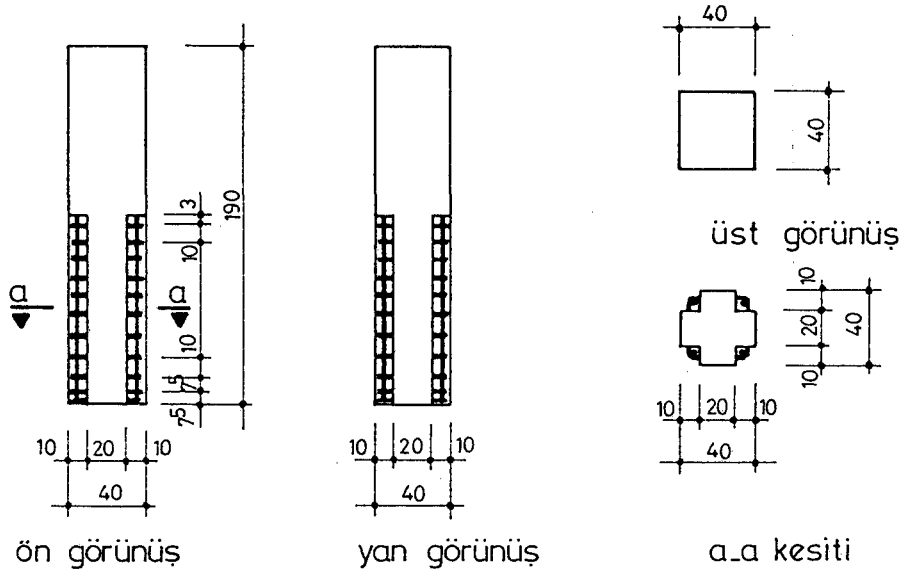


ön görünüş yan görünüş

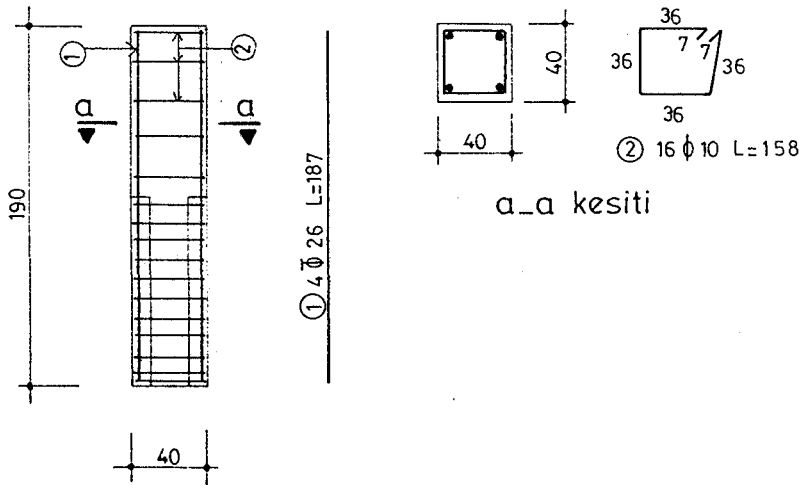
Şekil 2.9 "B" ve "C" birleşimi üst kolon görünüşleri
Parantez içindeki değerler "B" birleşimi içindir



Şekil 2.10 "B" ve "C" birleşimi üst kolon donatıları



Şekil 2.11 "D" birleşimi üst kolon görünüşleri



Şekil 2.12 "D" birleşimi üst kolon donatıları

2.2. Deney Setlerinin Hazırlanması

"A" deney setinin hazırlanması; deney elemanlarının prefabrik üretiminden sonra, kolon sokete yerleştirilmiştir. Daha sonra kirişler, kolon gövdesine oturacak şekilde, kirişlerin diğer uçlarına mesnet teşkil edilerek yerleştirilmiştir (Bakınız Ek 1 Resim 1). Daha sonra pre.kirişte bırakılan kanala, etriyeler yerleştirilmiştir. Bu işlemlerden sonra, alt çekme donatısı yine kirişte bırakılan kanala yerleştirilmiştir. Üste yerleştirilecek çekme donatıları ise yine etriyelerin arasından geçirilerek bağlanmıştır (Bakınız Ek 1, Resim 5). Bu işlemler üç defa tekrarlanarak, üç aynı tip deney seti oluşturulmuştur. Prefabrik elemanların üretim esnasında alınan beton numuneleri ve yerinde dökme beton numuneleri deney esnasında kırılmıştır.

"B" ve "C" deney setlerinin hazırlanması; üretimden çıkan alt kolonlar soketlere yerleştirilir. Daha sonra alt kolon üzerine ince bir beton (2-3 cm) serilip, üst kolon delikleri alt kolon filizine geçecek şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra beton enjekte deliklerinden beton şerbeti doldurulmuştur.

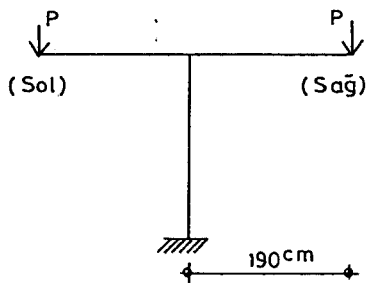
"D" deney setinin hazırlanması; yine alt kolon sokete, yerleştirildikten sonra, üst kolonda açık bırakılan kolon köşelerine alt kolon filizi geçirilerek üst kolon yerleştirilip boş bırakılan köşelere kalıp yapılarak beton dökülmüştür (Bakınız Ek 1, Resim 27).

Hazırlanan deney setleri, beton mukavemetini aldıktan sonra deneye tabi tutulmuşlardır.

2.3. Deney Sonuçları

2.3.1. "A" birleşimi deney sonuçları

Şekildeki yükleme için deney sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.13 "A" birleşimi yükleme hali

Şekil 2.13. "A" birleşimi yükleme hali

Yük bar cinsinden pistonla verilmiştir.

Zati yükten meydana gelen 0.9 tm moment ihmal edilmiştir.

"A" birleşimi, 1. deney sonuçları

SOL OKUMA (mm)	P (BAR)	SAĞ OKUMA (mm)	P (kg)	M (t-cm)	f sol (mm)	f sağ (mm)
370.6	0	359.2	0	0	0	0
368.8	30	356.8	5052	959.9	1.8	2.4
366.0	60	353.0	10104	1919.8	4.6	6.2
362.8	90	349.6	15156	2879.6	7.8	9.6
359.2	120	345.3	20208	3839.5	11.4	13.9

(İlk göçme sağ tarafta oluşmuştur).

"A" birleşimi 2.deney sonuçları

<u>SOL OKUMA</u> (mm)	<u>P</u> (BAR)	<u>SAĞ OKUMA</u> (mm)	<u>P</u> (kg)	<u>M</u> (t-cm)	<u>f sol</u> (mm)	<u>f sağ</u> (mm)
355.3	0	394.5	0	0	0	0
354.0	20	393.5	3368	639.9	1.3	1.0
352.3	40	391.6	6736	1279.8	3.0	2.9
350.1	60	388.9	10104	1919.8	5.2	5.6
348.2	80	386.5	13472	2559.7	7.1	8.0
345.0	100	383.2	16840	3199.7	10.3	11.3
336.5	120	377.0	20208	3839.5	18.8	17.5

(İlk göçme sol tarafta oluşmuştur)

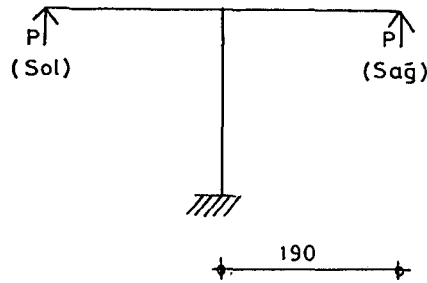
"A" birleşimi 3. deney sonuçları

<u>SOL OKUMA</u> (mm)	<u>P</u> (BAR)	<u>SAĞ OKUMA</u> (mm)	<u>P</u> (kg)	<u>M</u> (t-cm)	<u>f sol</u> (mm)	<u>f sağ</u> (mm)
365.5	0	224.2	0	0	0	0
365.0	20	223.8	3368	639.9	0.5	0.4
363.2	40	222.0	6736	1279.8	2.3	2.2
361.5	60	219.0	10104	1919.8	4.0	5.2
355.8	80	214.5	13472	2559.7	9.7	9.7
351.0	100	209.4	16840	3199.7	14.5	14.8
341.0	120	203.3	20208	3839.5	24.5	20.9

(İlk göçme sol tarafta oluşmuştur)

"A" birleşimi tersinir yük için deney sonuçları

Şekildeki yükleme için deney sonucu aşağıda verilmiştir.

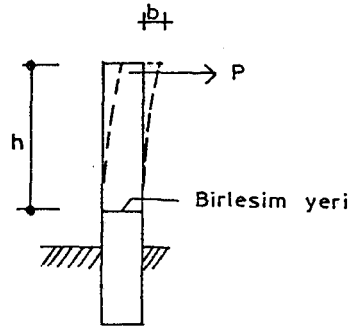


Şekil 2.14 "A" birleşimi tersinir yük hali

SOL OKUMA (mm)	P (BAR)	SAĞ OKUMA (mm)	P (kg)	M (t-cm)	f sol (mm)	f sağ (mm)
522.0	0	545.2	0	0	0	0
520.5	20	543.5	3368	639.9	1.5	1.7
519.1	30	541.2	5052	959.9	2.9	4.0
517.4	40	539.5	6736	1279.8	4.6	5.7
514.3	50	536.9	8420	1599.8	7.7	8.3

2.3.2. "B" birleşeme deney sonuçları

(Kolon-kolon birleşimi deney sonuçları)



Sekil 2.15 kolon deneyleri yükleme hali

Deneyde deplasmanlar birleşim yeri itibariyle ölçülmüştür.

