

69000



T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PREFABRİKE BETONARME YAPILARDA
MOMENT AKTARAN BİRLEŞİMLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Kaan TÜRKER

Balıkesir, Temmuz – 1998



T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PREFABRİKE BETONARME YAPILARDA
MOMENT AKTARAN BİRLEŞİMLERİN İNCELENMESİ**



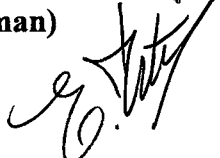
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Kaan TÜRKER

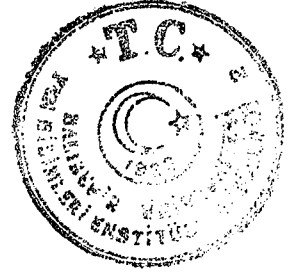
Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Erdal İRTEM

Sınav Tarihi : 20.07.1998

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erkan ÖZER
Prof. Dr. Şerif SAYLAN
Y. Doç. Dr. Erdal İRTEM**

(İTÜ) 
(BAÜ) 
(Danışman) 

Balıkesir, Temmuz – 1998



ÖZ

**PREFABRİKE BETONARME YAPILARDA
MOMENT AKTARAN BİRLEŞİMLERİN İNCELENMESİ**

Kaan TÜRKER

**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdal İRTEM)

Balıkesir, 1998

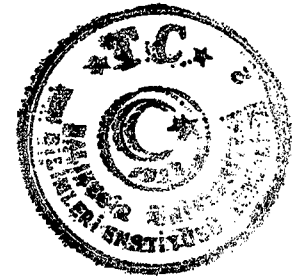
Prefabrike betonarme yapıların birleşim noktaları konusunda yapılan analitik ve deneysel araştırmalara günümüzde de halen devam edilmektedir. Prefabrike betonarme çerçevelerin statik çözüm sonuçlarının, yapının gerçek davranışına daha yakın olabilmesi için, birleşim noktalarındaki elastik dönme redörünün belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, prefabrike betonarme endüstri yapılarında yeni uygulanmaya başlanan bir bulonlu kolon-kiriş birleşiminin elastik dönme redörü analitik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, daha önce aynı birleşim için yapılan deneysel ve analitik çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak tartışılmıştır. Bundan başka bu çalışmada, birleşim bölgesinin gerilme dağılımları da elde edilmiştir. Prefabrike çerçeve sistemin birleşim noktası elastik birleşimli, mafsallı birleşimli ve sürekli (rijit) şekilde tanımlanarak, her durum için statik çözümler yapılmış, elde edilen kesit tesirleri ve deplasmanlar karşılaştırılarak elastik birleşimin etkisi belirlenmiştir.

Birleşimin elastik dönme redörünün hesabı ve birleşim bölgesinin gerilme dağılımlarının belirlenmesi için bir hesap modeli oluşturulmuştur. Hesap modelindeki betonarme yapı elemanları düzlem levha sonlu elemanlarla, çelik bulonlar düzlem çubuk elemanlarla temsil edilerek elde edilen sistem sonlu elemanlar yöntemi ile çözülmüştür. Sistem hesap modeli için gerekli olan, birleşim kesitindeki basınç (temas) bölgesi uzunluğu başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu ile belirlenmektedir. Bu şekilde elde edilen sistem hesap modelinde yük artımı uygulanarak birleşim kesitindeki rölatif dönme miktarı (θ) ile eğilme momenti (M) değerleri hesaplanmış ve birleşimin elastik dönme redörü R_θ değeri belirlenmiştir.

Sistemde elastik birleşimin uygulanmasıyla, statik çözüm sonuçlarının (kesit tesirleri ve deplasmanlar) önemli oranda değiştiği görülmüştür. Gerilme dağılımlarından yararlanarak, birleşim bölgesindeki donatı düzeninin daha uygun bir biçimde yapılabilmesine olanak sağlanmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Prefabrike betonarme / bulonlu birleşim / elastik birleşim / elastik dönme redörü.



ABSTRACT

ANALYSIS OF THE MOMENT TRANSFER CONNECTIONS IN PRECAST REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Kaan TÜRKER

**University of Balıkesir Institute of Science,
Department of Civil Engineering**

(M. Sc. Thesis / Supervisor : Assistant Professor Erdal İRTEM)

Balıkesir -Turkey, 1998

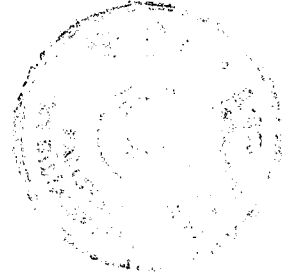
Analytical and experimental researches on connections of precast reinforced concrete structures are still being carried out. Elastic rotation module of connections has to be determined so that the results obtained from structural analysis of precast reinforced concrete frames can be close to those of real behaviour of the structure.

In this study, elastic rotation module of a recently used bolted column beam connection in reinforced concrete prefabricated industrial buildings has been computed analytically. The results obtained have been compared with the results of empirical and analytical studies of the same connection, which have been conducted previously. Additionally, stress distributions of connections have been determined. Connections of precast frame system have been defined as elastic connection, hinged connection and continuous (rigid) connection and structural system has been analysed for each case. Effect of elastic connection has been emphasized by comparing the internal forces and displacements.

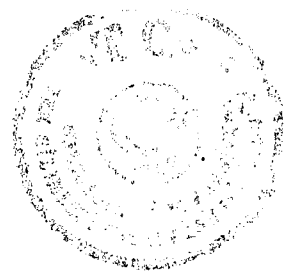
A computational model has been formed for calculation of elastic rotation module of connection and for determination of stress distributions in connection regions. By representing reinforced concrete structural elements as plane plate finite elements and steel bolts as plane bar elements, the structural system has been analysed with the aid of finite elements method. Since compression (contact) zone length in connection section, which is needed for system computational model, is not known at the beginning an iterative approach has been conducted. Hence, by applying load increment for the computational model, relative rotation (θ) and bending moment (M) values in connection region have been calculated and elastic rotation module (R_θ) of the connection has been determined.

It has been realized that structural analysis results (internal forces and displacements) significantly change in accordance with application of elastic connection concept in the structural system. By utilizing stress distributions, a more appropriate reinforcement arrangement for the connection region has been enabled.

KEYWORDS : Precast reinforced concrete / bolted connection / elastic connection / elastic rotation module.



	<u>Sayfa</u>
ÖZ, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Prefabrike Betonarme Yapı Sistemleri	2
1.1.1 Prefabrike Betonarme Sistemlerin Sınıflandırılması	2
1.1.2 Prefabrike Betonarme Yapıların Kullanım Alanları	3
1.1.3 Prefabrike Betonarme İskelet Sistemler	4
1.1.3.1 İskelet Sistemlerde Kullanılan Taşıyıcı Sistemler	5
1.1.4 Prefabrike Betonarme Yapılarda Birleşim Noktaları	9
1.2 Elastik Birleşimli Düğüm Noktaları	17
1.3 Konu ile İlgili Çalışmaların Gözden Geçirilmesi	19
1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	21
2. BULONLU KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİNİN HESAP ESASLARI	23
2.1 Lambda Çerçeve Sistemlerdeki Bulonlu Birleşimler	23
2.2 Elastik Dönme Redörünün Belirlenmesi	28
2.3 Varsayımlar ve Hesap Yöntemi	30
3. SAYISAL UYGULAMA	37
3.1 Örneğin Tanıtımı	37
3.2 Sistem Hesap Modelinin Belirlenmesi	39
3.3 Birleşimin Elastik Dönme Redörünün Hesabı	48
3.4 Birleşim Bölgesindeki Gerilme Dağılımları	57
3.5 Elastik Birleşimin Kesit Tesirleri ve Deplasmanlar Üzerindeki Etkisi	62
4. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ DENEYSEL BİR ÇALIŞMA	66
5. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ANALİTİK BİR ÇALIŞMA	74
6. SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR	81



SEMBOL LİSTESİ

Simge	Adı	Birimi
[a]	Deplasman fonksiyonlarının sabitler matrisi	
[A]	Deplasman fonksiyonlarını belirleyen koordinat matrisi	
[A _d]	Sabit kare matris	
[d]	Uç deplasmanları matrisi	
D	Sonlu eleman doğrusal deplasman bileşeni	m
E	Malzeme elastisite modülü	KN/m ²
h	Levha elemanın kalınlığı	m
[I]	Birim matris	
[K]	Sonlu eleman rijitlik matrisi	
M	Eğilme Momenti	KNm
[p]	Eleman yükleri matrisi	
[q]	Düğüm noktası yükleri matrisi	
R _θ	Elastik dönme redörü	KNm/rad
[S]	Sistem rijitlik matrisi	
[u]	Deplasman fonksiyonu matrisi	
u , v	Yatay ve düşey deplasman fonksiyonları	
Z _b	Bulondaki çekme kuvveti	KN
Δ _θ	Rölatif dönme açısı	rad
θ	Dönme açısı	rad
θ _E	Elastik dönme açısı	rad
γ	Birim kayma	



ε	Birim boy deęiřimi	
$\sigma_x (S_{xx})$	X doğrultusundaki normal gerilme	KN/m ²
$\sigma_y (S_{yy})$	Y doğrultusundaki normal gerilme	KN/m ²
$\tau (S_{xy})$	Kayma gerilmesi	KN/m ²
[ε]	Birim deformasyon matrisi	
ν	Malzeme poisson oranı	
δ_x	X doğrultusundaki deplasman	m
δ_y	Y doğrultusundaki deplasman	m





ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Numarası	Adı	Sayfa
Şekil 1.1	Ankastre kolonlara oturan kirişlerle oluşturulan sistemler	5
Şekil 1.2	Ankastre kolonlara oturan üçgen kirişli sistemler	6
Şekil 1.3	Ankastre kolonlara oturan gergili kemer kirişli sistemler	6
Şekil 1.4	Temelleri ankastre ve mafsallı rijit düğüm noktalı çerçeve sistemler	7
Şekil 1.5	Bir mafsallı ve sonradan rijit bağlantılı çerçeve sistemler	8
Şekil 1.6	Üçgen çerçeve ve kemer kiriş sistemler	8
Şekil 1.7	Lambda çerçeve sistemler	9
Şekil 1.8	Kirişteki yerinde dökme betonla kolon-kiriş birleşimi	10
Şekil 1.9	Çelik plakaların perçinlerle bağlanması ile kolon-kiriş birleşimi	11
Şekil 1.10	Bulonlu kolon-kiriş birleşimi	12
Şekil 1.11	Çelik plakaların bulonlanmasıyla kolon-kiriş birleşimi	13
Şekil 1.12	Kaynaklı çelik plakalarla kolon-kiriş birleşimi	14
Şekil 1.13	Beton konsola mesnetlenen kirişlerde ardgermeli kolon-kiriş birleşimi	15
Şekil 1.14	Sadece düşey kesme kuvveti aktarılan kolon-kiriş birleşimi	16
Şekil 1.15	Rijit düğüm noktası	17
Şekil 1.16	Mafsallı düğüm noktası	17
Şekil 1.17	Rijit düğüm noktasına mafsallı birleşim	17
Şekil 1.18	Dönmeye karşı elastik ankastre düğüm noktası	18
Şekil 1.19	Rijit düğüm noktasına elastik birleşim	18
Şekil 1.20	Prefabriğe tevsî elemanı ile genişletilen yapının alttan görünüşü	22
Şekil 1.21	Prefabriğe tevsî elemanı ile genişletilen yapının üstten görünüşü	22
Şekil 2.1	Tek açıklıklı tipik lambda sistem	23
Şekil 2.2	Bulonlu birleşim bölgesi (A Detayı)	24
Şekil 2.3	İki açıklıklı lambda sistem	24
Şekil 2.4	Orta kolon birleşimi (B Detayı)	25
Şekil 2.5	Yuvalı tekil temel (C Detayı)	25
Şekil 2.6	Tek yönde büyütülecek lambda çerçeve sistem	26
Şekil 2.7	Bulonlu kolon-kiriş birleşimi ile genişletilen yapı	27
Şekil 2.8	Moment aktaran bulonlu kolon-kiriş birleşimi (D detayı)	27
Şekil 2.9	Başlangıç hesap modeli	29
Şekil 2.10	Rijit düğüm noktasına elastik birleşim	29
Şekil 2.11	Dikdörtgen sonlu eleman uç deplasmanları ve pozitif yönleri	30
Şekil 2.12	Yük, deplasman ve iç kuvvet bileşenlerinin pozitif yönleri	35
Şekil 2.13	Eleman rijitlik matrisi ve gerilme matrisi notasyonları	35
Şekil 3.1	Prefabriğe yapının kesit ve planı	38
Şekil 3.2	Birleşim bölgesi ve özellikleri	39
Şekil 3.3	Birleşim bölgesinin mesnetlenme ve yükleme şekli	40
Şekil 3.4	Başlangıç hesap modeli	41
Şekil 3.5	Çözüm 1'de birleşim kesiti ve fiktif çubuklar	42
Şekil 3.6	Çözüm 2 fiktif çubukları	46
Şekil 3.7	Çözüm 3 fiktif çubukları	46



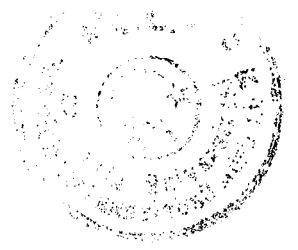
Şekil 3.8	Çözüm 4 fiktif çubukları	47
Şekil 3.9	Çözüm 5 fiktif çubukları	47
Şekil 3.10	Çözüm 6 fiktif çubukları ve basınç bölgesi uzunluğu a	47
Şekil 3.11	Sistem hesap modeli	48
Şekil 3.12	Şekil değiştirmiş sistem ve birleşimin θ elastik dönme açısı	54
Şekil 3.13	Birleşim kesitindeki deplasmanlar ve θ elastik dönme açısı	54
Şekil 3.14	M - θ grafiği	55
Şekil 3.15	Z_b - M grafiği	56
Şekil 3.16	δ_{793} - M grafiği	56
Şekil 3.17	δ_{1927} - M grafiği	57
Şekil 3.18	X eksenini doğrultusundaki normal gerilme (S_{xx}) diyagramı	58
Şekil 3.19	Y eksenini doğrultusundaki normal gerilme (S_{yy}) diyagramı	59
Şekil 3.20	Kayma gerilmesi (S_{xy}) diyagramı	59
Şekil 3.21	Maksimum asal normal gerilme (S_{max}) diyagramı	60
Şekil 3.22	Minimum asal normal gerilme (S_{min}) diyagramı	60
Şekil 3.23	İki açıklıklı lambda sistemin özellikleri ve yüklemesi	62
Şekil 3.24	Sistemin eğilme momenti diyagramları	63
Şekil 3.25	Sistemin elastik eğrileri	64
Şekil 4.1	Prefabrike betonarme deney elemanları	66
Şekil 4.2	Şematik deney düzeneği	67
Şekil 4.3	Deney elemanları ve düzeneği	67
Şekil 4.4	Üst bulon ve strain gauge	68
Şekil 4.5	Deplasman ölçerler (LVDT)	68
Şekil 4.6	Birleşim kesitindeki basınç bölgesi	69
Şekil 4.7	Taşıma gücünü yitirmiş birleşim	70
Şekil 4.8	Bilgi toplama sistemi	70
Şekil 4.9	M - θ grafiği (deneye ait)	71
Şekil 4.10	δ_{793} - M grafiği (deneye ait)	72
Şekil 4.11	Z_b - M grafiği (deneye ait)	72
Şekil 4.12	Birleşim kesitindeki basınç bölgesi	73
Şekil 4.13	d_o - M grafiği	73
Şekil 5.1	M - θ grafiği	75
Şekil 5.2	M - Z_b grafiği	75
Şekil 5.3	δ_{1927} - M grafiği	76



ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1	Sistem hesap modelinin çözüm sonuçları	53
Çizelge 3.2	Sistemin kritik deplasmanları	65





ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, prefabrik betonarme endüstri yapılarının sonradan genişletilmesi sırasında uygulanan bir bulonlu kolon-kiriş birleşimi incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu elastik birleşimin elastik dönme redörtü sayısal olarak hesaplanmış, elde edilen sonuçlar aynı birleşim için yapılan deneysel ve analitik çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elastik birleşimin statik analizlerde gözönüne alınmasının kesit tesirleri ve deplasmanlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, birleşim bölgesindeki donatı yerleşiminin daha iyi yapılabilmesi için birleşim bölgesindeki gerilme dağılımları elde edilmiştir.