"B" birleşimi 1. deney sonuçları (h=145 cm)

<u>P</u> (BAR)	<u>P</u> (kg)	<u>M</u> (t-cm)	<u>Okuma</u> (mm)	<u>δ</u> (mm)
0	0	0	33.8	0
50	1800	261.0	40.0	6.2
70	2650	384.3	40.5	6.7
90	3400	493.0	41.1	7.3
110	4300	623.5	42.4	8.6
130	5150	746.8	44.7	10.9
150	6000	870.0	46.0	12.2
170	6900	1000.5	49.0	15.2
190	7750	1123.8	54.4	20.6

"B" birleşimi 2. deney sonuçları (h=145 cm)

<u>P</u> (Bar)	<u>P</u> (kg)	<u>M</u> (t-cm)	<u>Okuma</u> (mm)	<u>δ</u> (mm)
0	0	0	83.0	0
50	1800	261.0	84.6	1.6
70	2650	384.3	86.2	3.2
90	3400	493.0	88.7	5.7
110	4300	623.5	92.6	9.6
130	5150	746.8	101.8	18.8
150	6000	870.0	113.5	30.5
170	6900	1000.5	124.3	41.3

2.3.3. "C" birleşimi deney sonuçları (h=175 cm)

<u>P</u> (Bar)	<u>P</u> (kg)	<u>M</u> (t-cm)	<u>Okuma</u> (mm)	<u>δ</u> (mm)
0	0	0	29.1	0
30	1100	192.5	30.0	0.9
50	1800	315.0	32.1	3.0
70	2650	463.8	33.2	4.1
90	3400	595.0	34.1	5.0
110	4300	752.5	35.3	6.2
130	5150	901.3	36.4	7.3
150	6000	1050.0	37.6	8.5
170	6900	1207.5	39.2	10.1
190	7750	1356.3	41.4	12.3
210	8600	1505.0	60.5	31.4

2.3.4. "D" birleşimi deney sonuçları (h=175 cm)

<u>P</u> (BAR)	<u>P</u> (kg)	<u>M</u> (t-cm)	<u>Okuma</u> (mm)	<u>δ</u> (mm)
0	0	0	58.3	0
30	1100	192.5	58.8	0.5
50	1800	315.0	59.6	1.3
70	2650	463.8	60.8	2.5
90	3400	595.0	61.5	3.2
110	4300	752.5	63.1	4.8
130	5150	901.3	65.5	7.2
150	6000	1050.0	67.4	9.1
170	6900	1207.5	73.4	15.1
190	7750	1356.5	85.0	26.7
210	8600	1505.0	91.9	33.6

2.3.5. Beton numuneleri

Prefabrike elemanlar için, beton silindir numune değerleri: (numuneler deney yapım sırasında kırılmıştır)

1. numune 345 kg/cm²
2. numune 349 kg/cm²
3. numune 337 kg/cm²
4. numune 360 kg/cm²
5. numune 335 kg/cm²
6. numune 339 kg/cm²

Ortalama beton numune değeri: 345 kg/cm²

Hesaplarda beton basınç değeri, $f_{cm}=340$ kg/cm² kabul edilmiştir.

"A" birleşimi yerinde dökme beton için, beton silindir numune değerleri ;

Numune No	1. Deney için	2. Deney için	3. Deney için
1	215 kg/cm ²	219 kg/cm ²	212 kg/cm ²
2	207 kg/cm ²	202 kg/cm ²	216 kg/cm ²
3	220 kg/cm ²	215 kg/cm ²	218 kg/cm ²
4	205 kg/cm ²	209 kg/cm ²	210 kg/cm ²
5	204 kg/cm ²	212 kg/cm ²	221 kg/cm ²
6	-	223 kg/cm ²	225 kg/cm ²
	Ort:209 kg/cm ²	Ort:213.8 kg/cm ²	Ort:216.8 kg/cm ²

Her üç deney ortalaması olarak hesaplarda $f_{cm}=210$ kg/cm² alınmıştır.

2.4. Taşıma Gücü Genel Esaslar

2.4.1. Betonarme davranışı [9]

Herhangi bir mekanik problemin çözümünde izlenen yol, üç aşamada özetlenebilir; (a) denge koşullarının sağlanması, (b) uygunluk koşullarının sağlanması ve (c) malzemeler için σ - ϵ ilişkisinin belirlenmesi. İlk iki aşama malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Betonarme problemlerini diğer malzeme problemlerinden değişik kılan, son aşama olan (c) dir. Bu aşamada, betonarmeyi oluşturan çelik ve betonun gerilme birim deformasyon özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Bu belirleme, çelik için oldukça kolay olmasına karşın, beton için karışıktır. Betonun σ - ϵ ilişkisi birçok değişkenden etkilendiğinden tek ve kesin bir σ - ϵ eğrisi önermek zordur. Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğundan, bu dayanımın ihmal edilmesi çok büyük hata getirmeyecektir. Betonarme elemanlarda oluşan çekme gerilmeleri, bu bölgelere yerleştirilen çelik çubuklar ile alınır. Betonarme elemanlarının basınç bölgesindeki gerilme dağılımının, aksenal basınç altında denenen numunelerden elde edilen σ - ϵ eğrisine benzediğini kabul etmek doğru bir yaklaşım olur. Yapılan çok sayıda deney, bu varsayımın doğruluğunu kanıtlamıştır.

Çeliğin σ - ϵ ilişkisi ile, elasto-plastik varsayılabilir. Bu durumda, donatı çeliği akma gerilmesine ulaşınca kadar doğrusal elastik, bu noktadan sonra plastik bir malzeme gibi davranacaktır.

2.4.2. Moment-Eğrilik İlişkisi [9,8]

Moment eğrilik ilişkisi, çelik ve betonun σ - ϵ eğrileri için uygun modeller seçildikten sonra, yazılacak iki denge ve yeterli sayıda uygunluk denkleminde hesaplar. Klasik mekanikte olduğu gibi, eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin, eğilmeden sonra düzlem kaldığı varsayılır. Genellikle betonun çekme dayanımı ihmal edilerek, çekme bölgesindeki tüm

çekme gerilmelerinin donatı tarafından karşılanacağı varsayılır. Çelik için elasto-plastik bir davranış kabulunun uygun olacağını belirtmiştik. Bu durumda, $\sigma_{si} = \epsilon_{si} \times E_s \leq f_y$ olacaktır.

Aşağıda moment eğrilik ilişkisini oluşturan M_i ve K_i değerlerinin hesabı için izlenecek yol özetlenmiştir. Önerilen işlemler, herhangi bir geometriye sahip kesitler için geçerlidir. İşlem basamaklarının izlenmesini ve problemi somutlaştırmak için Şekil 2.16(a) daki kesitin referans alınması yararlı olacaktır.

İzlenecek yol;

a. En dış lifteki beton birim kısalması, ϵ_{ci} için bir değer seçilir. Bu değer, sıfır ile ϵ_{cu} arasında herhangi bir değer olabilir. Ancak sistematik bir yaklaşım için, küçük bir değerle, örneğin 0.00025, başlamak uygun olacaktır.

b. Tarafsız eksen derinliği c için bir varsayım yapılır. Bu varsayımla, Şekil 2.16 (b) de gösterilen birim deformasyon dağılımının geometrisi tam olarak belirlenmiş olur.

c. Şekil 2.16(b) den, bilinen ϵ_{ci} ve c için, çelik birim deformasyonları bulunur, ϵ_{si} .

d. Bulunan ϵ_{si} değerlerinden, her donatı düzeyindeki çelik gerilmesi hesaplanır. Çekme gerilmeleri (-) alınmalıdır, $\sigma_{si} = \epsilon_{si} \times E_s \leq f_y$.

e. Her düzeyde bulunan çelik gerilmeleri, o düzeydeki donatı alanı ile çarpılarak donatı kuvvetleri bulunur,

$$F_{si} = A_{si} \cdot \sigma_{si}$$

f. Beton basınç bileşkesi F_c hesaplanır. F_c nin hesabı için, seçilen ϵ_{ci} ile Çizelge 2.1 yararlanılır. Şekil 2.16(a) da gösterilen taralı alan, beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımıdır. Bu gerilme, c derinliği ile sınırlanan A_{cc} alanı üzerine etkimektedir.

g. Bütün iç kuvvetler hesaplanmış olduğundan, ilk denge denkleminin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

$$\Sigma F = F_c + \Sigma F_{si} = ?$$

h. $\Sigma F \neq N$ ise, (b) ye gidilerek c için yeni bir kabul yapılır. Eğer $\Sigma F - N = 0$ ise devam edilir.

i. Kesitin ağırlık merkezi etrafında iç kuvvetlerin momenti alınır. $M_i = F_c (x_p - \bar{x}) + \Sigma F_{si} \cdot x_i$ saat yönündeki momentler (-) kabul edilmelidir. \bar{x} , A_{cc} alanı üzerinde etkiyen gerilme dağılımının oluşturduğu hacmin, ağırlık merkezinin dış life uzaklığıdır.

j. Eğrilik hesaplanır, $K_i = \frac{\epsilon_{ci}}{c}$. Böylece, (i) ve (j) de hesaplanan M_i ve K_i değerleri ile, M-K eğrisinde bir noktada bulunmuş olur.

k. (a) ya gidilerek ϵ_{ci} için yeni bir seçim yapılır.

Örnek çözüm 2.5.1 de yapılmıştır.

2.5. Deneylerin Analitik Değerlendirilmesi

2.5.1. Yerinde dökme betonda, moment-eğrilik ilişkisi (üstte çekme)

Malzeme özellikleri, $f_{cm}=210 \text{ kg/cm}^2$, $f_{yk}=4200 \text{ kg/cm}^2$ ve kesit özellikleri Şekil 2.16'da belirlenen kesitin, moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesi.

Çözüm: Moment eğrilik ilişkisini belirleyen grafiğin çizilebilmesi için, yeterli sayıda noktanın bulunması ve bu noktaların birleştirilmesi ile eğriyi elde edeceğiz. Noktaların koordinatları, M_i ve K_i ile belirlenmiştir. Burada, örnek olarak sadece bir noktanın bulunması gösterilecektir.

$\epsilon_{ci}=0.0015$ olsun (çekme ve uzama (-) alınacak)

Çizelge 2.1 den, $\epsilon_{ci}=0.0015$ için, $\beta=0.722$, $\alpha=0.779$

$c=17.3 \text{ cm}$ alalım.

Şekil 2.16 dan $\epsilon_{s1} = \frac{43-17.3}{17.3} \times 0.0015 = 2.23 \cdot 10^{-3}$

$$\epsilon_{s2} = \frac{38-17.3}{17.3} \times 0.0015 = 1.79 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{17.3-11}{17.3} \times 0.0015 = 0.55 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_{si} = \epsilon_{si} \cdot E_{s1} \rightarrow \sigma_{s1} = 2.23 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^3 = 4.46 > 4.2$$

$$\sigma_{s1} = 4.2 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{s2} = 1.79 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^3 = 3.59 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{s3} = 0.55 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^3 = 1.09 \text{ t/cm}^2$$

($\epsilon_{si} \geq \epsilon_{sy} = 0.0021$ olması durumunda, $\sigma_{si} = 4.2 \text{ t/cm}^2$ alınacaktır).

$$F_{si} = \sigma_{si} \cdot A_{si}$$

$$F_{s1} = 4.20 \times 13.16 = 55.27 \text{ ton}$$

$$F_{s2} = 3.59 \times 10.62 = 38.12 \text{ ton}$$

$$F_{s3} = 1.09 \times 10.62 = 11.60 \text{ ton}$$

$$F_c = \alpha \times \beta \times F_c(C) \times b = 0.779 \times 0.722 \times 0.21 \times 17.3 \times 40 = 81.73 \text{ ton}$$

$$\Sigma F = 81.73 + 11.60 - 38.12 - 55.27 = -0.06 \approx 0$$

Denge denklemi yaklaşık olarak sıfır olmasaydı, C için yeni kabuller yapılarak sonuca varılacaktır.

Ağırlık merkezine göre iç kuvvetlerin momenti alınarak M_i değerleri bulunur.

$$M_4 = 55.27 \times 19.67 + 38.12 \times 14.67 + 11.60 \times 12.33 + 81.73 \\ (23.33 - B \times 17.3 / 2)$$

$$M_4 = 3185.74 \text{ t cm}$$

$$K_i = \frac{\epsilon_{ci}}{c} = \frac{0.0015}{17.3} = 8.67 \times 10^{-5} \text{ rad/cm}$$

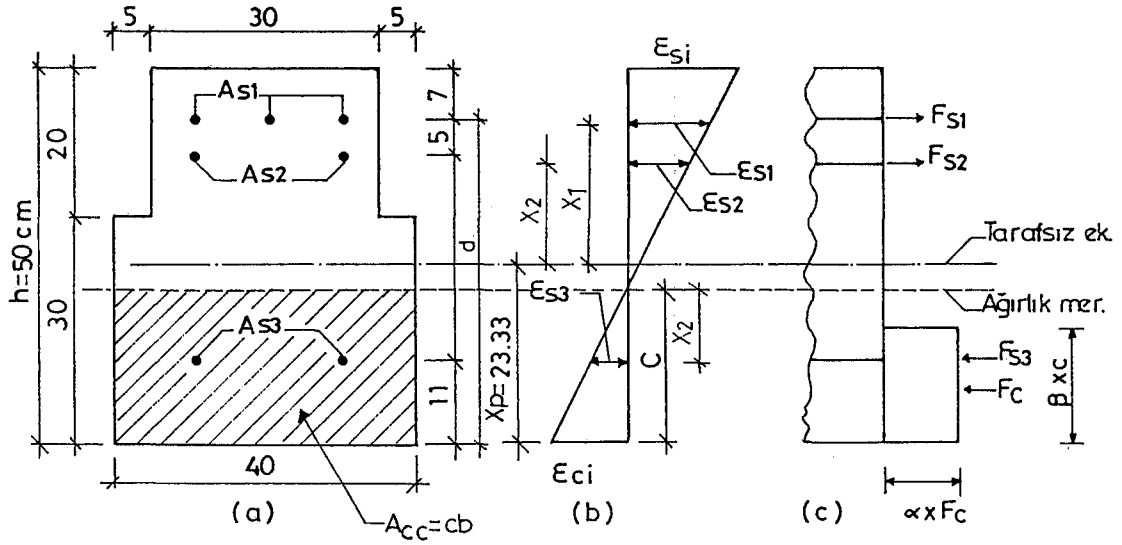
4. nokta, $K_4 = 8.67 \times 10^{-3} \text{ rad/m}$ ve $M = 31.86 \text{ tm}$ dir.

Bu şekilde hesaplanan noktalardan elde edilen değerler, aşağıda Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1.

$\epsilon_c \times 10^{-3}$	C (cm)	N (ton)	M (t-m)	$K \times 10^{-3}$ (rad/m)
0.25	16.5	0	6.27	1.52
0.50	16.5	0	12.25	3.03
1.00	16.9	0	20.10	5.92
1.50	17.3	0	31.86	8.67
2.00	15.7	0	34.32	12.74
2.50	14.3	0	34.42	17.49
3.00	13.8	0	34.56	21.82
3.50	13.5	0	34.35	26.02
5.00	13.0	0	34.34	30.77

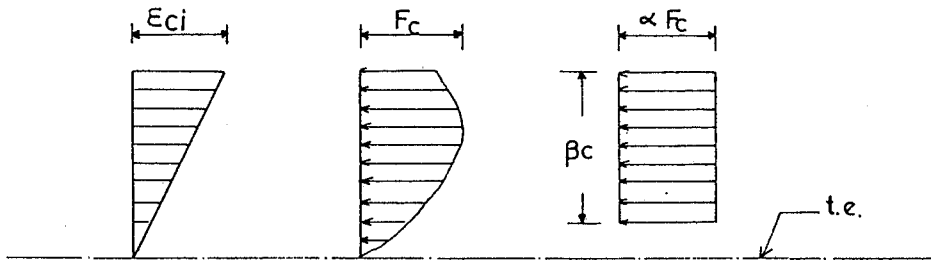
Bu değerlerle elde edilen M-K eğrisi Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



$$\begin{aligned} A_{s1} &= 13,16 \text{ cm}^2 \\ A_{s2} &= 10,62 \text{ cm}^2 \\ A_{s3} &= 10,62 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

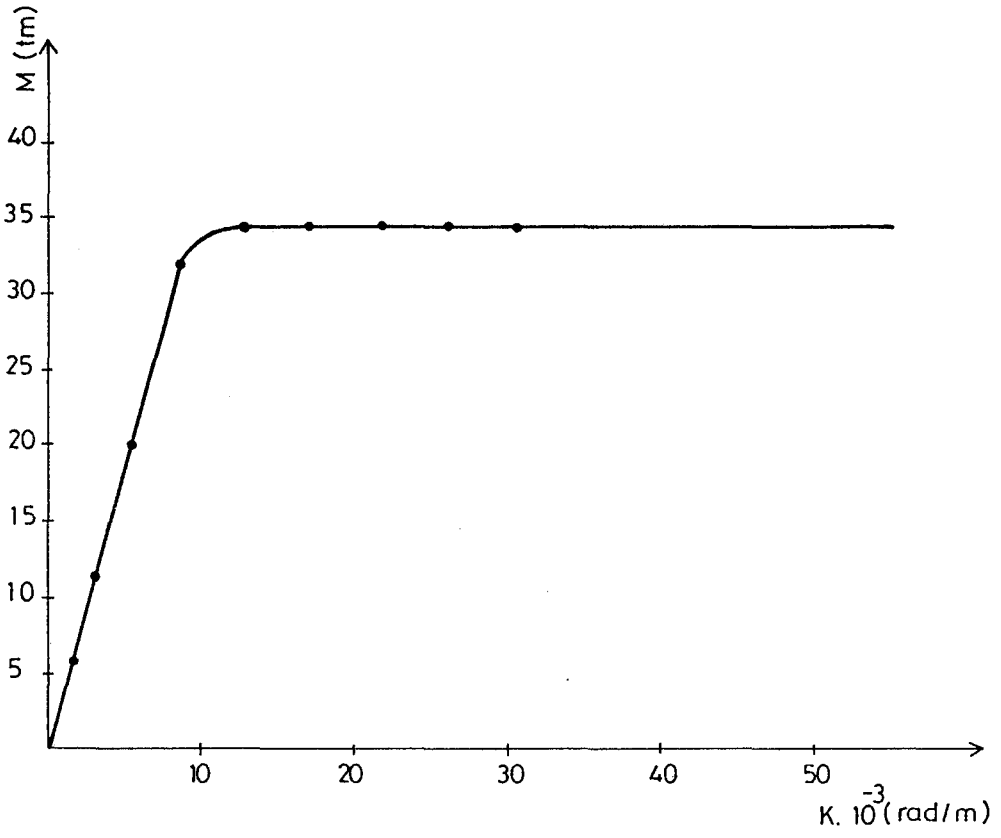
Şekil 2.16 yerinde dökme kiriş kesit özellikleri (üstte çekme)

Eşdeğer dikdörtgen dağılımın özellikleri[9]



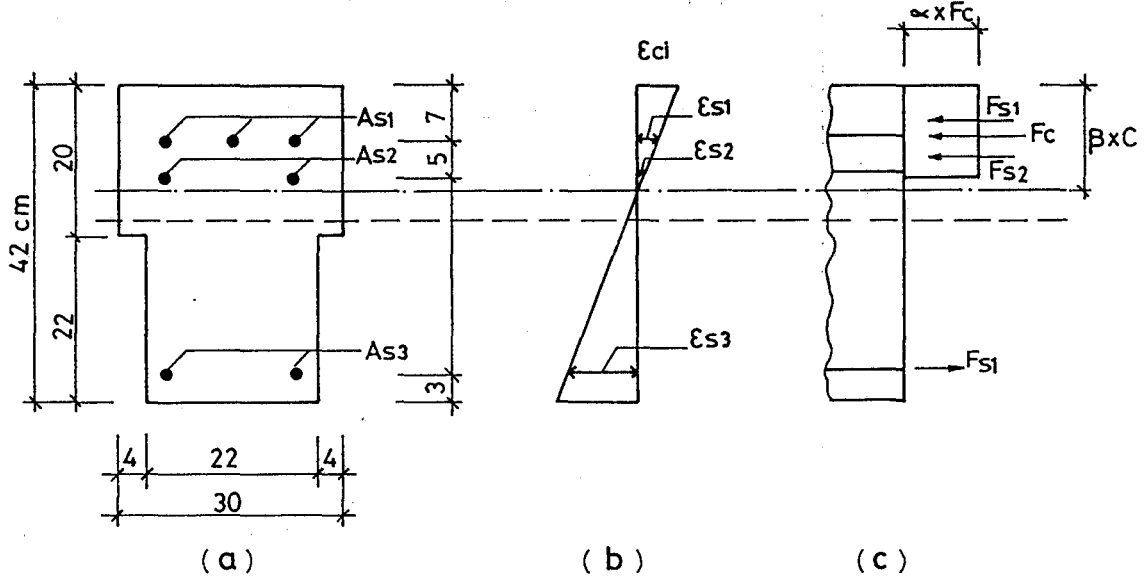
E_{ci}	0.00025	0.0005	0.0010	0.0015	0.0020	0.0025	0.0030	0.0035	0.0040
β	0.674	0.682	0.700	0.722	0.750	0.781	0.820	0.845	0.874
α	0.178	0.336	0.595	0.779	0.889	0.931	0.930	0.920	0.910

Çizelge 2.1 eşdeğer dikdörtgen dağılımın özellikleri



Şekil 2.17 yerinde dökme betonda M-K eğrisi

2.5.2. Yerinde dökme betonda, moment-eğrilik ilişkisi
(altta çekme)



$$\begin{aligned} A_{s1} &= 13.16 \text{ cm}^2 \\ A_{s2} &= 10.26 \text{ cm}^2 \\ A_{s3} &= 10.26 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Şekil 2.18 yerinde dökme kiriş kesit özellikleri (altta çekme)

Çizelge 2.1 deki eşdeğer dikdörtgen dağılımın özellikleri geçerlidir.

Malzeme özellikleri 2.5.1 de, kesit özellikleri Şekil 2.18 de belirlenen kesitin moment eğrilik ilişkisinin belirlenmesi.