Çalışmalarımı yakından ilgilenen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdal İrtem'e, bilgi ve yorumlarından faydalandığım Sayın Prof. Dr. Erkan Özer'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, daha önce aynı konuda çalışmalar yapan ve bana bu çalışmamda yardımları olan İnş. Yük. Müh. Mustafa Çolak'a, tezimin hazırlanmasında katkıda bulunan İnşaat Mühendisi ve Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve çalışmalarım sırasında bana her yönden destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 1998

Kaan TÜRKER



1. GİRİŞ

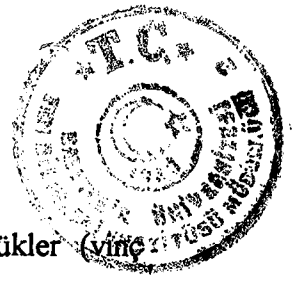
Birleştirildiklerinde bir taşıyıcı sistemi meydana getiren ve fabrikalarda önceden imal edilmiş olan betonarme veya öngerilmeli beton elemanlar prefabrike (ön yapım) betonarme eleman, bu elemanlardan oluşan yapılar da prefabrike betonarme yapı olarak tanımlanır [1,2].

Betonarmede ön yapım betonarmenin ilk bulunduğu yıllara dayanır. Betonarme elemanların gelişimi önceleri daha çok Orta Avrupa ülkelerinde olmuş, ancak II. Dünya Savaşı'ndan sonra bu gelişim tüm dünya ülkelerine yayılmıştır.

Yapı elemanlarının bir kısmının veya tümünün fabrikada endüstriyel yöntemlerle üretilmesini öngören bir yapım sistemi olan prefabrikasyonun en önemli özelliği, yapım sürecindeki işlemlerin fabrikada üretim ve şantiyede montaj şeklindeki ayrımıdır [3].

Yapı elemanlarının fabrikalarda üretimi sayesinde, kalite kontrol altına alınmakta ve yükseltilebilmekte, mevsimlere bağımlılık ortadan kalkmakta, bazı işlemlerin paralel yürütülmesi ile işgücü, malzeme ve zaman tasarrufu sağlanmaktadır. Yüksek dayanımlı beton malzeme (BS25-BS50) kullanımı ve özel teknikler uygulanması (öngerilmeli ve boşluklu prefabrike elemanlar v.b.) ile büyük açıklıklar daha küçük kesitlerle geçilebilmekte, bu sayede yapının hafiflemesiyle yapıya gelen deprem yükleri azalmaktadır.

Prefabrikasyonun bu avantajlarının yanında bazı sorunları da vardır. En önde gelen sorunlarından biri nakliye, üretim, montaj zorluğu ve benzeri sebeplerle ayrı ayrı üretilen yapı elemanlarının birleştirilmesidir. Prefabrike yapılarda monolitik yapılardaki rijitliğin sağlanması güçtür. Uygulamada, yapımı nispeten kolay olan mafsallı birleşimlerin tercih edilmesi durumunda, yapılarda yanal deplasmanlar artmakta ve



yapı güvenliği azalabilmektedir. Ayrıca birleşimler mafsallı da olsa yatay yükler (vine fren, çarpma kuvvetleri, deprem v.b.) altında, bu birleşimlerin belirli ölçüde kuvvet aktarması gerekmektedir. Birleşimlerin, momenti de aktaracak şekilde (monolitik davranışa mümkün olduğu kadar yakın) rijit yapılmasında uygulamada büyük güçlüklerle karşılaşmakta, bunun yanısıra elastik birleşimli sistemin statik hesabında, birleşimin rijitlik değerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Prefabrike yapılarda gerçekleştirilen birleşimlerin bazıları elastik birleşimlerdir. Bu birleşimlere ait redörlerin deneysel veya analitik yollarla hesaplanması ve yapının gerçek davranışına ait kesit tesirlerini elde edebilmek için statik hesaplarda gözönüne alınması gerekmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar, birleşimlerin elastik olmasının çerçeve davranışına etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.

1.1 Prefabrike Betonarme Yapı Sistemleri

Betonarme malzemenin bakım, dayanıklılık ve ekonomik yönden diğer yapı malzemelerine üstünlüğü nedeniyle, özellikle prefabrike betonarme yapılar çok yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır.

1.1.1 Prefabrike Betonarme Sistemlerin Sınıflandırılması

Prefabrike betonarme sistemler için farklı sınıflandırmalar yapılmıştır [3]. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

a) Prefabrike betonarme sistemlerin üretim ve pazarlama bakımından sınıflandırılması:

- a1) Kapalı sistemler: Üretilen her yapı için, bileşenlerin yeniden, o defaya mahsus olarak dizayn edildiği, üretimi, montajı ve bağlantıları için özel yöntem ve detaylandırmaların geliştirildiği sistemdir.
- a2) Yarı kapalı sistemler: Yapının belli fonksiyona hizmet eden (örneğin taşıyıcı strüktürü oluşturan) bileşenlerinin, kendi içlerinde “kapalı”

olmalarına rağmen, diğer fonksiyonel elemanların yerinde yapılmasına veya başka üretim merkezlerinin piyasaya sundukları bileşenlerle tamamlanmasına imkan verildiği sistemdir.

a3) Açık sistemler: Her türlü yapının, piyasada bulunabilen ve birbinden bağımsız üreticilerin ürettiği elemanların (katalog bileşenlerinin) biraraya getirilmesi ile inşa edilebildiği sistemdir.

b) Prefabrike betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerine göre sınıflandırılması:

b1) Doğrusal bileşenli iskelet sistemler.

b2) Yüzeysel taşıyıcılardan oluşan sistemler (panel sistemler).

b3) Taşıyıcı hücrelerden oluşan sistemler.

b4) Karma sistemler (panel-iskelet, hücre-panel, hücre-iskelet).

1.1.2 Prefabrike Betonarme Yapıların Kullanım Alanları

Prefabrike betonarme yapılar, uygulamada çok çeşitli kullanım alanları bulmaktadır. Bunlar;

a) Tek katlı, küçük açıklıklı yapılar (konut, okul v.b.),

b) Tek katlı, büyük açıklıklı yapılar (endüstri, spor, toplantı binaları v.b.),

c) Birkaç katlı yapılar (konut, okul, idare, laboratuvar binaları v.b.),

d) Çok katlı yüksek yapılar (büro, otel, hastane, konut v.b.),

şeklinde gruplandırılmaktadır.

Tek katlı büyük açıklıklı yapılar daha çok endüstri yapıları, depolar, hangarlar, spor salonları, yüzme havuzları, toplantı ve sergi salonları gibi binalarda yaygın bir şekilde kullanılmakta, özellikle endüstri yapılarında prefabrikasyonun yapım sürati nedeniyle tercih edilmektedir.



Tek katlı, büyük açıklıklı yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler şunlardır [3]:

- i) İskelet sistemler.
- ii) Yüzeysel taşıyıcılarla oluşturulan sistemler.
- iii) Karma sistemler (hem iskelet elemanlarının hem de yüzeysel taşıyıcı elemanların birlikte kullanıldığı sistemler).

1.1.3 Prefabrike Betonarme İskelet Sistemler

Prefabrike betonarme iskelet sistemlerin statik sistemleri, taşıyıcı eleman türleri ve geçilebilen açıklıklar bakımından çok çeşitlilik gösterir. Prefabrike betonarme iskelet sistemlerde genellikle düşey taşıyıcı eleman olarak kolonlar, açıklığı geçen ana taşıyıcı eleman olarak da dolu gövdeli kirişler, kafes kirişler veya kemer kirişler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde geçilebilen açıklıklar 5-50 m arasında değişmektedir [3].

Prefabrike betonarme iskelet sistemlerin statik sistemi seçilirken aşağıdaki faktörler gözönünde bulundurulur:

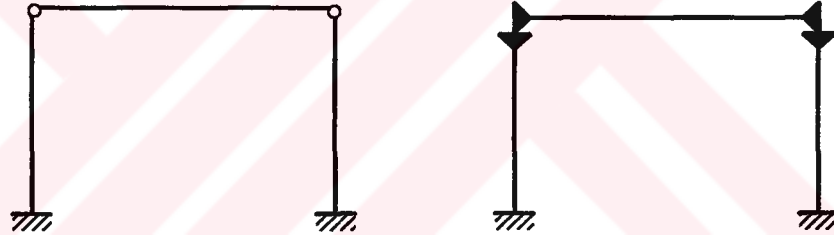
- zemin şartları
- geçilmesi istenen açıklıklar
- yapının yüksekliği
- vinç, rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetlerin varlığı
- mevcut imalat, nakliye, montaj ve işçilik şartları
- tesisat sorunları
- tabii aydınlatma
- binanın *tevsii* (*genişletme*) olanaklarının aranması



1.1.3.1 İskelet Sistemlerde Kullanılan Taşıyıcı Sistemler

Prefabrikasyon sektöründe, prefabrike betonarme iskelet sistemlerde, genellikle kullanılan taşıyıcı sistemler aşağıda sıralanmıştır [3]:

a) *Ankastre kolonlara mafsallı veya rijit bağlantılı kirişlerle oluşturulan sistemler*: Prefabrikasyona en uygun sistemdir (Şekil 1.1a). Montajının çabuk ve kolay olması ve kısa yapım süresi nedeniyle diğer sistemlere tercih edilir. Buna karşın pahalı temeller ve iyi bir zemin gerektirir. Ankastrelikten dolayı kolon kesitleri artar ve zeminde eşit olmayan oturmalar meydana gelebilir. 10m. den fazla yükseklikler durumunda büyük yatay kuvvetler (vinç, deprem gibi) olduğu zaman, bağlantıların (birleşimlerin) bu kuvvetlere göre kontrol edilmesi hatta model deneylerinin yapılması gerekir.



a) Mafsallı bağlantılı

b) Rijit bağlantılı

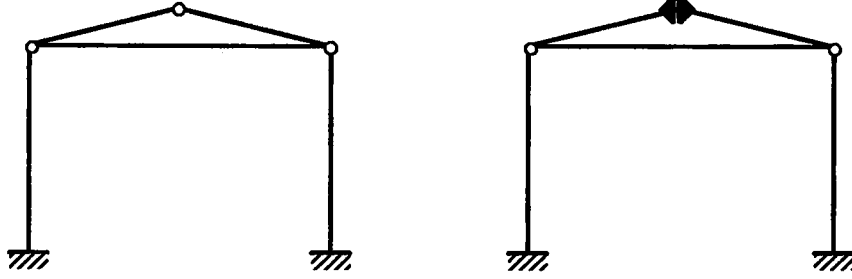
Şekil 1.1 Ankastre kolonlara oturan kirişlerle oluşturulan sistemler

Bu durumda bağlantılar geleneksel konstrüksiyonlarda olduğu gibi rijit yapılarak, rijit çerçeve davranışı sağlar (Şekil 1.1b). Düğüm noktalarının rijit olarak yapımı zordur ve montaj süresi uzundur. Ancak büyük yatay kuvvetler olması durumunda mafsallı bağlantılıya göre kesit tesirlerinin azalması ile ekonomi sağlanır.

Bu sistemlerde 15m açıklığa kadar, betonarme dolu gövdeli kirişler, 12-25m'lik açıklıklarda daha çok önerilmeli dolu gövdeli kirişler kullanılır. 12-25m'lik açıklıklarda çatı eğiminin % 15 ve daha fazla olması istendiğinde, üçgen kafes kirişler de kullanılmaktadır.



b) *Ankastre kolonlara oturan üçgen kirişlerle oluşturulan sistemler:* İki kiriş ve bir gergi elemanı ile meydana getirilen üçgen kirişler, küçük kiriş boyları ile, eğimli çatı, büyük açıklık geçme gibi isteklere cevap vermektedir. 15-30m açıklıkların geçilebildiği bu sistemlerde, gergi elemanın teşkili ve montaj sorunlarının çözülmesi gerekmektedir (Şekil 1.2).

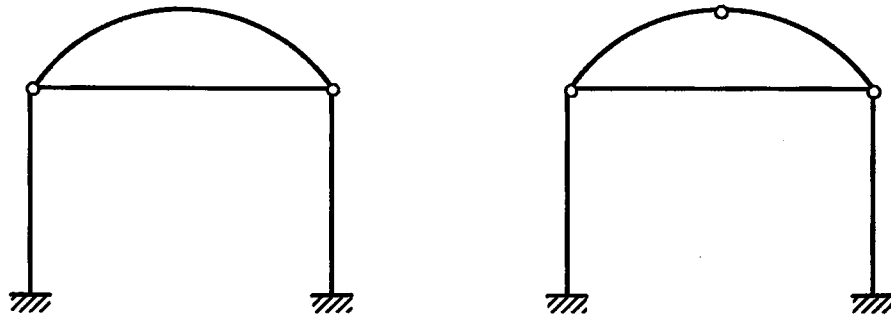


a) Üç mafsallı üçgen kirişli sistem

b) İki mafsallı üçgen kirişli sistem

Şekil 1.2 Ankastre kolonlara oturan üçgen kirişli sistemler

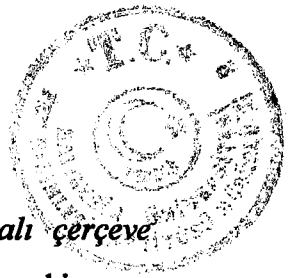
c) *Ankastre kolonlara oturan gergili kemer kirişlerle oluşturulan sistemler:* Tek bir kemer kirişi ve gergi elemanı veya iki kemer kirişi ve bir gergi elemanı ile oluşturulan gergili kemer kirişli sistemler, üçgen kirişlerde olduğu gibi küçük kiriş boyları ile eğimli, eğrisel çatı ve büyük açıklık geçme gibi isteklere cevap vermektedir. Ancak, gergi bağlantıları ve montaj sorunları yine çözülmesi gereken sorunlardır. Bu sistemlerle 15-40m açıklıklar geçilebilmektedir (Şekil 1.3).