Çözüm: Yine örnek olarak bir noktanın bulunması, diğer nokta değerleri Tablo 2.2 de verilmiştir.

$$\epsilon_i = 0.0010 \text{ için}$$

$$\text{Çizelge 2.1 den, } \epsilon_{ci} = 0.0010 \text{ için, } \beta = 0.700, \alpha = 0.595$$

$$C = 12.60 \text{ cm}$$

$$\text{Şekil 2.18 den } \epsilon_{s1} = \frac{12.60 - 7.0}{12.60} \times 0.0010 = 0.44 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{12.60 - 12.0}{12.60} \times 0.0010 = 0.05 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{29 - 12.60}{12.60} \times 0.0010 = 2.09 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{si} = \epsilon_{si} \cdot \epsilon_s \rightarrow \sigma_{s1} = 0.44 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 = 0.89 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{s2} = 0.05 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 = 0.09 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{s3} = 2.09 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 = 4.19 \text{ t/cm}^2$$

$$F_{si} = \sigma_{si} \times A_{si} \rightarrow F_{s1} = 0.89 \times 13.16 = 11.70 \text{ ton}$$

$$F_{s2} = 0.09 \times 10.62 = 1.01 \text{ ton}$$

$$F_{s3} = 4.19 \times 10.62 = 44.50 \text{ ton}$$

$$F_c = \alpha \times \beta \times F_c \times (C) \times b = 0.595 \times 0.700 \times 0.21 \times 12.60 \times 30 = 33.06 \text{ ton}$$

$$\Sigma F = 33.06 + 11.70 - 1.01 - 44.50 = -0.75 \approx 0$$

$$M = 44.50 \times 19.62 + 1.01 \times 7.38 + 11.70 \times 12.38 + 33.06$$

$$(19.33 - 0.7 \times 12.6/2)$$

$$M = 1520.30 \text{ tcm}$$

$$K = \frac{\epsilon_{ci}}{C} = \frac{0.001}{12.60} = 7.94 \times 10^{-5} \text{ rad/cm}$$

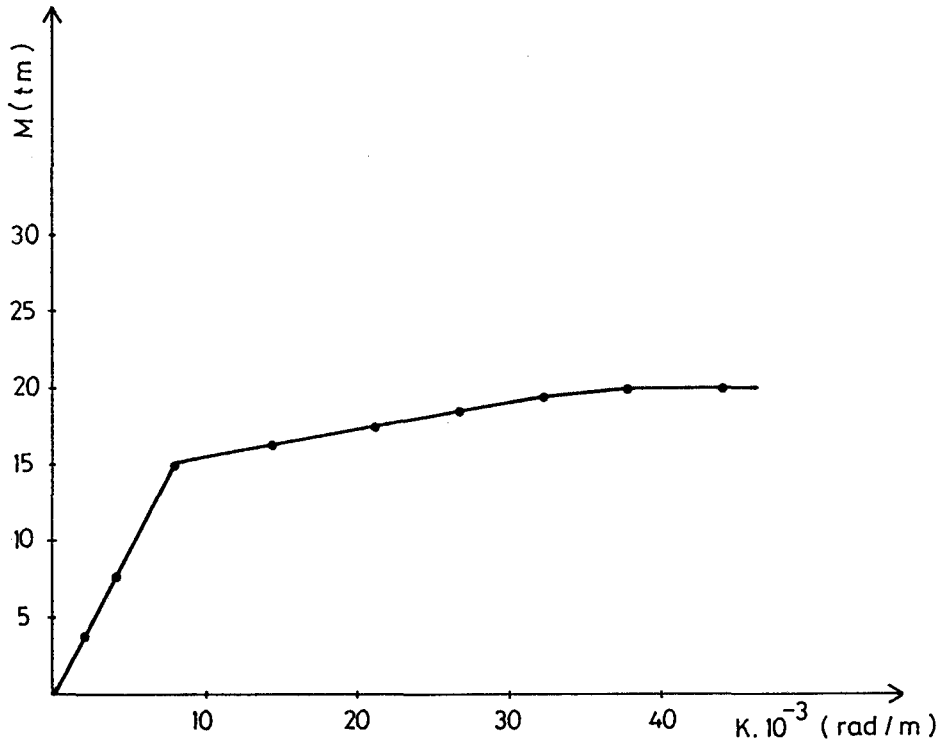
$$3. \text{ nokta, } K_3 = 7.94 \times 10^{-3} \text{ rad/m ve } M_3 = 15.20 \text{ tm dir.}$$

Diğer noktalar için, değerler tablo 2.2 de verilmiştir.

Tablo 2.2.

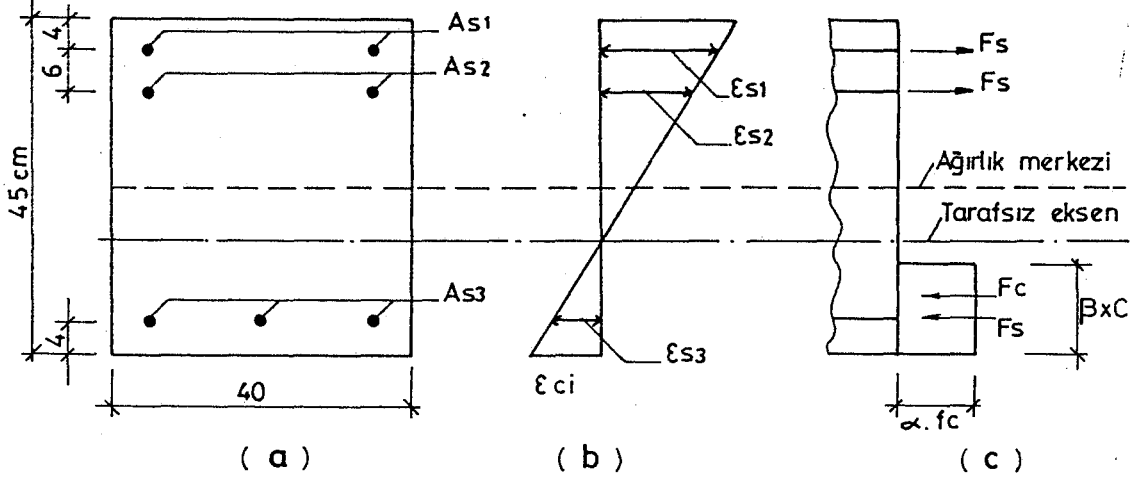
$\epsilon_c \times 10^{-3}$	C (cm)	N (ton)	M (t-m)	$K \times 10^{-3}$ (rad/m)
0.25	12.0	0	3.99	2.08
0.50	12.1	0	7.99	4.13
1.00	12.6	0	15.20	7.94
1.50	10.4	0	16.47	14.42
2.00	9.6	0	17.66	20.83
2.50	9.4	0	18.68	26.60
3.00	9.3	0	19.45	32.43
3.50	9.2	0	20.13	38.04
4.00	9.15	0	20.80	43.72

Bu değerlerle elde edilen, M-K eğrisi Şekil 2.19 de gösterilmiştir.



Şekil 2.19 yerinde dökme betonda M-K eğrisi (altta çekme)

2.5.3. Prefabrik kiriş kesitinin moment-eğrilik ilişkisi
(üstte çekme)



$$\begin{aligned} A_{s1} &= 10.62 \text{ cm}^2 \\ A_{s2} &= 10.62 \text{ cm}^2 \\ A_{s3} &= 9.42 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Şekil 2.20 prefabrik kiriş kesit özellikleri

Malzemesi, $f_{cm} = 340 \text{ kg/cm}^2$, $f_{yk} = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ve kesit özellikleri Şekil 2.20'de belirlenen kesitin moment-eğrilik ilişkisi

Malzemesi; $f_{cm} = 340 \text{ kg/cm}^2$, $f_{yk} = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ve kesit özellikleri Şekil 2.20 de belirlenen kesitin moment-eğrilik ilişkisi

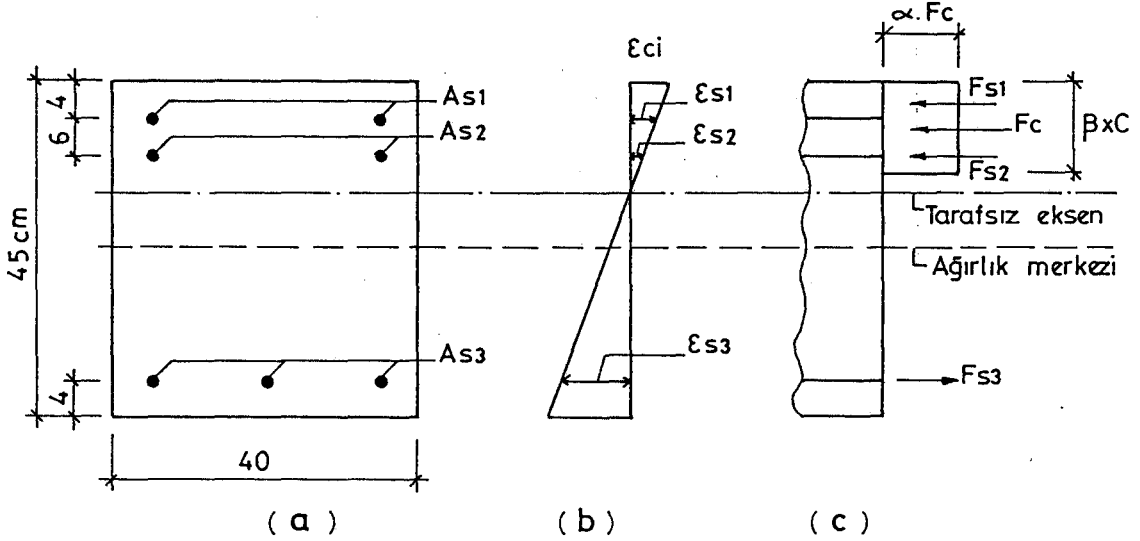
Çözüm: Daha önceki sistematik çözümler geçerlidir. Eğrinin nokta değerleri aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Tablo 2.3.

$\epsilon_c \cdot 10^{-3}$	C (cm)	N (ton)	K (t-m)	$K \cdot 10^{-3}$ (rad/m)
0.25	12.0	0	7.75	2.08
0.50	12.3	0	15.23	4.07
1.00	12.4	0	28.21	8.06
1.50	9.5	0	30.71	15.79
2.00	7.8	0	31.07	25.64
2.50	7.0	0	31.24	35.71
3.00	6.5	0	31.22	46.15
3.50	6.3	0	31.34	56.00

Tablo 2.3 deki değerlerle elde edilen, M-K eğrisi Şekil 2.22'de gösterilmiştir.

2.5.4. Prefabrik kiriş kesitinin moment-eğrilik ilişkisi (altta çekme)



$$\begin{aligned} As1 &= 10.62 \text{ cm}^2 \\ As2 &= 10.62 \text{ cm}^2 \\ As3 &= 9.42 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Şekil 2.21 Prefabrik kiriş kesit özellikleri (altta çekme)

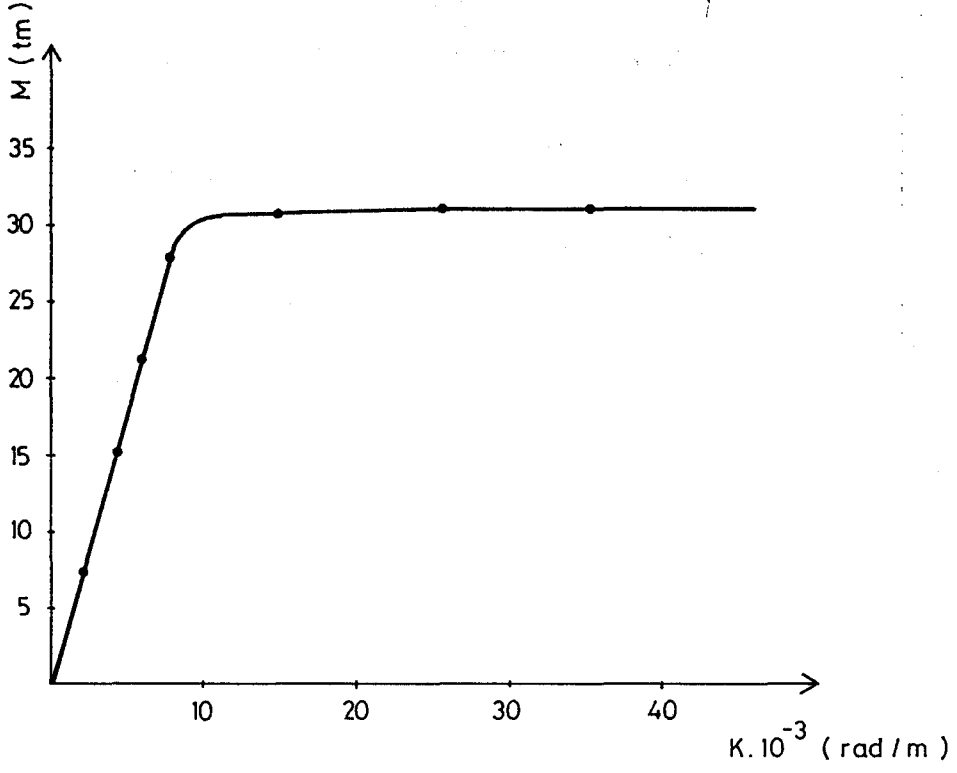
Malzeme özellikleri 2.5.3 de, kesit özellikleri Şekil 2.21 de belirlenen kesitin moment-eğrilik ilişkisi

Çözüm: Daha önceki sistematik çözümler geçerlidir, eğrinin nokta değerleri aşağıda Tablo halinde verilmiştir.

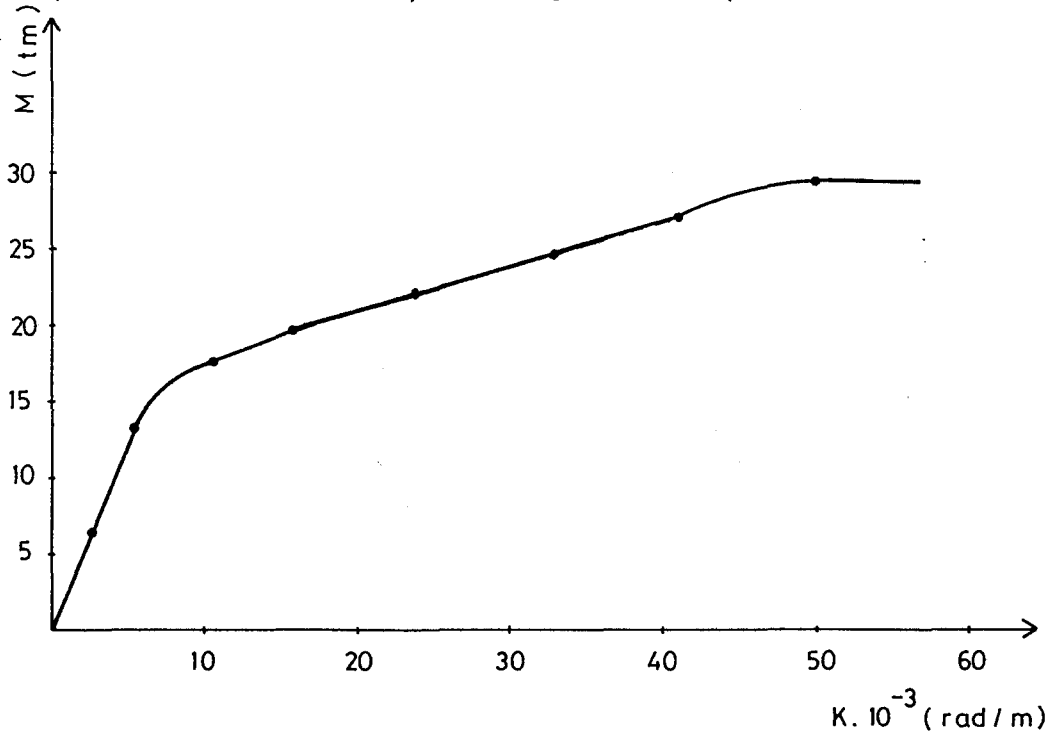
Tablo 2.4.

$\epsilon_c \times 10^{-3}$	C (cm)	N (ton)	K (t-m)	$K \times 10^{-3}$ (rad/m)
0.25	9.0	0	6.57	2.78
0.50	9.0	0	12.89	5.55
1.00	7.0	0	18.09	14.30
1.50	6.2	0	21.46	24.20
2.00	6.0	0	24.50	33.30
2.50	6.0	0	26.97	41.70
3.00	6.0	0	29.02	50.00
3.50	5.8	0	29.45	60.30

Tablo 2.4 deki değerle, elde edilen M-K eğrisi, Şekil 2.23 de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 prefabrik kiriş M-K eğrisi (stte ekme)



Şekil 2.23 prefabrik kiriş M-K eğrisi (altta ekme)

2.5.5. Yerinde dökme betonda, kritik kesitin hesap taşıma gücü

Kritik kesitin, hesap taşıma gücü (üstte çekme)

$$f_{cd} = 210/1.5 = 140 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yd} = 4200/1.15 = 3650 \text{ kg/cm}^2$$

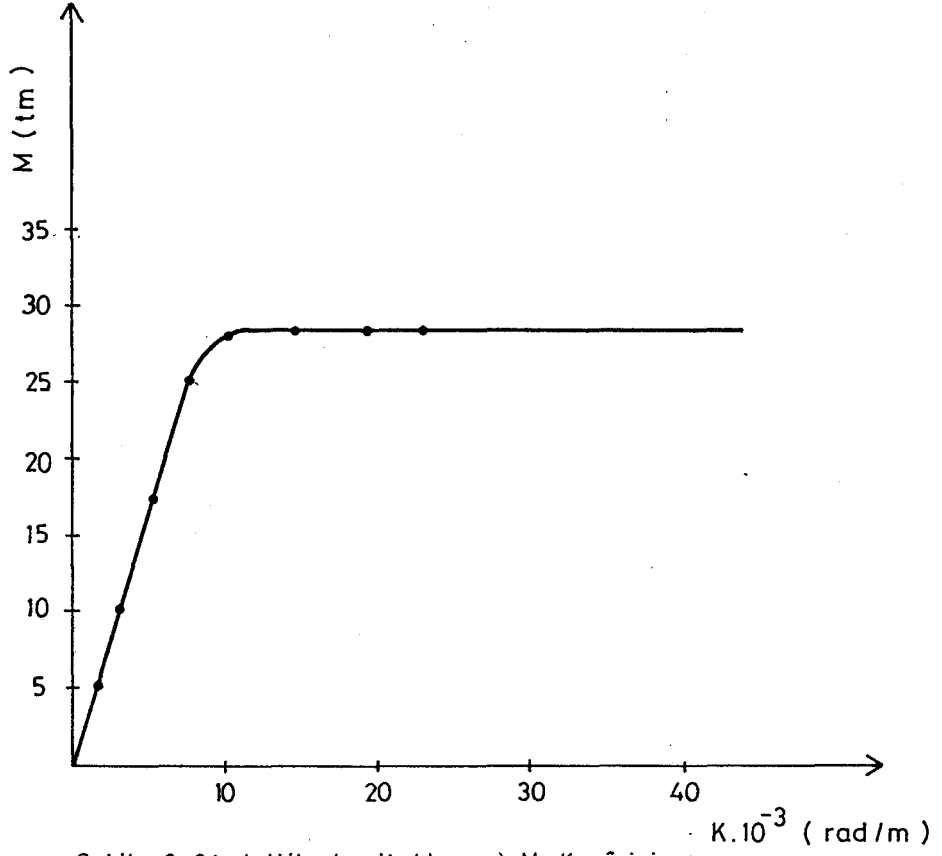
Malzeme özellikleri yukarıda ve kesit özellikleri Şekil 2.16 da belirlenen kesitin moment eğrilik ilişkisi

Çözüm: Yine önceki çözümlere benzer hesap yapılmıştır. $\sigma_{si} > 3.65 \text{ t/cm}^2$ olması halinde $\sigma_{si} = 3.65 \text{ t/cm}^2$ alınacaktır. Nokta değerleri, aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Tablo 2.5.

$\epsilon_c \times 10^{-3}$	C (cm)	N (ton)	K (t-m)	$K \times 10^{-3}$ (rad/m)
0.25	18.1	0	4.99	1.38
0.50	18.4	0	9.67	2.73
1.00	19.5	0	17.46	5.13
1.50	19.8	0	25.23	7.58
2.00	18.6	0	28.55	10.31
2.50	16.7	0	28.72	14.97
3.00	15.7	0	28.73	19.11
3.50	15.1	0	28.70	23.18

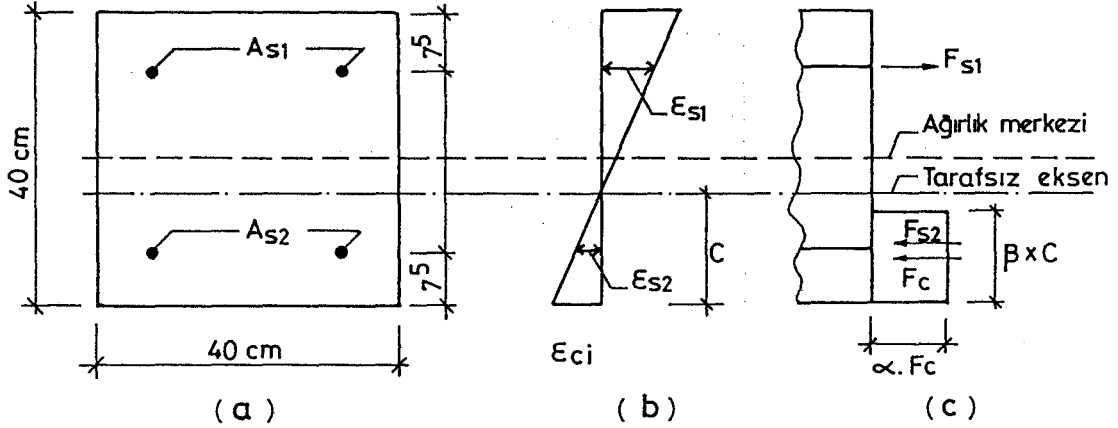
Tablo 2.5 teki değerlerle elde edilen moment-eğrilik ilişkisi, Şekil 2.24 te gösterilmiştir.



Şekil 2.24 kritik kesit (hesap) M-K eğrisi

Kesitin hesap taşıma gücü : 29.72 tm.

2.5.6. "B", "C", "D" birleşimde moment eğrilik ilişkisi



$$A_{s1} = 10.62 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = 10.62 \text{ cm}^2$$

$$N = 0$$

Şekil 2.25 Kolon birleşim noktasında kesit özellikleri

Malzeme özellikleri 2.5.1 de, kesit özellikleri Şekil 2.25 te belirlenen kolon kesitinin moment eğrilik ilişkisinin belirlenmesi.

Çözüm: Yine örnek olarak bir noktanın belirlenmesi. Diğer nokta değerleri ise tablo halinde verilmiştir.