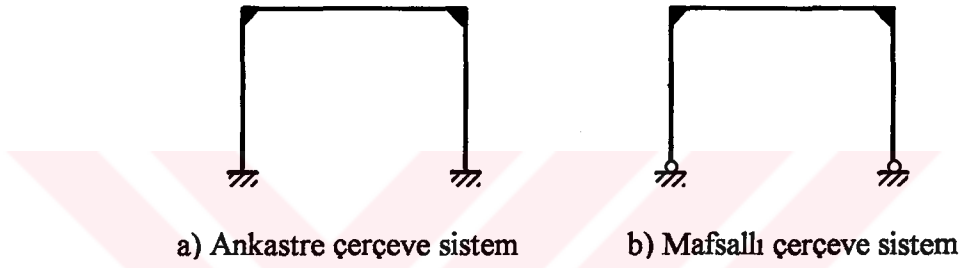
a) İki mafsallı kemer kirişli sistem

b) Üç mafsallı kemer kirişli sistem

Şekil 1.3 Ankastre kolonlara oturan gergili kemer kirişli sistemler

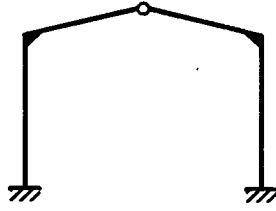


d) *Kolonları temelde ankastre ve mafsallı rijit düğüm noktalı çerçeve sistemler*: Yatay kuvvetlerin fazla olduğu veya açıklığın yüksekliğe oranının bir veya bire yakın ($L/H \approx 1$) olduğu yapılarda, tek parça halinde dökülen ve temellere ankastre veya mafsallı olarak bağlantısı yapılan sistemlerdir (Şekil 1.4). 5-15m açıklıklarda kullanılan bu sistemlerde yatay kuvvetler tüm çerçeve tarafından karşılanır. Bazı durumlarda zemin içinden geçen ve temel ayaklarını birbirine bağlayan gergilerin yapılması gerekebilir. Bu tür küçük çerçeveler, çatılarda, çatı fener elemanı olarak da kullanılmaktadır.

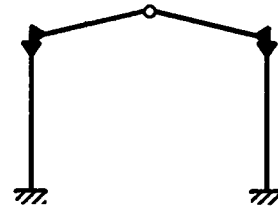


Şekil 1.4 Temelleri ankastre ve mafsallı rijit düğüm noktalı çerçeve sistemler

e) *Bir veya üç mafsallı ve sonradan rijit bağlantılı çerçeve sistemler*: Açıklığın yüksekliğe oranının bir veya bire yakın ($L/H \approx 1$) olduğu ancak tek parça halinde dökülüp kaldırılamadığı durumlarda, çerçeve iki parça halinde üretilip, tepe noktasında mafsallı olarak birleştirilir (Şekil 1.5a). Zeminin statik olarak belirli sistem (izostatik sistem) gerektirdiği durumlarda kolonlar temellere mafsallı olarak birleştirilir ve üç mafsallı çerçeve teşkil edilir. Bu sistemlerde 5-20m açıklıklar geçilebilmektedir. Benzer şekilde çerçeve dört bölüm halinde dökülüp, sonradan köşe noktalarından ard çekmeli öngerme metodu ile rijit olarak birleştirilerek 40m'ye varan açıklıklar geçilebilmektedir (Şekil 1.5b). Fakat her iki tip sistemde de köşe noktalarındaki birleşimlerin montajı için hareketli iş iskeleleri gerekmektedir.



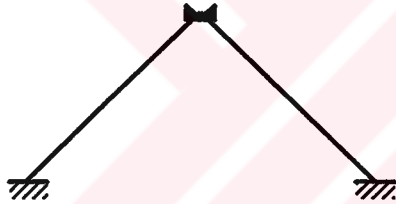
a) Bir mafsallı çerçeve sistem



b) Sonradan rijit bağlantılı çerçeve sistem

Şekil 1.5 Bir mafsallı ve sonradan rijit bağlantılı çerçeve sistemler

f) *Üçgen çerçeve ve kemer kiriş sistemler*: 15'den 40m'ye kadar olan açıklıkları geçme olanağı sağlayan ancak imalat, kaldırma ve montaj sorunları bulunan sistemlerdir (Şekil 1.6).



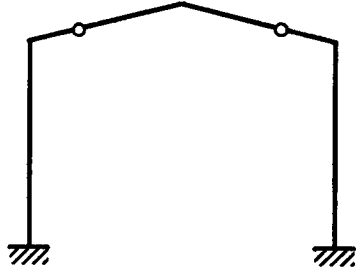
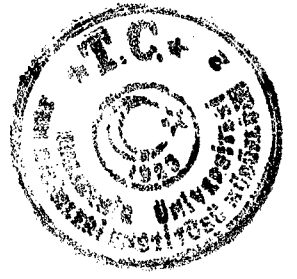
a) Üçgen çerçeve sistem



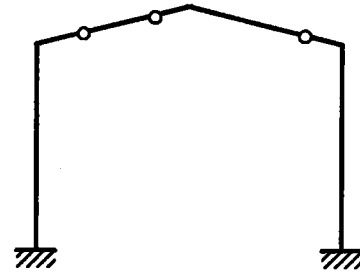
b) Kemer kiriş sistem

Şekil 1.6 Üçgen çerçeve ve kemer kiriş sistemler

g) *Lambda çerçeve sistemler*: Eğimli çatılı yapılarda, sabit düşey yükler altındaki moment sıfır noktalarında mafsallı bağlantılar yapılarak elde edilen üç elemanlı sistemlere "*lambda çerçeve sistem*" ler sistemler denmektedir (Şekil 1.7a). 15-25m açıklıkların geçilebildiği lambda sistemlerle malzeme ekonomisi sağlanır, ancak mafsallı bağlantılarının yatay kuvvetler (vinç, deprem v.b.) için tahkik edilmesi ve bazı durumlarda deneylerin yapılması gerekmektedir. Daha büyük açıklıkların geçilmesi istendiğinde dört elemandan oluşan özel lambda sistemleri kullanılır (Şekil 1.7b). Yatay kuvvetlerin fazla olduğu bölgelerde özel lambda sistemli yapılardaki bağlantılar ilave sorunları da beraberinde getirir.



a) Lambda çerçeve sistem



b) Özel lambda çerçeve sistem

Şekil 1.7 Lambda çerçeve sistemler

1.1.4 Prefabrike Betonarme Yapılarda Birleşim Noktaları

Prefabrike betonarme yapılarda, birleşim noktalarındaki birleşme biçimlerine göre çeşitli açılardan gruplandırmalar yapılmaktadır [4]. Bunlardan bazıları şunlardır:

a) *Birleşme geometrisi yönünden*: Yapının taşıyıcı elemanlarının geometrik formlarının (doğrusal çubuk eleman, eğrisel çubuk eleman, düzlem yada uzay yüzey elemanı v.b.) ana unsur olarak alındığı bir gruplandırmadır.

b) *Kesit tesirlerinin aktarılma mekanizması yönünden*: Yapı elemanlarının birleştirilmesi ile birleşim bölgesinde aktarılabilen kesit tesirlerinin ana unsur olarak alındığı bir gruplandırmadır. Bu grup kendi içinde;

b1) Yapısal süreklilik sağlanmasının önemli olduğu birleşim türleri,

b2) Sürekliliğin az önemsendiği sadece düşey kesme kuvveti aktarmanın amaçlandığı birleşim türleri

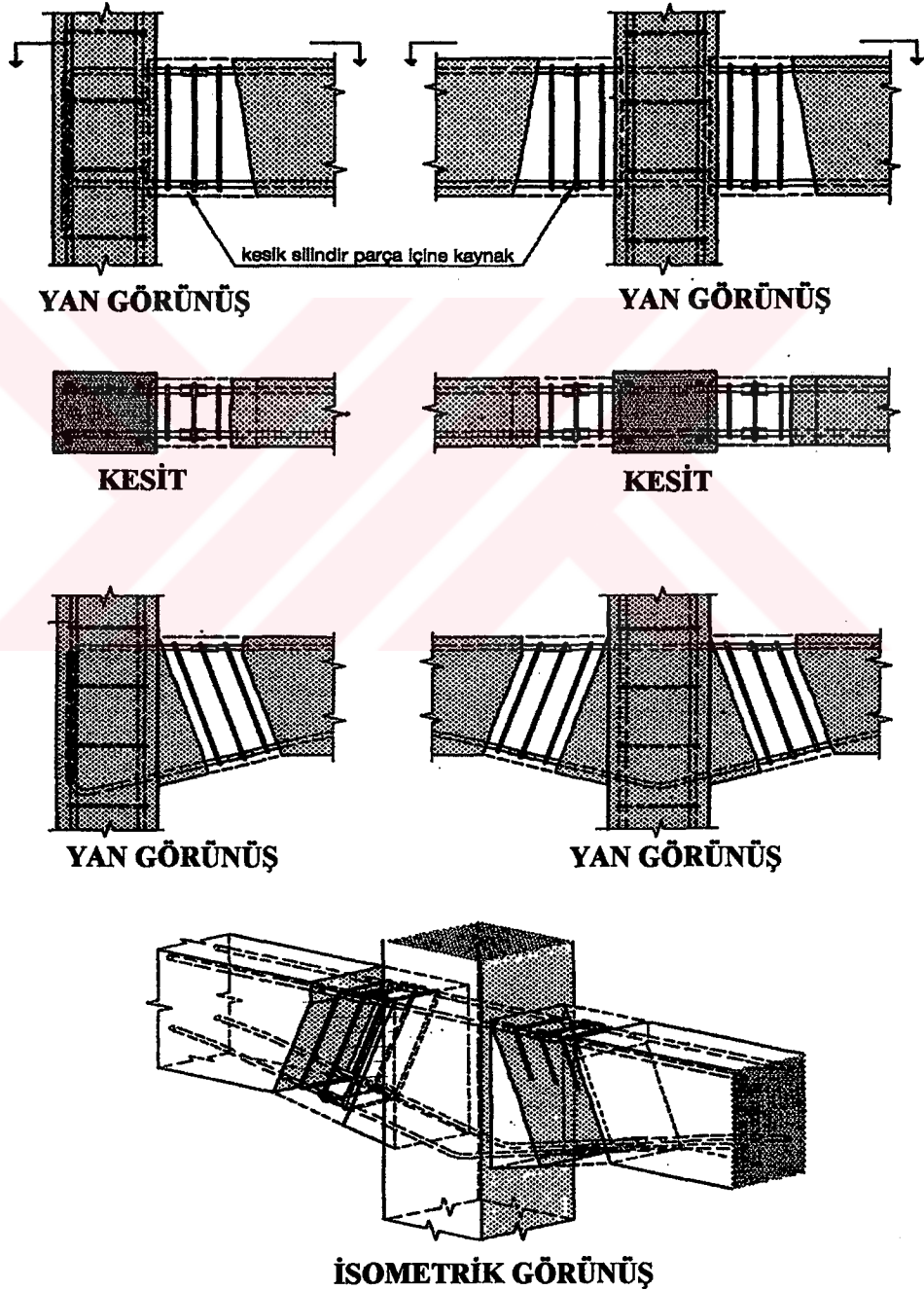
olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

b1) *Yapısal süreklilik sağlanmasının önemli olduğu birleşim türleri*: Özellikle eğilme momenti aktarmanın amaçlandığı bu birleşimler, kesit tesirlerinin aktarılmasında kullanılan birleşim araçlarının çeşitleri açısından sınıflandırılabilir. Bunlar, kolon-kiriş birleşimi üzerindeki örneklerle aşağıda verilmiştir [4,5].

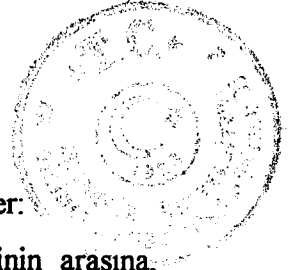


i) Donatının süreklilik sağlamada ağırlıklı rol oynadığı birleşim türleri:

Bu tip birleşimlerde, prefabrike kirişin boyu açıklıktan daha kısadır ve kiriş uçlarından donatılar çıkmaktadır. Kolondan çıkan filizler, bu donatılara kaynaklandıktan sonra birleşim, yerinde dökme beton ile tamamlanır (Şekil 1.8). Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanan bu tip birleşimlerle büyük yatay kuvvetler ve büyük eğilme momentleri aktarılabilir.

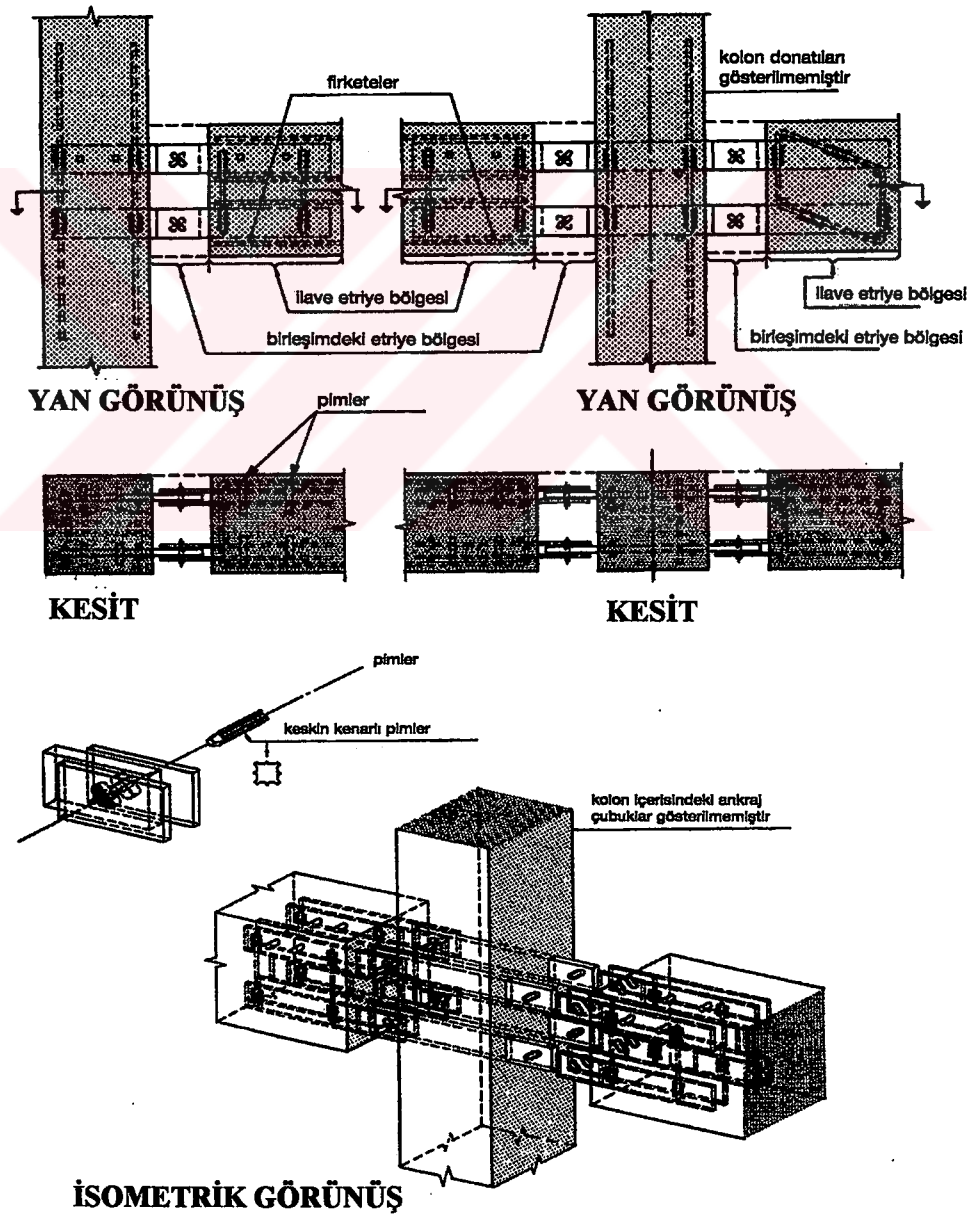


Şekil 1.8 Kirişteki yerinde dökme betonla kolon-kiriş birleşimi

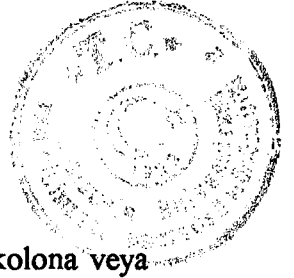


ii) Süreklilik sağlanmasında perçin (pim v.b.) kullanılmış birleşimler:

Bu tip birleşimlerde, kiriş uçlarından çıkan dikey plaka çiftlerinin arasına, kolonlardan çıkan dikey plakalar sokularak birbirlerine bindirilir. Birbirine bindirilen bu çelik plakalar perçinler ile birbirine bağlanır ve birleşim bölgesi yerinde dökme beton ile tamamlanır. Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanan bu tip birleşimlerle, büyük düşey ve yatay kuvvetler ve belli bir miktar eğilme momenti aktarılabilir. Birleşim, perçinler çakıldıktan sonra yük taşıyabildiğinden, birleşimin beton dökülerek tamamlanması daha ileri bir tarihe de bırakılabilir (Şekil 1.9).

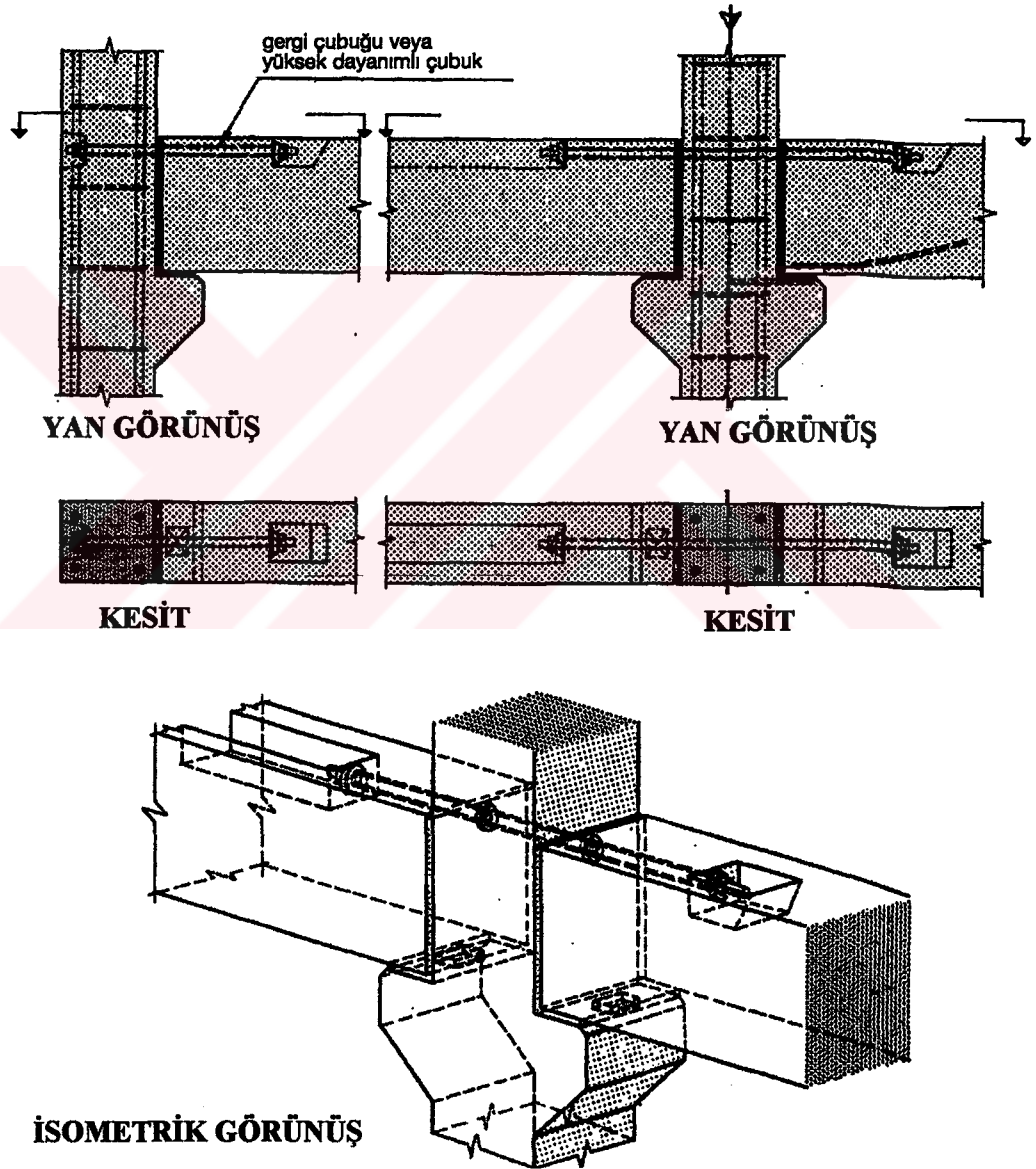


Şekil 1.9 Çelik plakaların perçinlerle bağlanması ile kolon-kiriş birleşimi



iii) Süreklilik sağlanmasında, bulon kullanılmış birleşimler:

Bu tip birleşimlerde kirişler, beton konsollar üzerine oturtularak kolona veya kolonun içinden geçerek karşı kirişe ulaşan gergi çubukları ile (veya yüksek dayanımlı bulon) karşı kirişe bağlanır. Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanan bu tip birleşimlerle, büyük yatay ve düşey kuvvetler aktarılabilir. Bulonlar kiriş kesitinin üst tarafına yerleştirildikleri takdirde, oldukça büyük eğilme momentleri de aktarılabilir (Şekil 1.10).

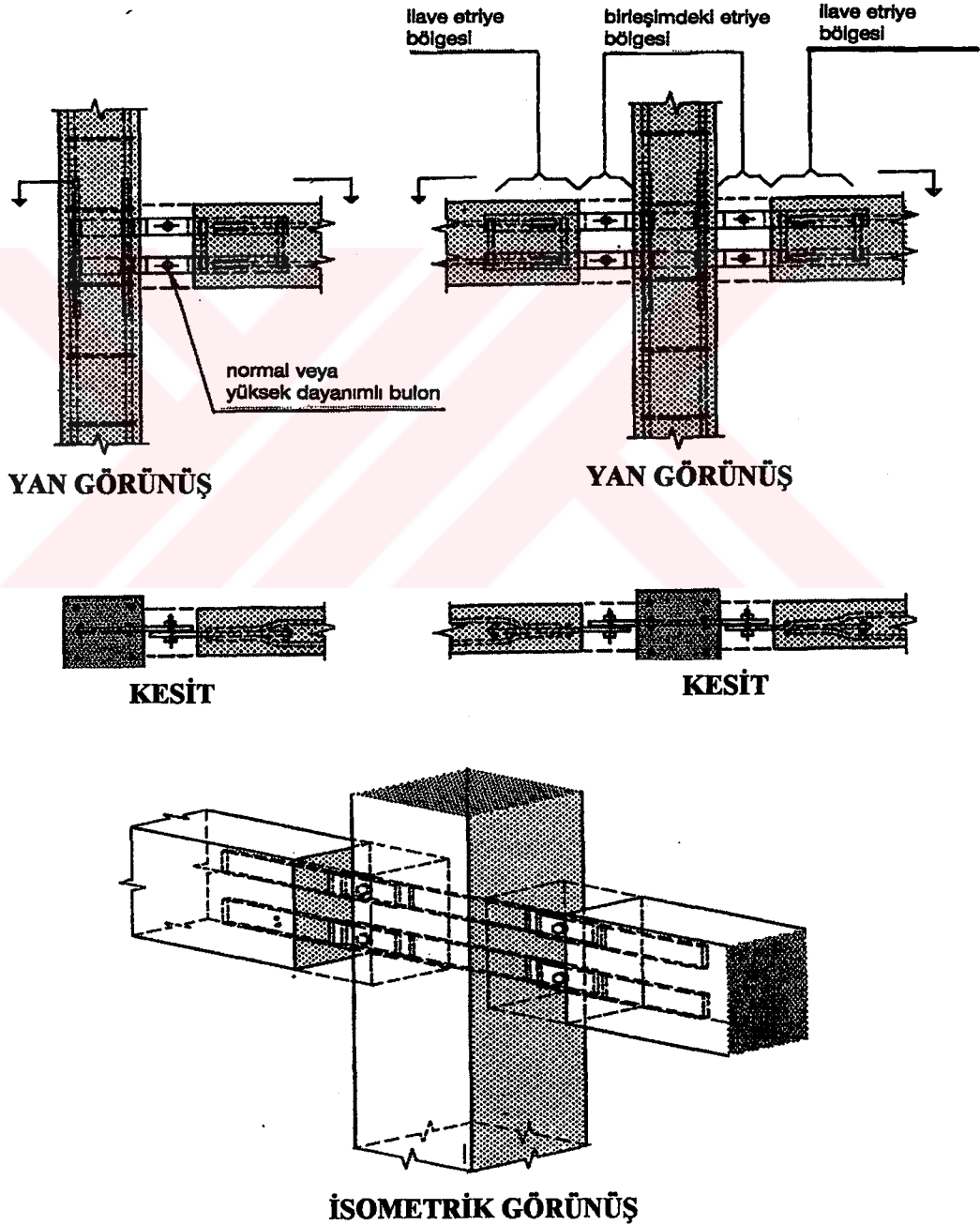


Şekil 1.10 Bulonlu kolon-kiriş birleşimi



iv) Beton içine süreklilik sağlayıcı çeşitli elemanların ankre edildiği birleşimler:

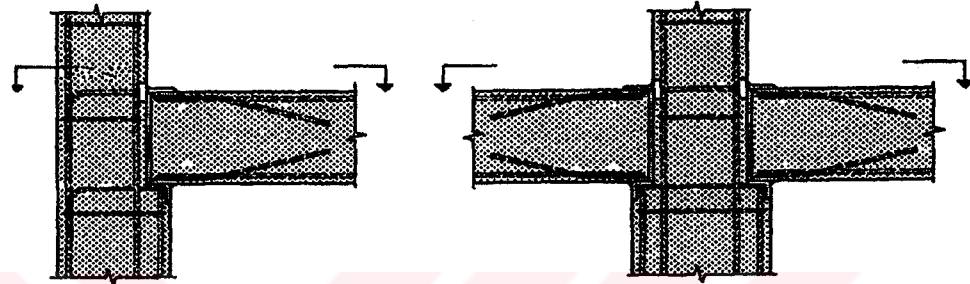
Bu tip birleşimlerde, kiriş uçlarından ve kolondan uzatılan çelik plakalar, birbirlerine bulonlanarak bağlantı sağlanır ve birleşim bölgesi yerinde dökme beton ile tamamlanır. Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanan bu tip birleşimlerle, bağlantı takviye edilmediği takdirde sadece küçük yatay ve düşey kuvvetler ile küçük eğilme momentleri aktarılabilir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11 Çelik plakaların bulonlanmasıyla kolon-kiriş birleşimi

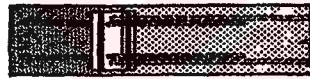
v) Plaka elemanlarının ağırlıklı işleve sahip bulunduğu birleşimler:

Bu tip birleşimlerde kiriş, çelik plaka kaplanmış mesnet yüzeylerine oturtulur ve mesnetin sürekliliği, kirişin alttan ve üstten kaynaklanarak kolona bağlanmasıyla sağlanır. Bu tip birleşimler, mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanır ve kiriş sehiminin az olduğu durumlarda, büyük düşey kesme kuvvetleri aktarabilir. Ayrıca, büyük yatay kuvvetleri ve her iki yönde büyük eğilme momentlerini aktarabilir (Şekil 1.12).