$\epsilon_{ci} = 0.00025$ için Çizelge 2.1 den, $\beta = 0.674$, $\alpha = 0.178$, $C = 10 \text{ cm}$

$$\text{Şekil 2.25 ten } \epsilon_{s1} = \frac{32.5 - 10}{10} \times 0.00025 = 0.29 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{10 - 7.5}{10} \times 0.00025 = 0.13 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{si} = \epsilon_{si} \times E_s$$

$$\sigma_{s1} = 0.29 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 = 1.13 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_{s2} = 0.13 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3 = 0.13 \text{ t/cm}^2$$

$$F_{si} = \sigma_{si} \times A_{si}$$

$$F_{s1} = 1.13 \times 10.26 = 11.95 \text{ ton}$$

$$F_{s2} = 1.33 \times 10.26 = 1.33 \text{ ton}$$

$$F_c = \alpha \times \beta \times f_c \times (C) \times b = 0.674 \times 0.178 \times 0.21 \times 10 \times 40 = 10.08$$

$$\Sigma F = 10.08 + 1.33 - 11.95 = -0.54 \approx 0$$

$$M=11.95 \times 12.5 + 1.33 \times 12.5 + 10.08(20 - 0.674 \times 10/2)$$

$$M=333.63 \text{ tm}$$

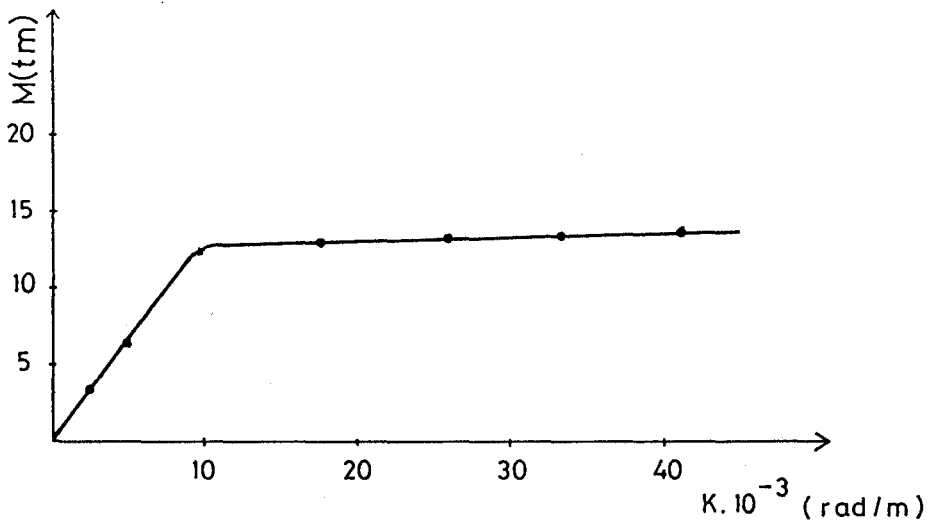
$$K = \frac{\epsilon_c i}{c} = \frac{0.00025}{10} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ rad/cm}$$

$$1. \text{ nokta, } K_1 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ rad/m, } M_1 = 3.34 \text{ tm}$$

Tablo 2.6.

$\epsilon_c \times 10^{-3}$	C (cm)	N (ton)	M (tm)	$K \times 10^{-3}$ (rad/m)
0.25	10.0	0	3.34	2.50
0.50	10.3	0	6.49	4.88
1.00	11.0	0	12.63	9.09
1.50	8.6	0	12.94	17.44
2.00	7.8	0	13.16	25.81
2.50	7.5	0	13.40	33.56
3.00	7.3	0	13.75	41.09
3.50	7.3	0	13.89	47.94

Çizelge 2.6 daki değerlerle elde edilen M-K eğrisi Şekil 2.26'da gösterilmiştir.



Şekil 2.26 kolon birleşimi M-K eğrisi

2.5.7. Kiriş-kiriş birleşimi için kayma donatısı hesabı ve birleşimin davranışı hakkında yorum

a) Kesme kuvveti değerine göre

Düğüm noktasına moment aktarımında, prefabrik kiriş ile yerinde dökme betonun birlikte çalışabilmesi için kayma donatısı hesabı;

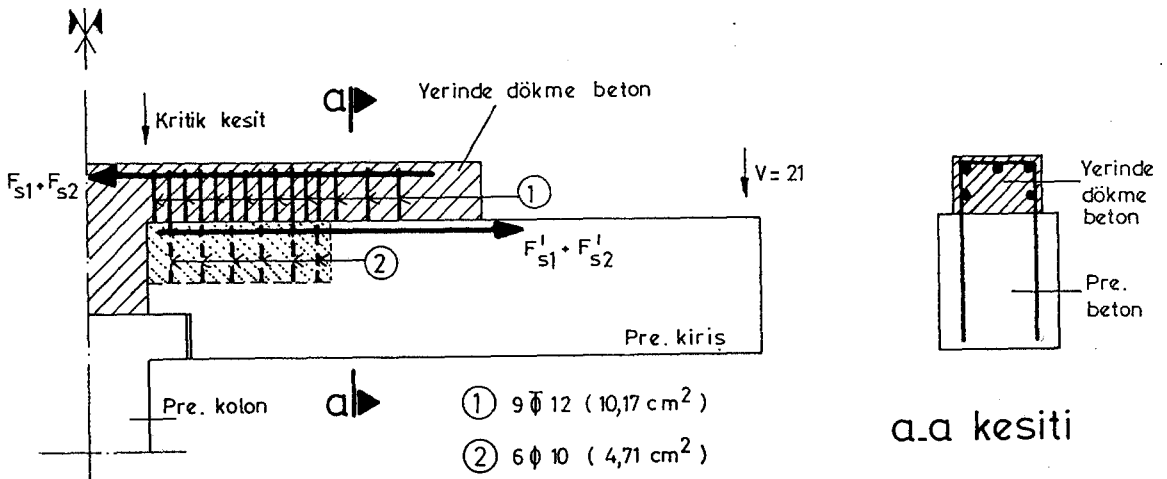
Çözüm; prefabrik beton ile şantiye (yerinde dökme) betonun tam kaynaşmayacağı düşüncesi ile, betonun alacağı kayma kuvveti hesaba alınmamıştır. "U" kesitteki beton ise ihmal edilmiştir. (Bakınız Ek 1, Resim.4).

Kayma gerilmesinin tamamının etriyeler tarafından alınacağı düşüncesi ile [11],

$$S = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywk} \cdot d}{V} \quad \text{Etriye aralığı hesaplanır.}$$

$$S = \frac{1.13 \times 2 \times 4200 \times 43}{21000} = 19.4 \text{ cm}$$

Hesaba göre yerleştirilmesi gereken etriye BÇ(III) 12/19 cm. Bu değerlere bağlı kalınmayıp, birleşim bölgesini sarmak amacıyla Şekil 2.27 deki etriyeler yerleştirilmiştir.



Şekil 2.27 Sonradan dökme betonda etriye tasarımı

b) Kayma donatısı hesabının, kiriş içindeki çekme kuvvetlerine bağlı yapılabilmesi;

Çözüme geçmeden önce, birleşimin davranışı hakkında yorum getirilmesi uygun olacaktır. Düğüm noktasında alınması istenen momentler (alt ve üst moment) için prefabrik kirişin mesnet bölgesinde, geleneksel çözümlerde olduğu gibi hesap yapılarak donatı yerleştirilir [1]. Prefabrik kiriş kesitinde üste yerleştirilecek donatı kesit içinde, alta yerleştirilecek donatı ise kanal içinde filiz bırakılmak suretiyle konmuştur. Bütün mesele bu donatıların betonarme teşkili ile düğüm noktasına dolayısıyla karşı kirişe ankrajının sağlanmasıdır. Düğüm noktasında guseden dolayı zayıflayan kiriş kesitini büyütme amacı ile bu bölgede kiriş üzerinde, üretimde etriyeler bırakılmıştır (Bakınız Ek 1, Resim 3). Düğüm noktasında alınması istenen moment için yükseltilmiş kritik kesitte (Bakınız Ek 1, Resim 21), şantiye malzemeleriyle donatı hesabı yapılmalıdır. Yükseltilmiş kesitte hesaptan çıkan donatı da prefabrike kirişte bırakılan ve yerinde sarılan etriyeler arasına yerleştirilmelidir (Bakınız Ek 1, Resim 8 ve Resim 10). 2.5.7(a) da yaptığımız kabullerle, Şekil 2.27 de kirişin yüklenmesi halindeki iç kuvvetler görülmektedir. İşte kayma donatıları bu kuvvetleri birbirine aktaracak şekilde dizayn edilmelidir.

Çözüm;

Kayma kuvvetlerinin tamamının etriyeler tarafından alınacağı kabulü ile hesabı kama hesabına benzetmek te mümkün olabilir.

Şekil 2.16 dan üstteki çekme kuvveti,

$$F_{s1} + F_{s2} = (A_{s1} + A_{s2}) \times f_{yk} = (13.16 + 10.62) \times 4200 = 99876 \text{ kg}$$

Bu kuvvet prefabrik kirişe etriyeler tarafından aktarılacaktır.

Pre. kirişte bırakılan etriyelerin alacağı kuvvet,

$$P = A_s \times f_{yk}$$

$$P_1 = 1.13 \times 9 \times 2 \times 4200 = 85428 \text{ kg}$$

"U" kesite yerleştirilen etriyelerin alacağı kuvvet,

$$P_2 = 0.735 \times 6 \times 2 \times 2200 = 20724 \text{ kg}$$

$$P_1 + P_2 \geq F_{s1} + F_{s2} \text{ (kabuller gereğince)}$$

$$P_1 + P_2 = 85428 + 20724 = 106152 \text{ kg}$$

$$106152 \text{ kg} > 99876 \text{ kg} \text{ uygundur.}$$

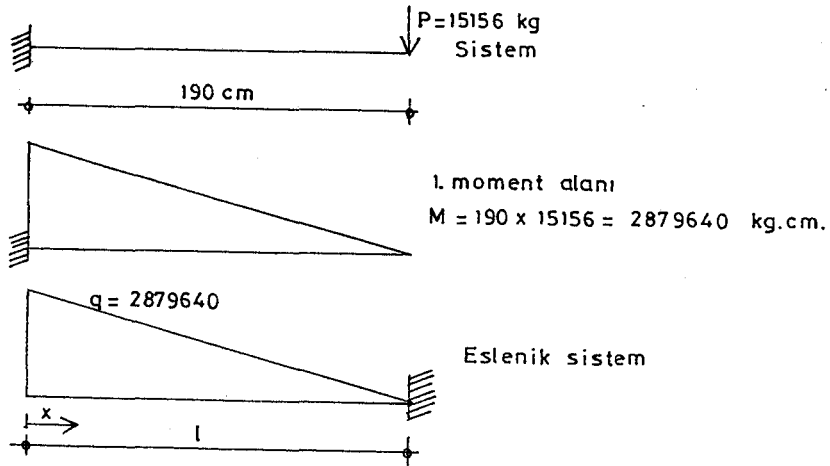
Bu hesaba göre mesnet bölgesi sarıldığında, ayrıca etriye ilavesi yapmaya gerek görülmemektedir. rnek gösterim Şekil 2.27 de ifade edilmiştir.

3. DENEYLERİN YORUMU, ÖNERİLER, SONUÇ

3.1. Deney Sonuçlarının Sehim Yönünden Hesap Değerleriyle Karşılaştırılması

3.1.1. "A" birleşimi deney sonuçlarının sehim yönünden hesap değerleriyle karşılaştırılması

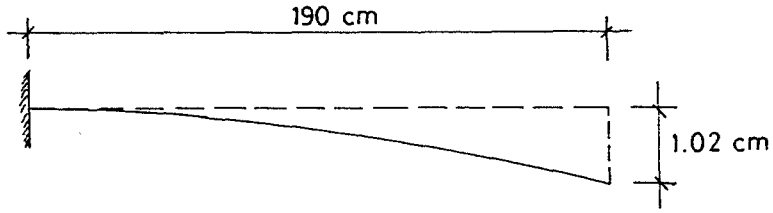
Kirişe uygulanan 15156 kg lık yük için şekil değiştirme eğrisinin bulunması (Mohr Metodu ile) [10].