YAN GÖRÜNÜŞ

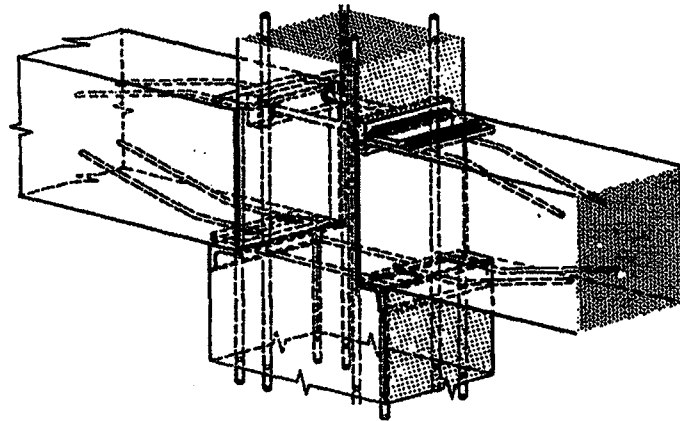
YAN GÖRÜNÜŞ



KESİT

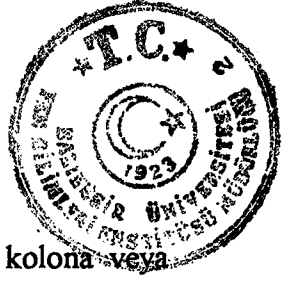


KESİT



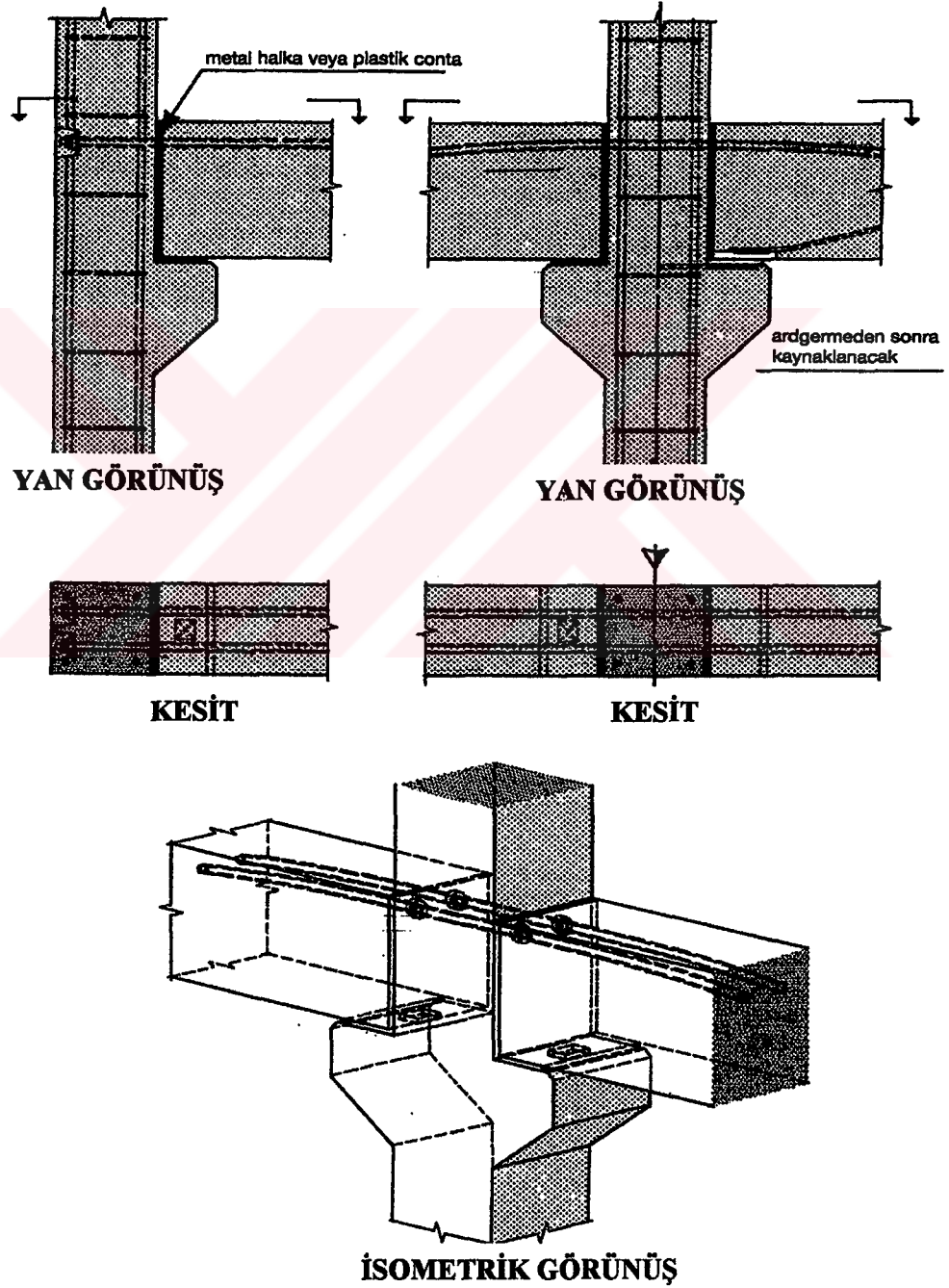
İSOMETRİK GÖRÜNÜŞ

Şekil 1.12 Kaynaklı çelik plakalarla kolon-kiriş birleşimi



vi) Öngerme kablolarının süreklilik amaçlı kullanıldığı birleşimler:

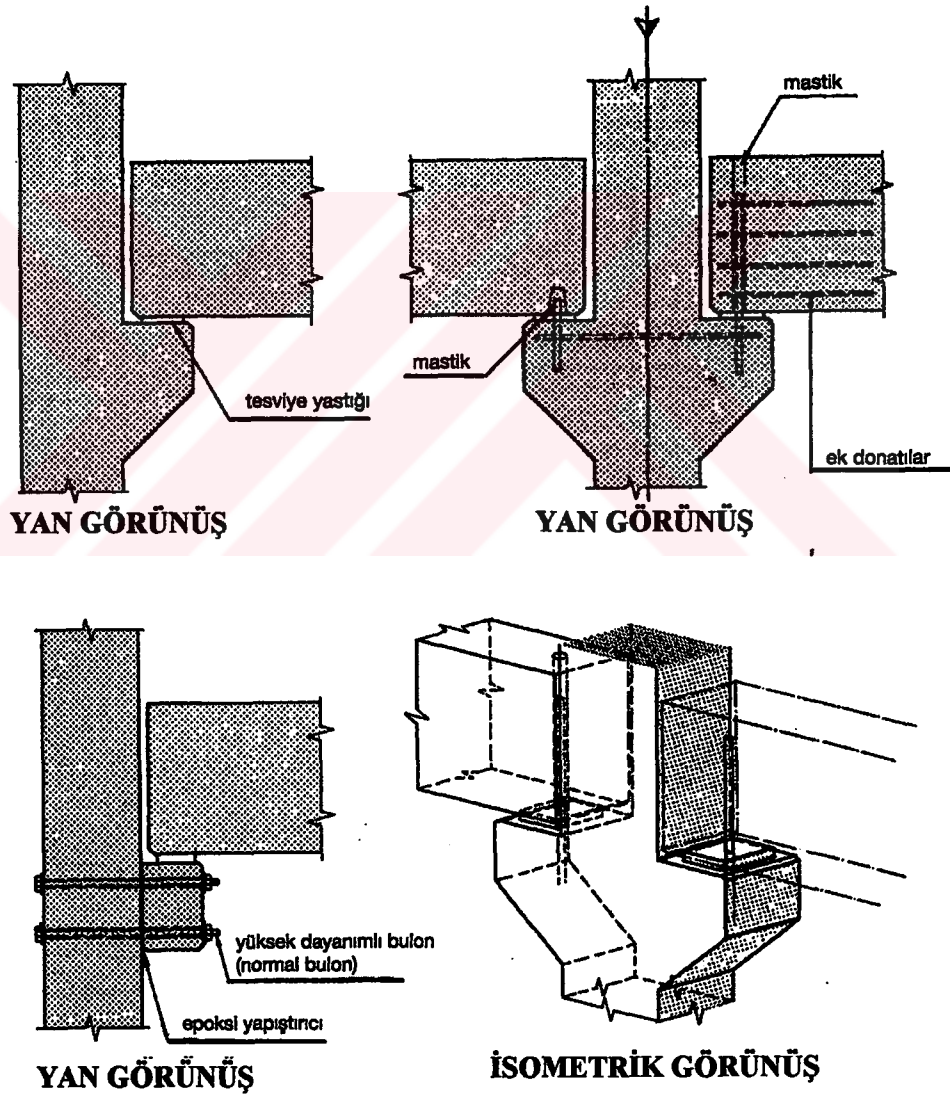
Bu tip birleşimlerde kirişler, beton konsol üzerine oturtularak kolona veya karşı kirişe ardgerme yöntemiyle bağlanır. Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanan bu tip birleşimlerle, büyük düşey ve yatay kuvvetler ve büyük eğilme momentleri aktarılabilir. Birleşim, görünüş ve davranış olarak yerinde dökme kolon-kiriş birleşimini andırır (Şekil 1.13).



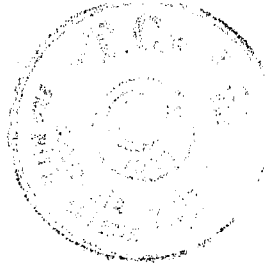
Şekil 1.13 Beton konsola mesnetlenen kirişlerde ardgermeli kolon-kiriş birleşimi



b2) *Sürekliğin az önemsendiği sadece düşey kesme kuvveti aktarmanın amaçlandığı birleşim türleri:* Tek veya az katlı orta önemde endüstriyel-ticari imalathane, depo vb. türü yapılarda, kolonların iki uç kat uzayacak biçimde yerde yapılıp dikilmesi pratik olabilmektedir. Bu yolla düşey doğrultuda süreklilik kendiliğinden sağlanmaktadır. Yatay elemanların düşey elemanlara bağlantısı ise kolonlarda kat hizalarında bırakılmış konsol çıkıntılara bağlanması ile sağlanmaktadır (Şekil 1.14). Bu yolla kesme kuvveti aktarımı sade biçimde sağlanmakta ancak, konsol çıkıntılarının kayma ve köşegen gerilme tahkikleri önem kazanmaktadır.



Şekil 1.14 Sadece düşey kesme kuvveti aktarılan kolon-kiriş birleşimi



1.2 Elastik Birleşimli Dügüm Noktaları

a) *Rijit düğüm noktası*: Çubukların rijit olarak birleştikleri noktalardır. Bu türlü düğüm noktalarında çubuklardan biri diğerine, düzlem sistemlerde doğrultuları belli iki kuvvet ile birlikte bir moment aktarır (Şekil 1.15).



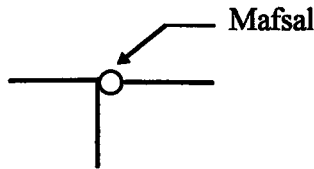
Şekil 1.15 Rijit düğüm noktası

b) *Mafsallı düğüm noktası*: İki çubuğun birbirine bir mil etrafında serbestçe dönebilecek şekilde bağlanması ile oluşan düğüm noktasıdır (Şekil 1.16). Bu tip bir düğüm noktasında bir çubuk diğerine moment tatbik edemez, ancak doğrultuları belli iki kuvvet aktarabilir.



Şekil 1.16 Mafsallı düğüm noktası

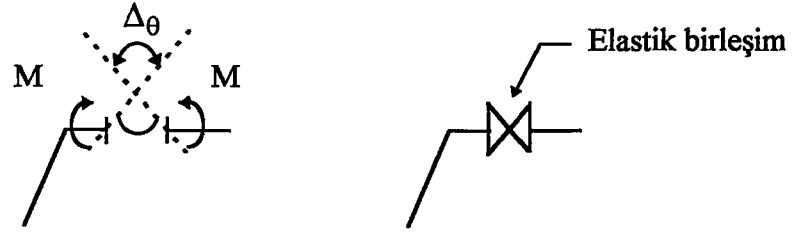
c) *Rijit düğüm noktasına mafsallı birleşim*: Birbirine rijit olarak bağlı çubukların oluşturduğu düğüm noktasına (rijit düğüm noktası), bir veya daha fazla çubuğun serbestçe dönebilecek (mafsallı) şekilde bağlanmasıyla elde edilen birleşimdir (Şekil 1.17).



Şekil 1.17 Rijit düğüm noktasına mafsallı birleşim



d) *Dönmeye karşı elastik ankastre düğüm noktası*: M eğilme momenti ile, iki kenarın birbirine göre rölatif dönmesi arasındaki oranın sabit olduğu düğüm noktasıdır (Şekil 1.18). Pozitif olan bu sabit orana *birleşim redörü* veya *elastik dönme redörü* denir ve R_θ ile gösterilir.



Şekil 1.18 Dönmeye karşı elastik ankastre düğüm noktası

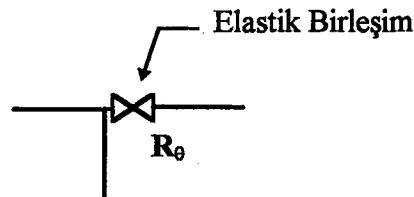
$$\text{Elastik birleşimde: } \frac{M}{\Delta_\theta} = \text{sabit} = R_\theta > 0 \quad (1.1)$$

$$\text{Mafsallı birleşimde : } R_\theta = 0$$

$$\text{Rijit birleşimde : } R_\theta = \infty$$

Bir elastik birleşimi 1 rad. döndürmek için gerekli moment olan R_θ , mafsallı birleşimlerde sıfır, rijit birleşimlerde ise sonsuz değerindedir [6-8].

e) *Rijit düğüm noktasına elastik birleşim*: Birbirine rijit olarak bağlı çubukların oluşturduğu düğüm noktasına (rijit düğüm noktası) bir veya daha fazla çubuğun, elastik dönme redörü ile dönebilecek şekilde bağlanmasıyla elde edilen birleşimdir (Şekil 1.19).



Şekil 1.19 Rijit düğüm noktasına elastik birleşim



Prefabrikte yapılarda karşılaşılan birleşimler çoğunlukla elastik birleşimlerdir. Bu birleşimlere ait elastik dönme redörlerinin (R_{θ}) deneysel veya analitik yollarla hesaplanması ve yapının gerçek davranışını elde edebilmek için bu redörün statik hesaplarda kullanılması gerekmektedir.

1.3 Konu ile İlgili Çalışmaların Gözden Geçirilmesi

1993'de M. Aydoğan "Tipik Bir Prefabrikte Çerçeve Elastik Birleşim Redörünün Sayısal Olarak Belirlenmesi" isimli bir çalışma yapmıştır [9]. Bu çalışmada, sanayi yapılarında sık kullanılan kırık kirişli betonarme çerçevelerdeki (lambda çerçeve sistem) bulonlu tepe kiriş birleşiminin, elastik dönme redörü değeri sayısal olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, birleşimlerde bulunan bu elastik dönme redörü değeri kullanılarak çözümler yapılmış, bulunan kesit tesirleri ve deplasmanlar, birleşim bölgesinin sürekli olarak alınması ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

1993'de O. Aksoğan, A. Vatani Oskouei, S.S. Akavcı, "Uçlarında Rijit Bölgeler Bulunan Elastik Bağlı Çubuklardan Oluşan Çerçevelerin Nonlinear Analizi" konusunda bir çalışma yapmışlardır [10]. Bu çalışmada, düğüm noktalarına rijit uçlarla ve dönel yaylarla bağlı çubuklardan oluşan çerçevelerin nonlinear analizi, yayların nonlinear davranışının üçüncü dereceden bir polinom olduğu varsayımıyla yapılmış ve bu konuda bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programı ile literatürdeki bazı özel örnekler çözülmüş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

1993'de M. Yavuz " Tek Katlı Prefabrik Sanayi Yapılarının Karşılaştırılması ve Bir Sistem Önerisi" isimli bir yüksek lisans tezi yapmıştır [11]. Bu çalışmada, lambda sistemlerdeki tepe kiriş birleşimi için, analitik olarak bir elastik dönme redörü hesaplanmış ve elastik birleşimli prefabrikte çerçeve çözümü, kesit tesirleri açısından, sürekli ve mafsallı çözümlerle karşılaştırılmıştır.