Eşlenik sistemin momentini alıp EI ya böldüğümüzde şekil değiştirme eğrisini verecektir [10].

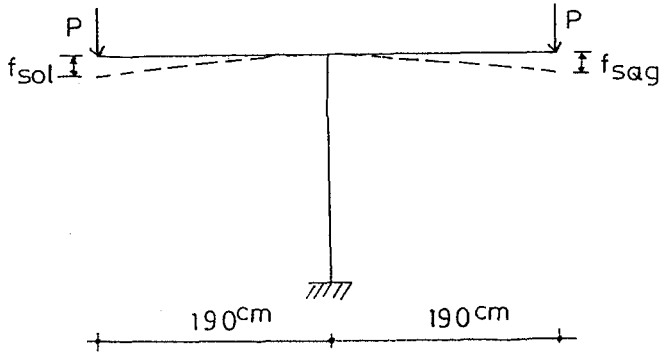
$$M = \frac{qx^2}{6} \left(3 - \frac{x}{l}\right), \quad EI = M/K = 20.1 \times 10^5 / 5.92 \times 10^{-5} = 3.395 \times 10^{10}$$

x_i (cm)	$M_i \times 10$ (kg-cm)	$f_i = M/EI$ (cm)	
19	0.050	0.01	(EI değeri 2.5.1 den alınmıştır)
38	0.194	0.06	
57	0.421	0.12	
76	0.721	0.21	
95	1.083	0.32	
114	1.497	0.44	
133	1.953	0.58	
152	2.439	0.72	
171	2.947	0.87	
190	3.465	1.02	



Şekil değiştirme eğrisi

Aşağıda, kirişe uygulanan değişik y¼kler için elde edilen deney sonuclarının, sehim y¼n¼nden hesap değerleriyle karşılaştırması yapılmıştır.



$$f_i = \frac{Pl^3}{3 \cdot EI} = \frac{P \cdot 190^3}{3 \times 3.395 \times 10^{10}}$$

(EI değeri 2.6.1 den alınmıştır)

1. DENEY SONUCLARI VE HESAP DEğERLERİ

P (kg)	M (t-cm)	HESAP	DENEY	
		f (mm)	f sol (mm)	f sağ (mm)
5052	959.9	3.4	1.8	2.4
10104	1919.8	6.8	4.6	6.2
15156	1879.6	10.2	7.8	9.6
20208	3839.5	13.6	11.4	13.9

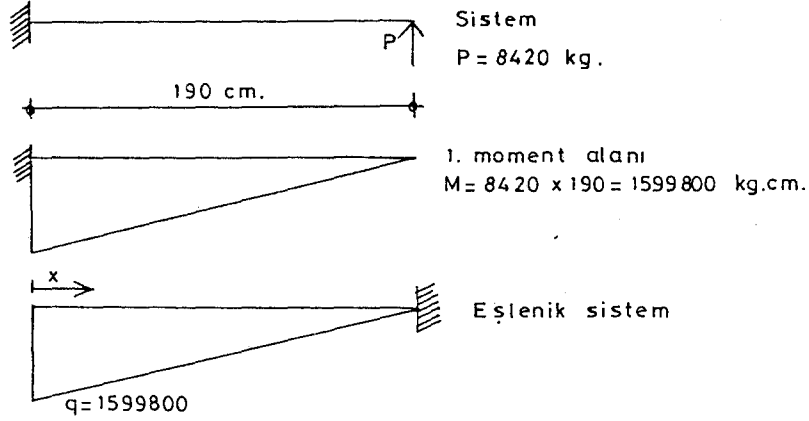
2. DENEY SONUÇLARI VE HESAP DEĞERLERİ

P (kg)	M (t-cm)	HESAP	DENEY	
		f (mm)	f sol (mm)	f sağ (mm)
3368	639.9	2.3	1.3	1.0
6736	1279.8	4.5	3.0	2.9
10104	1919.8	6.8	5.2	5.6
13472	2559.7	9.1	7.1	8.0
16840	3199.7	11.3	10.3	11.3
20208	3839.5	Akma anı	18.8	17.5

3. DENEY SONUÇLARI VE HESAP DEĞERLERİ

P (kg)	M (t-cm)	HESAP	DENEY	
		f (mm)	f sol (mm)	f sağ (mm)
3368	639.9	2.3	0.5	0.4
6736	1279.8	4.5	2.3	2.2
10104	1919.8	6.8	4.0	5.2
13472	2559.7	9.1	9.7	9.7
16840	3199.7	11.3	14.5	14.8
20208	3839.5	Akma anı	24.5	20.9

Kiriş e uygulanan 8420 kg lık tersinir yük için şekil değiştirme eğrisinin bulunması

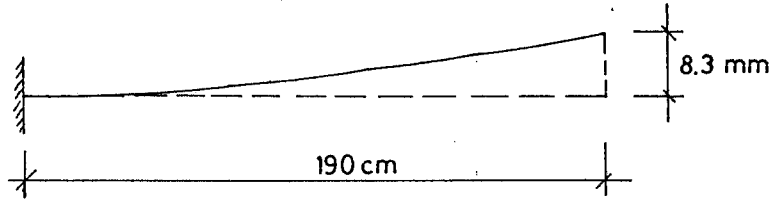


Eşlenik sistemin momentini alıp EI ya böldüğümüzde şekil değiştirme eğrisini verecektir [10].

$$M_x = q \frac{x^2}{6} \left(3 - \frac{x}{l} \right), \quad EI = M/K = 12.89 \times 10^5 / 5.55 \times 10^{-5} = 2.323 \times 10^{10}$$

x_i (cm)	$M_i \times 10$ (kg-cm)	$f_i = (M/EI)$ (cm)
19	0.028	0.01
38	0.108	0.05
57	0.234	0.10
76	0.400	0.17
95	0.602	0.26
114	0.832	0.36
133	1.085	0.47
152	1.637	0.70
171	1.637	0.70
190	1.925	0.83

(EI değeri 2.5.2 den alınmıştır)



Şekil değiştirme eğrisi

Tersinir yük için deney sonuçlarının, hesap karşılıkları

$$f_i = \frac{PxL^3}{3 \cdot EI} = \frac{Px190^3}{3 \times 2.323 \times 10^{10}}$$

(EI değeri, 2.5.2 den alınmıştır).

P (kg)	M (t-cm)	HESAP	DENEY	
		f (mm)	f sol (mm)	f sağ (mm)
3368	689.9	2.3	1.5	1.7
5052	959.9	3.5	2.9	4.0
6736	1279.8	4.6	4.6	5.7
8420	1599.8	5.8	7.7	8.7

3.1.2. "B" birleşimi deney sonuçlarının hesap değerleriyle karşılaştırılması

$$\delta = \frac{PxL^3}{3x10} = \frac{Px145^3}{3x1.331x10^{10}}$$

EI değeri, 2.5.6 dan alınmıştır.

1. DENEY SONUÇLARI VE HESAP KARŞILIKLARI

P (kg)	M (t-cm)	HESAP	DENEY
		δ (mm)	δ (mm)
1800	261.0	1.4	6.2
2650	384.3	2.0	6.7
3400	493.0	2.6	7.3
4300	623.5	3.3	8.6
5150	746.8	3.9	10.9
6000	870.0	4.6	12.2
6900	1000.5	5.3	15.2
7750	1123.8	5.9	20.6

2. DENEY SONUÇLARI

1800	261.0	1.4	2.6
2650	384.3	2.0	3.2
3400	493.0	2.6	5.7
4300	623.5	3.3	9.6
5150	746.8	3.9	18.8
6000	870.0	4.6	30.5
6900	1000.0	5.3	41.3

3.1.3. "C" birleşimi deney sonuçlarının hesap değerleriyle karşılaştırılması

$$\delta = \frac{P \times L^3}{3 \cdot EI} = \frac{P \times 175^3}{3 \times 1.331 \times 10^{10}}$$

Eİ değeri, 2.5.6 dan alınmıştır.

DENEY SONUÇLARI VE HESAP KARŞILIKLARI

P (kg)	M (t-cm)	HESAP	DENEY
		δ (mm)	δ (mm)
1100	192.5	1.5	0.9
1800	315.0	2.4	3.0
2650	463.8	3.6	4.1
3400	595.0	4.6	5.0
4300	752.5	5.8	6.2
5150	901.3	6.9	7.3
6000	1050.0	8.1	8.5
6900	1207.5	9.3	10.1
7750	1356.3	Akma anı	12.3
8600	1505.0	Akma anı	31.4

3.1.4. "D" birleşimi deney sonuçlarının hesap değerleriyle karşılaştırılması

$$\delta = \frac{PxL^3}{2xEI} = \frac{Px175^3}{3x1.331x10^{10}}$$

EI değeri, 2.5.6 dan alınmıştır.

DENEY SONUÇLARI VE HESAP KARŞILIKLARI

P (kg)	M (t-cm)	HESAP	DENEY
		δ (mm)	δ (mm)
1100	192.5	1.5	0.5
1800	315.0	2.4	1.3
2650	463.8	3.6	2.5
3400	595.0	4.6	3.2
4300	752.5	5.8	4.8
5150	901.3	6.9	7.2
6000	1050.0	8.1	9.1
6900	1207.5	9.3	15.1
7750	1356.3	Akma anı	26.7
8600	1505.0	Akma anı	33.6

3.1.5. Deneylerin yorumu

A birleşimi için yapılan deneylerde, birleşimin teorik hesaplara uygun davranış gösterdiği gözlenmiştir. Bu deneyde, her iki konsol ucuna, pistonla aynı anda, aynı yükler verilmiştir. İlk iki deneyde 13.5 tonluk yükler konsol uçlarına yüklenerek geri boşaltıldığında, konsol uçlarının yaptığı deplasmanı sıfırlayacak kadar geri dönüş yaptığı gözlenmiştir. Bu yükleme ile elde edilen momentin hesap taşıma gücüne yakın bir değer olduğunu da belirtebiliriz. Daha sonra tekrar yükleme yapıldığında okunan sehim değerlerinin teorik sonuçlarla uygunluğu, ölçüm, yükleme ve diğer etkenleri de göz önüne aldığımızda kabul edilebilir seviyededir. Yükleme esnasında kritik kesitte, 25-26 tm de gözle görülebilir çok ince kılcal çatlak gözlenmiştir. 30 ~ 32 tm de bu çatlağın biraz büyüdüğü ve 35 tm de çatlağın gözle görülebilir hızla arttığı gözlenmiştir. Her üç deneyde de 20 tonluk yüke ulaşıldığında (37 ~ 38 tm civarı) pistonu uygulanan yükün sabit kalmasına rağmen sehimin hızla arttığı gözlenmiştir. Deneylerde kırılma anı olarak bu değeri kabul edebiliriz. Bu durumun, donatının akma anında momentin sabit kaldığı fakat deformasyonların bu noktadan itibaren hızla artacağı esasına uygunluk gösterdiği söylenebilir.

Sisteme alttan yaklaşık 16 tm (tersinir) yük verildiğinde kritik kesitte çok küçük kılcal çatlaklar oluşmuş ve donatının akma anındaki yükü taşıyacağı düşüncesi ile daha fazla yük verilmemiştir.