1993'de G. Aşkar, A. M. Köylüoğlu ve Y. Yuva "Yarı-Rijit Yapısal Birleşimlerin Davranışları" isimli bir çalışma yapmışlardır [12]. Bu çalışmada, yapısal



birleşimlerin, lineer olmayan davranışlarını veren son dönemlerdeki matematik ve mekanik modelleme çalışmaları ile deneysel araştırma çalışmaları gözden geçirilmiş, birleşimlerin yarı-rijit (elastik) olmasının çerçeve davranışına etkisinin önemli olduğu üzerinde durulmuştur.

1995’de M. Aydoğan ve A. Y. Aköz “ A Numerical Approach to Define the Rotational Stiffness of a Prefabricated Connection and Experimental Study” konusunda bir çalışma yapmışlardır [13]. Bu çalışmada, bir prefabrike betonarme çerçevenin tepe kirişindeki tipik birleşimin elastik dönme redörünü tanımlamak için bir yaklaşım önerilmiştir. Birleşim için bulunan elastik dönme redörü değeri çerçeve analizinde kullanılarak gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmiş ve pratikte yapıldığı gibi, sürekli çözüm yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, birleşim bölgesi deneysel olarak da incelenmiş sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

1996’da M. Çolak “Prefabrike Kolon Kiriş Birleşiminin Elastik Dönme Redörünün Hesabı “ isimli bir yüksek lisans tezi yapmıştır [14]. Bu çalışmada lambda sistemlerde kullanılacak bir tevsii elemanın kolonla birleşim bölgesi analitik olarak incelenerek, birleşimin elastik dönme redörü değeri hesaplanmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, İ.T.Ü. laboratuvarlarında aynı birleşim için yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda statik hesaplarda kullanılmak üzere birleşime ait bir dönme redörü önerilmiştir.

1997’de U. Ersoy O.D.T.Ü. laboratuvarlarında, prefabrike yapıların deprem etkileri altında davranışını incelemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmıştır [15]. Bu çalışmalarda, mafsallı ve moment aktarabilen bağlantılara sahip çerçeveler ayrı ayrı ele alınmakta ve bunların deprem davranışları incelenmektedir. Ayrıca, çeşitli bağlantı türlerine sahip kolon-kiriş birleşimlerinin davranışları irdelenmekte ve deney sonuçlarına dayanılarak öneriler yapılmaktadır.



1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, prefabrike betonarme endüstri yapılarında yeni uygulanmaya başlanan bir *bulonlu kolon-kiriş birleşimi* incelenmiştir (Şekil 1.20), (Şekil 1.21).

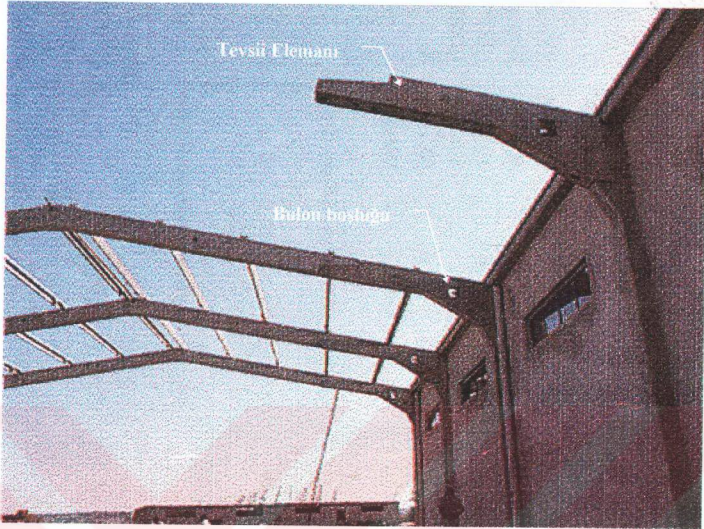
Buna göre;

- lambda çerçeve sistemlerde gerçekleştirilen birleşimin elastik dönme redörünün analitik olarak hesaplanması,
- bu hesaplamadan elde edilen sonuçların önceden yapılmış deneysel ve analitik çalışma [14,16-18] sonuçları ile karşılaştırılması,
- birleşim bölgesindeki gerilme dağılımlarını elde ederek, bölgeye daha uygun donatı yerleşimine olanak sağlanması,
- bulunan elastik dönme redörü değerinin, çerçevenin birleşim kesitinde gözönüne alınmasıyla elde edilen kesit tesirleri ve deplasmanların, birleşimin mafsallı ve sürekli (rijit) olması durumlarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak, elastik dönme redörünün çözüm sonuçlarına etkisinin belirlenmesi

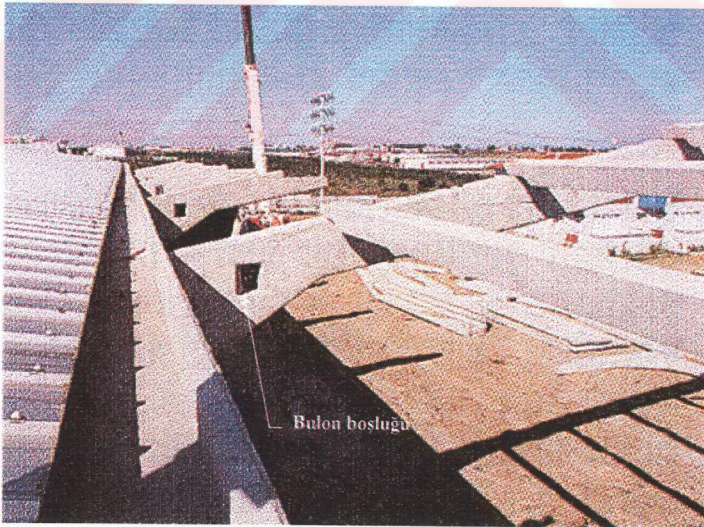
amaçlanmıştır.

Hesaplanan elastik dönme redörü değerinin statik analiz modellerinde kullanılması ile gerçeğe daha yakın kesit tesirleri elde edilebilecek ve yapı daha *güvenli* ve *ekonomik* olarak boyutlandırılacaktır. Ayrıca, elde edilen gerilme dağılımları ile kritik bölgeler belirlenerek, bu bölgelerde gereken donatı yerleşimine olanak verilmektedir.

Birleşimin elastik dönme redörünün hesabında izlenen analitik yolun, incelenen birleşimin özelliklerinden bağımsız ve genel olması amaçlanmıştır.



Şekil 1.20 Prefabrike tevsü elemanı ile genişletilen yapının alttan görünüşü



Şekil 1.21 Prefabrike tevsü elemanı ile genişletilen yapının üstten görünüşü

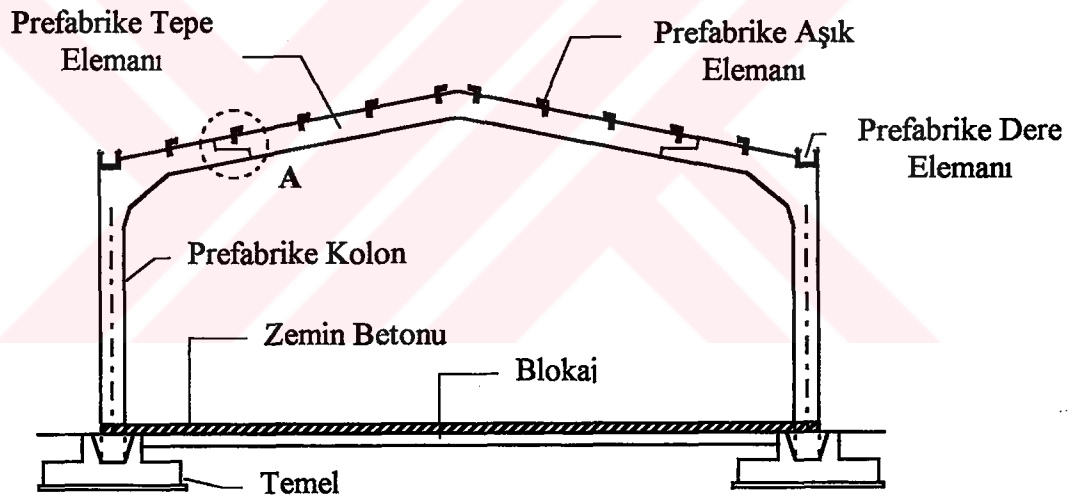


2. BULONLU KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİNİN HESAP ESASLARI

2.1 Lambda Çerçeve Sistemlerdeki Bulonlu Birleşimler

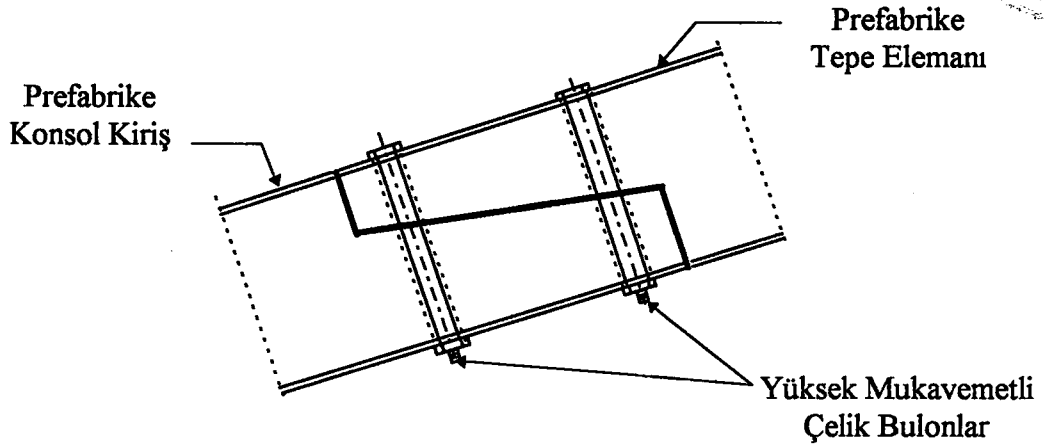
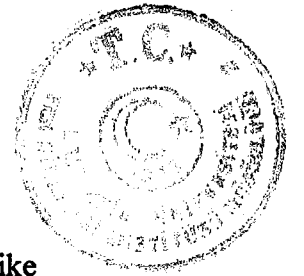
a) Bulonlu tepe kirişi birleşimi:

Endüstri yapılarında yaygın olarak kullanılan lambda çerçeve sistemlerde temeller, genellikle şantiyede yerinde dökme betonla imal edilmekte, fabrikada üretilmiş olan kolonlar ve tepe kirişi elemanlarının şantiyede montajı yapılmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Tek açıklıklı tipik lambda sistem

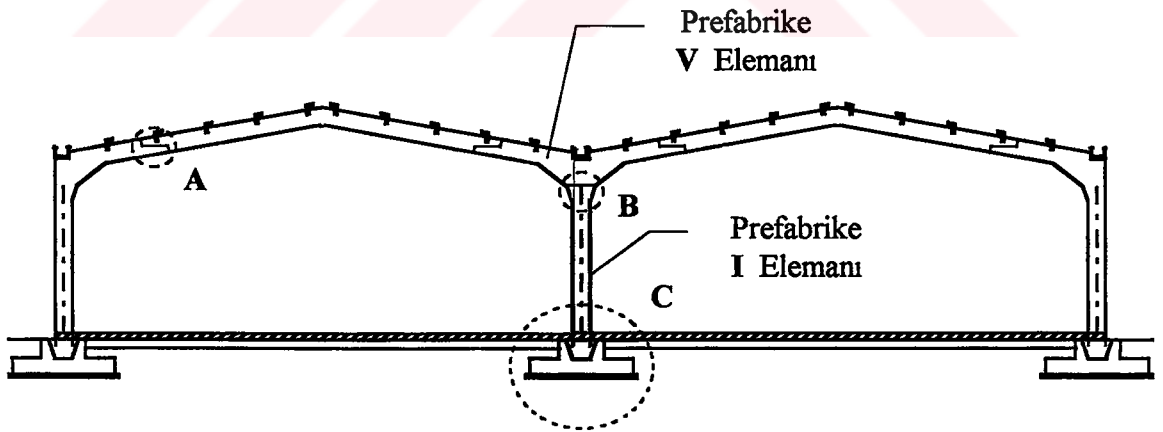
Prefabrike tepe kirişi ile prefabrike kolon birleşimi, sabit düşey yüklerden oluşan momentin sıfır olduğu nokta yakınlarında, moment aktaracak düzende yerleştirilen iki bulonla yapılmaktadır (Şekil 2.2). Bazı durumlarda moment sıfır noktası açıklık ortalarına yaklaşmakta, bu durumda, nakliye problemi nedeniyle birleşim moment sıfır noktasında yapılamamaktadır. Bu birleşimler gerek düşey yüklerden gerekse yatay yüklerden dolayı zorlanmakta ve belirli bir redörle dönmektedir. Gerçekte elastik olan bu birleşimler pratikte rijit, mafsallı veya her ikisinin ortalaması şeklinde hesaplarda gözönüne alınmaktadır [9].



Şekil 2.2 Bulonlu birleşim bölgesi (A Detayı)

b) Bulonlu orta kolon (I - V) birleşimi:

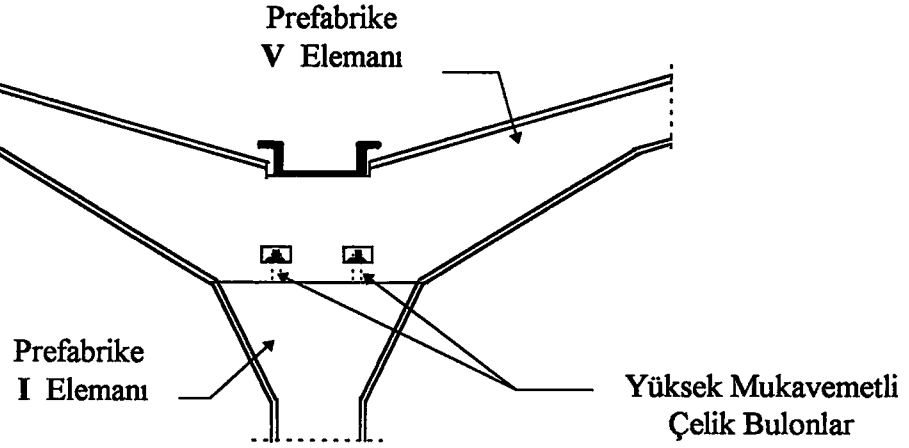
Lambda çerçeve sisteminin iki veya daha fazla açıklıklı olması durumunda, tek açıklıklı lambda sisteminden farklı olarak Şekil 2.3 de görüldüğü gibi, orta kolon iki tip prefabrike elemandan oluşmaktadır.



Şekil 2.3 İki açıklıklı lambda sistem



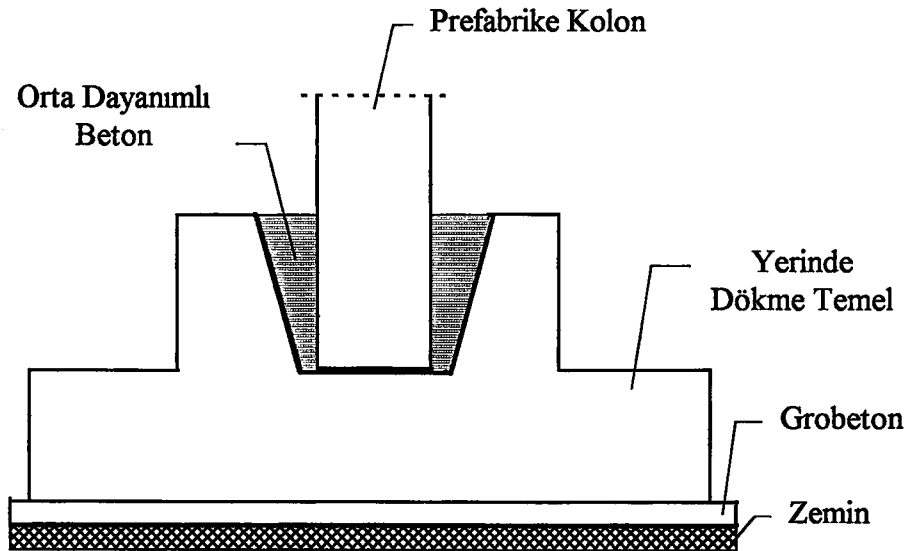
Bunlar prefabrike I ve V elemanlarıdır ve yüksek mukavemetli bulonlarla birleştirilerek orta kolon elde edilmektedir (Şekil 2.4).



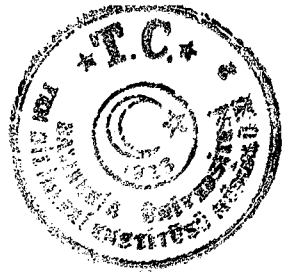
Şekil 2.4 Orta kolon birleşimi (B Detayı)

c) Kolon-temel birleşimi:

Lambda çerçeve sistemlerde çoğunlukla yuvalı temel olarak isimlendirilen tekil temel tipi kullanılır. Bu temeller genellikle yerinde dökme betonla şantiyede imal edildikten sonra kolonlar mevcut yuvalar içine oturtularak boşluklara orta dayanımlı beton (BS16 v.b.) doldurulur (Şekil 2.5).

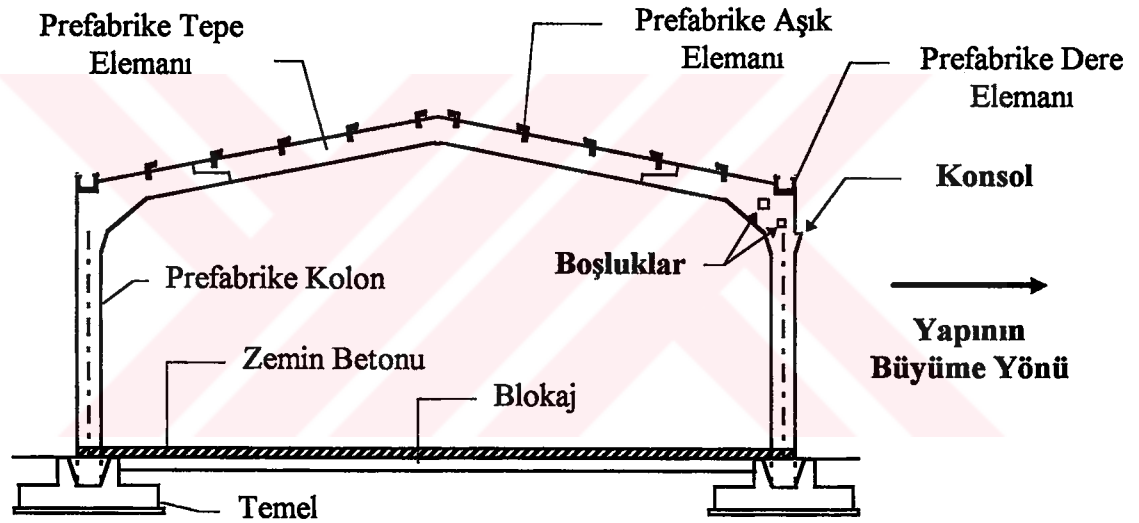


Şekil 2.5 Yuvalı tekil temel (C Detayı)



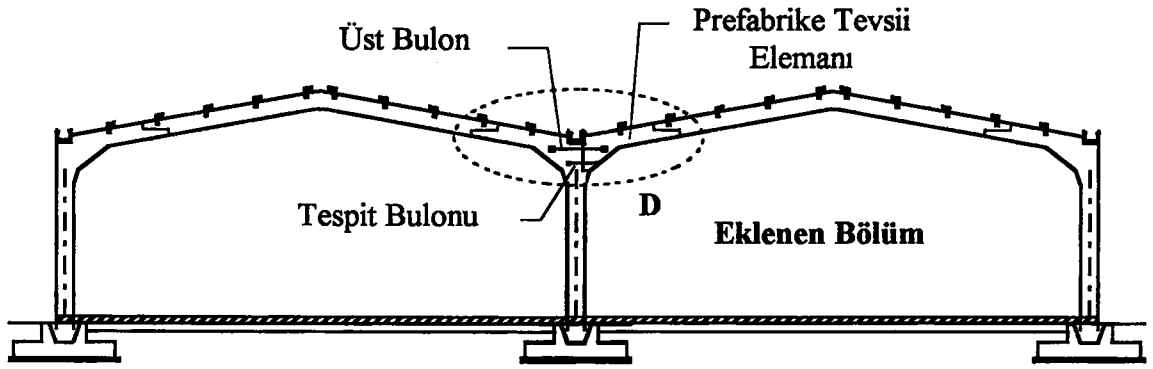
d) Bulonlu kolon-kiriş birleşimi:

Prefabrike sanayi yapılarında zaman zaman kapasite artırmak, farklı üretime geçmek ve benzeri sebeplerle mevcut binaya herhangi bir yönde veya her iki yönde ilave yapılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu gibi durumlarda yeni yapıya ait kolon ve temellerin teşkilinde uygulamada problemlerle karşılaşmaktadır. Böyle bir durumun önceden belirli olması halinde, iki yapının birleştiği yerde yeni kolon ve temel gerektirmeyecek bir prefabrike *tevsii* (genişletme) elemanı kullanılmaktadır (Şekil 1.20), (Şekil 1.21) [18]. Bunun için mevcut binanın genişleme tarafındaki kolonunda tevsii elemanının oturacağı bir konsol ve bulonlu birleşim için gerekli bazı boşluklar bırakılmaktadır, (Şekil 2.6).

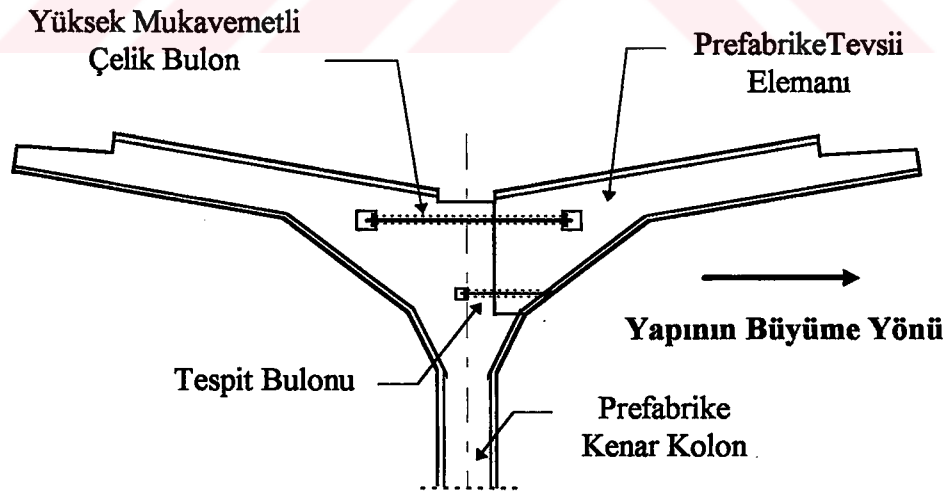


Şekil 2.6 Tek yönde büyütülecek lambda çerçeve sistem

İki açıklıklı lambda sistemlerdeki V elemanının yarısı kadar olan tevsii elemanı, mevcut yapı üzerindeki konsola oturtularak yüksek mukavemetli bir bulon ile kolona bağlanır, (Şekil 2.7). Bu bulon, kolonun üst ucunda oluşan momentin karşılanmasında çekme bulonu olarak kullanılır. Ayrıca birleşimdeki basınç bölgesinde birleşimin stabilitesi için bir tesbit bulonu kullanılır, (Şekil 2.8). Bu tez çalışmasında, bu birleşim ele alınarak incelenecektir.



Şekil 2.7 Bulonlu kolon-kiriş birleşimi ile genişletilen yapı



Şekil 2.8 Moment aktaran bulonlu kolon-kiriş birleşimi (D detayı)



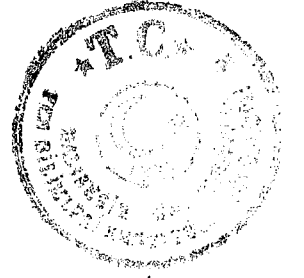
2.2 Elastik Dönme Redörünün Belirlenmesi

Prefabrike tevsii (genişletme) elemanı, mevcut yapının kolon ve kirişinin birleştiği rijit düğüm noktasına yüksek mukavemetli çelik bulonlarla bağlanmakta ve böylece rijit düğüm noktasına bağlanan elastik bir birleşim oluşturulmaktadır (Şekil 1.19). Elastik birleşimli sistemin analitik çözümünün yapılabilmesi için birleşimin elastik dönme redörü R_0 değerinin bilinmesi gerekmektedir.

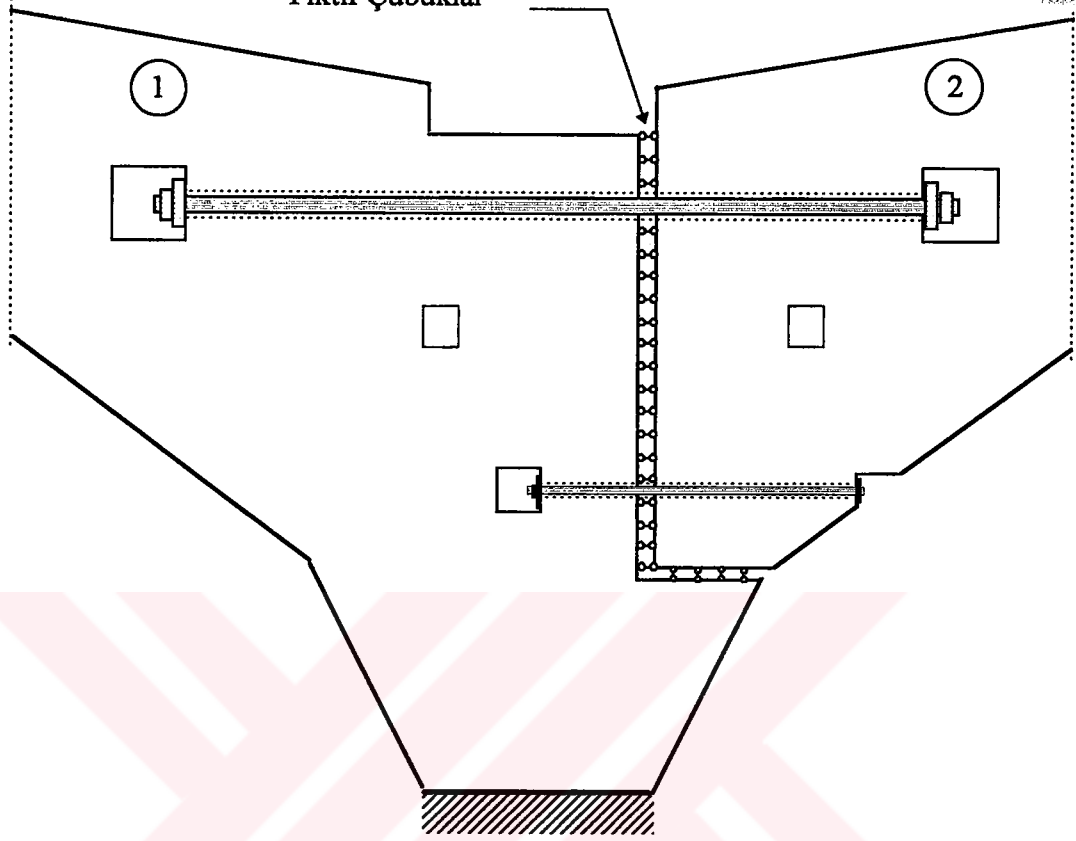
Bunun için öncelikle birleşim civarında yeterli uzunlukta bir bölge ele alınıp uygun şekilde mesnetlendirilerek bir başlangıç hesap modeli oluşturulmaktadır. (Şekil 2.9). Yükleme sonrasında birleşim kesitinde çekmenin olduğu kısımlarda bir ayrılma, basınç bölgesinin olduğu kısımlarda ise bir temas meydana gelmektedir. Basınç bölgesinin uzunluğu başlangıçta bilinmediğinden bir ardışık yaklaşım yolu ile belirlenmektedir. Buna göre, öncelikle birleşimdeki ayrıtlar boyunca iki ucu mafsalı fiktif çubuklar yerleştirilmektedir (Şekil 2.9). Elde edilen sistem işletme yükleri altında sonlu elemanlar yöntemiyle bir levha problemi şeklinde çözülerek fiktif çubuklardan çekme kuvveti taşıyanlar sistemden kaldırılmakta, kalan çubuklar ile sistem tekrar çözülmektedir. Bu işleme, çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk kalmayınca kadar devam edilerek, birleşimi temsil eden sistem hesap modeli belirlenmektedir.

Elde edilen bu sistem hesap modeli üzerinde yük artımı uygulanarak her bir yük değeri için birleşim kesitindeki rölatif dönme θ_E ile eğilme momenti M_E hesaplandıktan sonra (2.1) bağıntısı ile birleşimin elastik dönme redörü R_0 değeri belirlenmektedir (Şekil 2.10).