"B", "C", "D" birleşimlerindeki kolon deneyleri; bu deneylerin kolon-kolon eki olmasına rağmen, deneylerde sisteme normal kuvvet verme imkanı olmadığından sistem konsol kiriş gibi yüklenmiştir.

"B" birleşim deneylerinde, teorik hesaplardan beklenen dayanım elde edilememiştir. Kolon deliklerine dökülen beton şerbetinin mukavemetini almadan deney yapılmış olması donatının sıyrılmasına neden olmuştur.

"C" birleşimi deneyinde, teorik hesaplara uygun bir davranış gözlenmiştir. Deney sonuçlarında da verildiği gibi Bar olarak öngerme halatıyla kuvvet artırılarak verilmiştir. Bu birleşimde donatının akma anından önce aşırı bir çatlak veya hasar gözlenmemiştir. Sistemin taşıma gücüne ulaşıncaya kadar deneylerde alınan sehim sonuçlarının teorik sonuçlara yakınlık gösterdiği söylenebilir.

"D" birleşiminde, yerinde dökülen beton mukavemetini aldıktan sonra yapılan deneyde, teorik hesaplara uygun davranış gözlenmiştir. Sistemde taşıma gücüne ulaşıncaya kadar, ölçülen sehim değerleri hesaplarla yaklaşık eşit kabul edilebilir.

3.1.6. Öneriler

"A" Birleşimi için;

a) Sistemin düşey yüklere göre çözümünde, kiriş dizayn edilirken yerinde dökme beton mukavemetini kazanıncaya kadar kiriş üzerine etkiyecek yüklere göre, basit kiriş çözümü düşünülmeli. Daha sonra momente dayanımlı birleşmiş durumda kiriş üzerine etkiyecek düşey yüklere göre çözüm yapılarak, açıklık momentleri süperpoze edilmelidir. Betonarme hesabının bu değerlere göre yapılması uygun olacaktır.

b) Düğüm noktalarında statik çözümden elde edilecek moment, deprem etkisi ve momente dayanımlı birleşim sonrasında, kiriş üzerine etkiyecek düşey yükten dolayı süperpoze edilecek momenttir.

c) Prefabrik kirişe mesnet bölgelerinde yerleştirilmesi gereken donatı (altta ve üstte) (b) deki değerlerle hesaplanır. Bu hesaplarda prefabrik kirişin malzeme kaliteleri alınacaktır.

d) Yerinde birleşim detayı hesaplarında malzeme için şantiye şartlarındaki değerler alınacaktır.

e) Birleşim noktalarında sistemin EI değerleri açıklığa göre farklı olmasına rağmen statik hesaplarda açıklık EI değerleri birleşim noktalarında aynı kabul edilebilir.

f) Birleşimde (düğüm noktasında) kirişler ile alt kolon ekinde (Bakınız Ek 1, Resim 13) kolon üst ucu geleneksel tarzda birleşmiş gibi kabul edilebilir. Herhangi bir detay hesabına gerek yoktur.

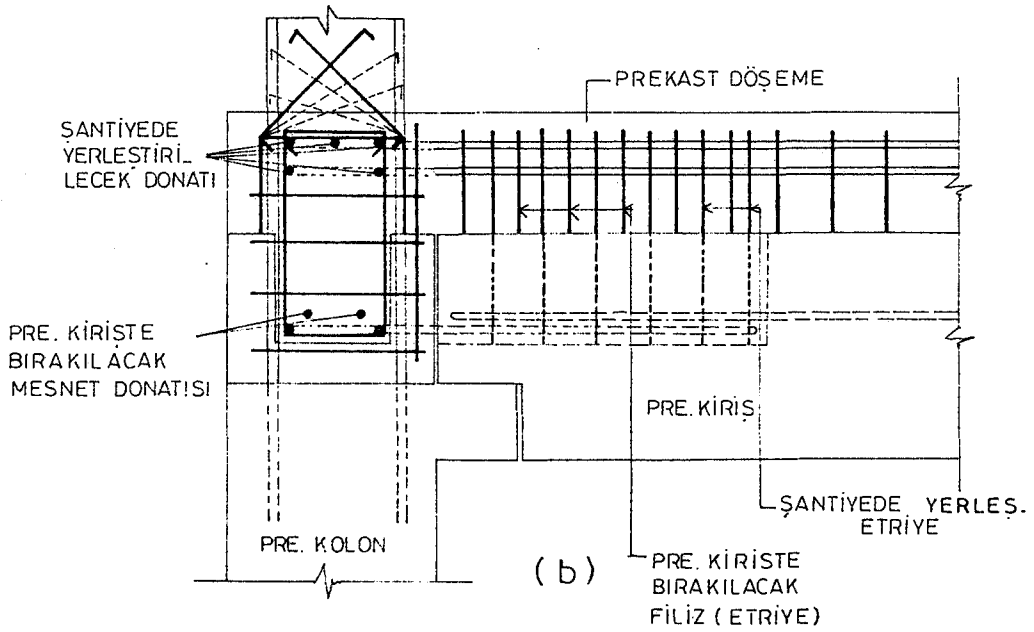
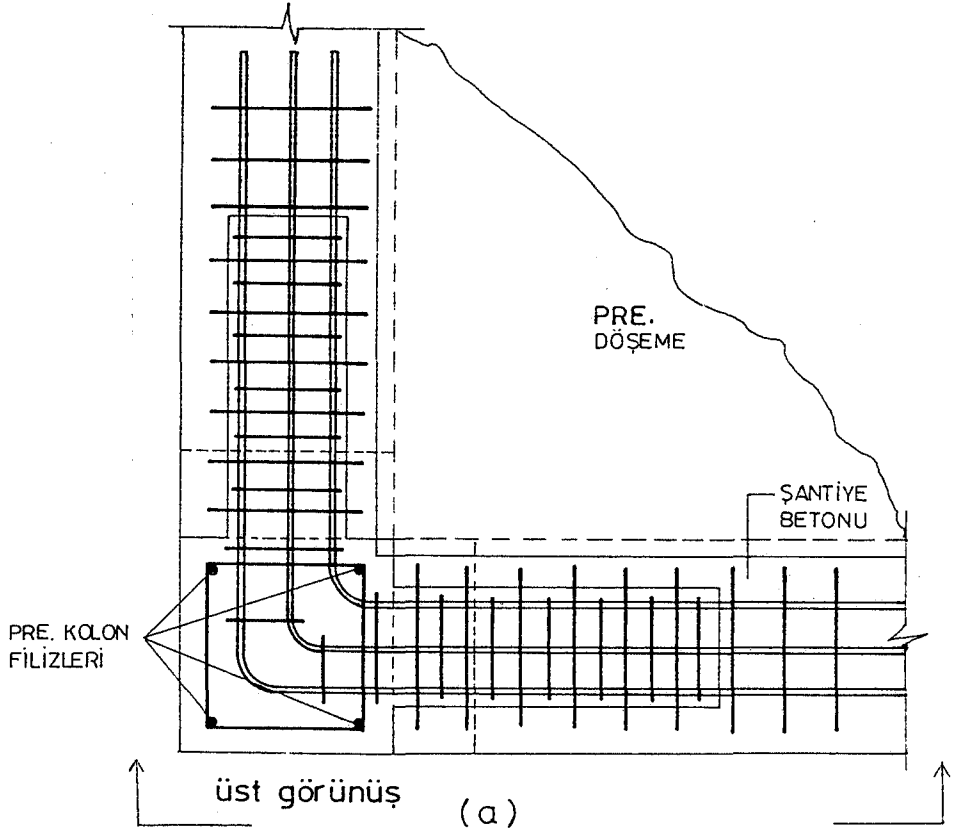
g) Ankraj boyu, donatı birleşim yerinden itibaren hangi beton içinde kalıyor ise, TS 500 e uygun olarak ankre edilmelidir.

h) Birleşim bölgesindeki sargı donatısı için 2.5.7(b) deki hesap yaklaşımı önerilebilir.

i) Prefabrik döşemeler arasına yakın bölgede teşkil edilecek olan, yerinde dökme betonarme kesitin (yükseltilmiş kesitin) döşeme rijitliğini önemli ölçüde artıracığı söylenebilir (Bakınız Ek 1, Resim 12).

j) Sistemde köşe birleşimi için uygun olabilecek detay, Şekil 3.1 de önerilmiştir.

"B", "C", "D" birleşimi ve "A" birleşiminde üste yerleştirilecek kolon ek yerinde donatı dizaynı, birleşim yerinde kesitte pas payı büyük olan donatıya ve şantiye betonuna göre yapılmalıdır.



Sekil 3.1 deney sistemlerine uygun köşe birleşimi detay önerisi

3.3. Sonuç

Teknolojinin ilerlemesi prefabrike inşaatlara olan gereksinimi daha da artırmıştır. Avrupa'da bu konuda bir hayli ilerleme kaydedilmiş olması, ülkemizde de bu tür yapılara yer verilmesine neden olmuştur. Prefabrikasyonun getirdiği ekonomi, kalite ve hızlı yapım bu tür yapıların artmasındaki en önemli etkidir. Ancak bazı prefabrike yapıların depremde önemli hasarlar görmesi bu inşaat türüne olan ilginin azalmasına neden olmuştur.

Prefabrike çerçeve sistemlerinde, deprem etkisindeki dayanımı artırmak ve oluşacak şekil değiştirmelerini azaltmak amacı ile, momente dayanımlı detaylar teşkil edilmesi uygun olacaktır. Ancak bu detayları üretim, montaj ve yapım hızını dolayısıyla yapının ekonomikliğini de gözönüne alarak dizayn etmek gerekir. Detayların seçiminde analitik hesaplara fazla güvenilmemesi ve detayın yapıdaki davranışına uygun deneylerle belirlenmesi daha uygundur.

Bu suretle prefabrike bir yapıda klasik yapı davranışını gözlemek mümkün olabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. 2. Prefabrikasyon Sempozyumu, 1987, Prefabrike yapıla-
proje kriterleri, 223 s.
2. Wasti, S.T. ve Aydın, M.R., Editör, 1987, 3. yapı meka-
niği semineri, Anadolu Üniversitesi Basımevi, 356 s.
3. Kanz, T., 1971, Manual ve procast concrete construction-
multi-storey industrial and Administrative Buildings,
volume 2, Rud.Bechtold and Comp., 427 s.
4. Kanz, T., 1971, Manual of procast concrete Construction
System Building with large Panels, volume 3, Rud.
Bechtold and Comp., 368 s.
5. Abeles, P.W., Bardhan, B.K. ve Turner, F.H., 1975,
Prestressed concrete designer's handbook, A view
point publication, 548 s.
6. Prestressed concrete institute, 1972, PCI Design handbook
Prestressed Concrete Institute, 12. Bölüm.
7. Beton-Verlag Gmbh, 1978, Kraftschlüssige Verbindungen
im fertigteilbau, Beton Verlag Gmbh, 191 s.
8. Aydın, M.R., 1988, Betonarme kolonların ikinci merteye
etkilerine göre hesabı, Anadolu Üni. Müh.Mim.Fak.
Dergisi, Sayı 2.
9. Ersoy, U., 1987, Temel ilkalar ve taşıma gücü hesabı,
Evrin Basım, yayım, dağıtım, 643 s.
10. İnan, M., 1981, Cisimlerin Mukavemeti, Doyuran Matbaası,
560 s.
11. T.S. 500.