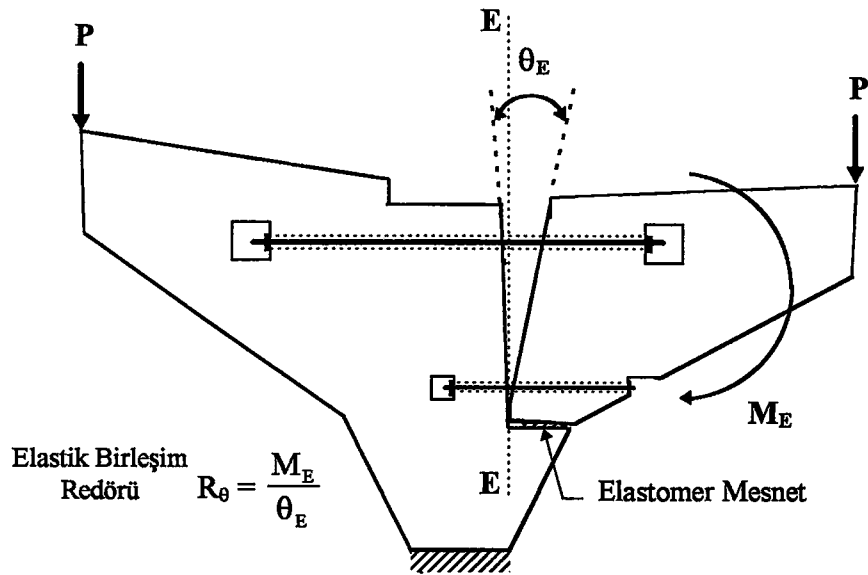
$$\text{Elastik dönme redörü : } R_0 = \frac{M_E}{\theta_E} \quad (2.1)$$



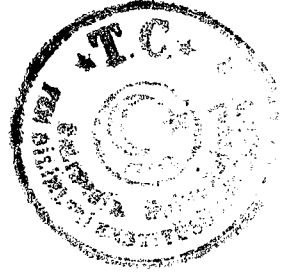
İki Ucu Mafsallı
Fiktif Çubuklar



Şekil 2.9 Başlangıç hesap modeli



Şekil 2.10 Rijit düğüm noktasına elastik birleşim



2.3 Varsayımlar ve Hesap Yöntemi

Birleşim için yapılan hesaplardaki varsayımlar şunlardır:

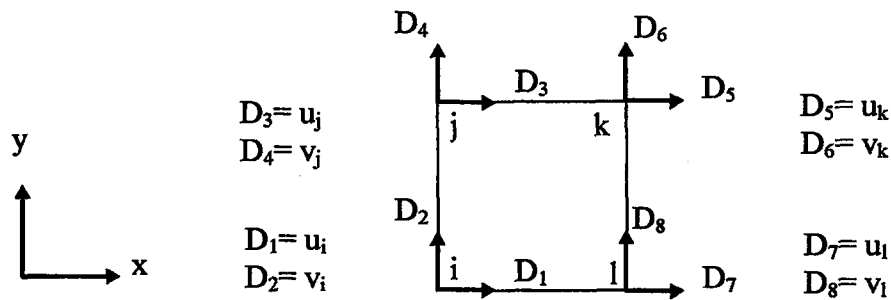
- *I. mertebe teorisi* geçerlidir.
- Malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntısı *lineer-elastik*' tir.

İncelenen birleşim bölgesi idealleştirildikten sonra sonlu elemanlar yöntemiyle çözülmüştür. Sistemdeki betonarme elemanlar levha eleman olarak, çelik bulonlar, lamalar ve fiktif çubuklar düzlem çubuk eleman olarak tanımlanmaktadır. Bir boyutu diğer iki boyutu yanında çok küçük olan ve simetri düzlemi içindeki kuvvetlerle yüklü bulunan levha elemanlarda altı gerilme bileşeninden ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$) üçünün ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) değerinin kalınlık doğrultusunda değişmediği yani;

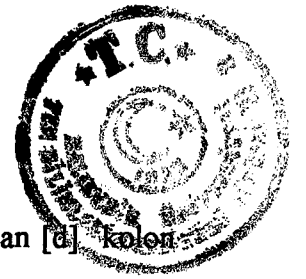
$$\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad (2.2)$$

olduğu varsayımına göre düzlem gerilme hali için hesap yapılacaktır [19,20].

Sistemde dikdörtgen sonlu elemanlar kullanılmış ve uç deplasmanları olarak Şekil 2.11'de görüldüğü gibi eleman köşe noktalarının u,v doğrusal deplasman bileşenleri alınmıştır. Bu durumda bir dikdörtgen sonlu eleman için toplam uç deplasmanı sayısı 8 olmaktadır [22].



Şekil 2.11 Dikdörtgen sonlu eleman uç deplasmanları ve pozitif yönleri



Şekil 2.11'deki dikdörtgen elemanda uç deplasmanlarından oluşan $[d]$ kolon matrisi,

$$[d] = [D_1 D_2 D_3 D_4 D_5 D_6 D_7 D_8]^T \quad (2.3)$$

şeklindedir. Yakınsaklık kriterlerini ve geometrik uygunluk şartlarını sağlayan deplasman fonksiyonu $[u]$,

$$[u] = [A] [a] \quad (2.4)$$

şeklinde matris formunda yazılabilir. Burada;

$[A]$: deplasman fonksiyonlarını belirleyen, koordinatlara bağlı dikdörtgen matrisi,

$[a]$: uç deplasmanları sayısına eşit sayıdaki sabitlerden oluşan kolon matrisi göstermektedir.

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & x & y & xy & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x & y & xy \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$[a] = [a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_8]^T \quad (2.6)$$

$$[u] = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

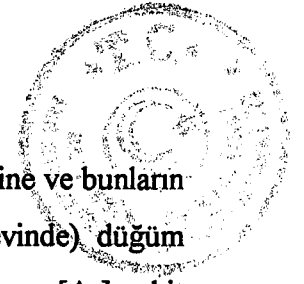
(2.5) ve (2.6) ifadeleri (2.4) de yerine konursa (2.7) deki u ve v deplasman fonksiyonları, aşağıda verilen (2.7a) ve (2.7b) ifadeleri şeklinde elde edilir.

$$u = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 xy \quad (2.7a)$$

$$v = a_5 + a_6 x + a_7 y + a_8 xy \quad (2.7b)$$

Uç deplasmanları matrisi $[d]$, (2.8) bağıntısı ile ifade edilmektedir [22].

$$[d] = [A_d] [a] \quad (2.8)$$



Uç deplasmanlarının düğüm noktalarındaki deplasman bileşenlerine ve bunların türevlerine eşit oldukları düşünülerek $[A]$ matrisinde (gerekirse türevinde) düğüm noktaları koordinatları sırası ile yerlerine yerleştirilerek $n \times n$ mertebeden $[A_d]$ sabit kare matrisi dikdörtgen sonlu eleman için,

$$[A_d] = \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i & x_i y_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x_i & y_i & x_i y_i \\ 1 & x_j & y_j & x_j y_j & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x_j & y_j & x_j y_j \\ 1 & x_k & y_k & x_k y_k & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x_k & y_k & x_k y_k \\ 1 & x_l & y_l & x_l y_l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x_l & y_l & x_l y_l \end{bmatrix}_{8 \times 8} \quad (2.9)$$

elde edilir. (2.8) denkleminde her iki taraf soldan $[A_d]^{-1}$ ile çarpılarak,

$$[a] = [A_d]^{-1} [d] \quad (2.10)$$

elde edilir ve (2.4) denkleminde yerine konursa, eleman içindeki deplasman bileşenlerini uç deplasmanlarına bağlayan (2.11) matris bağıntısı elde edilir.

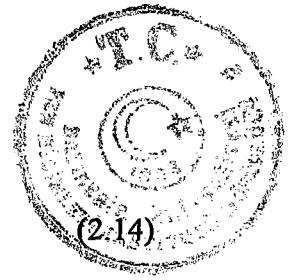
$$[u] = [A] [A_d]^{-1} [d] \quad (2.11)$$

$$[\varepsilon] = [\partial] [u] \quad (2.12)$$

(2.12) deki deformasyon ifadesinde $[u]$ nun (2.11) deki bağıntısı yerine yazılırsa

$$[\varepsilon] = [\partial] [A] [A_d]^{-1} [d] = [\partial A] [A_d]^{-1} [d] \quad (2.13)$$

şeklinde elde edilen ve deformasyonları uç deplasmanlarına bağlayan (2.13) deformasyon bağıntısı,



$$[\sigma] = [D] [\varepsilon]$$

(2.14) de verilen iç kuvvet-deformasyon bağıntısında yerine konursa,

$$[\sigma] = [D] [\varepsilon] = [D] [\partial A] [A_d]^{-1} [d] \quad (2.15)$$

(2.15) matris bağıntısı elde edilir. Dikdörtgen sonlu eleman için;

$$[\partial A] = [\partial] [A] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & x & y & xy & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x & y & xy \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

$$[\partial A] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x \\ 0 & 0 & 1 & x & 0 & 1 & 0 & y \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

şeklinde belirlenir. İzotrop malzemede $[D]$, (2.18) bağıntısı ile verilmiştir.

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Virtüel iş teoreminde,

denge durumu için:

$$\text{dış etkiler} = 0, \quad [p] = [K] [d] + [0] \quad (2.19)$$



virtüel şekil değiştirme durumu için:

$$[d] = [I] \quad , \quad [\sigma] = [\partial A] [A_d]^{-1} [I] \quad (2.20)$$

alınırsa,

$$\text{dış kuvvetlerin işi} = [I]^T [p] = [K] [d] \quad (2.21)$$

$$\text{deformasyon işi} = \int_v \left[[\partial A] \quad [A_d]^{-1} \right]^T [D] [\partial A] [A_d]^{-1} [d] dv \quad (2.22)$$

olur. Virtüel iş teoremi gereğince, bu iki iş eşitlenerek dikdörtgen sonlu elemanın simetrik olan birim deplasman (rijitlik) matrisi $[K]$ (2.23) bağıntısı ile elde edilir.

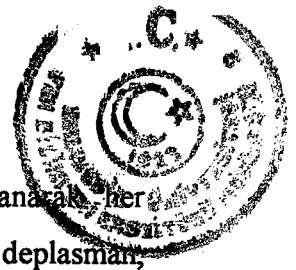
$$[K] = \int_v [A_d]^{-1T} [\partial A]^T [D] [\partial A] [A_d]^{-1} dv \quad (2.23)$$

İntegralin sınırlarını temsil eden “v” elemanın iç bölgesini ifade etmektedir. (2.23) bağıntısındaki işlemler yapıldığında dikdörtgen sonlu eleman için verilen $[K]$ eleman rijitlik matrisi, (2.24) ifadesindeki (bakınız, shf:36) gibi elde edilir. Burada

- E : malzemenin elastisite modülü,
- ν : malzemenin poisson oranı,
- h : levha elemanın kalınlığı,
- x, y : eleman düğüm noktası koordinatları

olarak tanımlanmıştır. Sistemdeki her sonlu eleman için hesaplanan $[K]$ eleman rijitlik matrisleri sistem eksen takımına dönüştürüldükten sonra $[S]$ sistem rijitlik matrisine uygun biçimde yerleştirilerek, sadece düğüm noktalarından yüklü sistem için (2.25) bağıntısı ile verilen denge denklemleri matrisi elde edilir ve bu denklem takımı çözümlerse $[d]$ uç deplasmanları matrisi sayısal olarak elde edilir.

$$[S] [d] = [q] \quad (2.25)$$



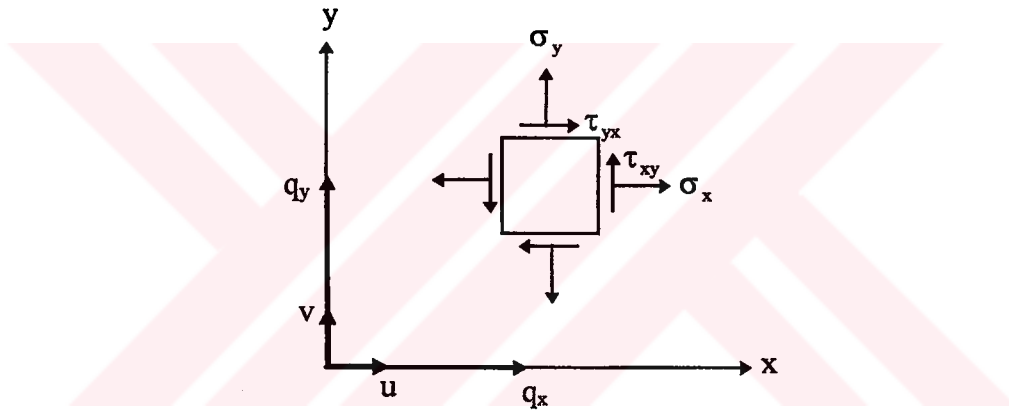
(2.26) ile verilen gerilme matrisinden (bakınız, shf:36) yararlanarak her elemanın düğüm noktalarındaki gerilme değerleri hesaplanabilir. Yük, deplasman, deformasyon ve iç kuvvet bileşenlerine ait matris ifadeleri sırasıyla (2.27), (2.28), (2.29), (2.30) bağıntıları ile verilmiş ve bunların pozitif yönleri Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

$$\text{yük matrisi} \quad : \quad [q] = [q_x \ q_y]^T \quad (2.27)$$

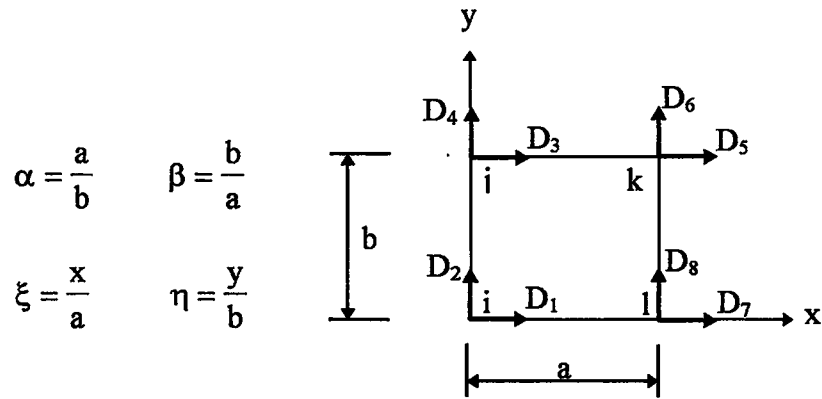
$$\text{deplasman matrisi} \quad : \quad [u] = [u \ v]^T \quad (2.28)$$

$$\text{deformasyon matrisi} \quad : \quad [\varepsilon] = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \gamma]^T \quad (2.29)$$

$$\text{iç kuvvet matrisi} \quad : \quad [\sigma] = [\sigma_x \ \sigma_y \ \tau]^T \quad (2.30)$$



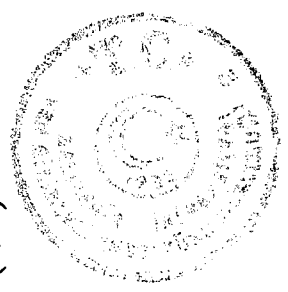
Şekil 2.12 Yük, deplasman ve iç kuvvet bileşenlerinin pozitif yönleri

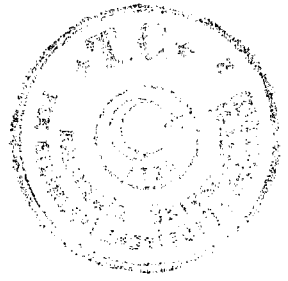


Şekil 2.13 Eleman rijitlik matrisi ve gerilme matrisi notasyonları

$$\begin{aligned}
 [K] &= \frac{Eh}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} \\ \frac{2\beta-2(1-\nu)\alpha}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} \\ \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} \\ \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} \\ \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} \\ \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} \\ \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} & \frac{4\alpha+2(1-\nu)\beta}{3(1-3\nu)} & \frac{4\beta+2(1-\nu)\alpha}{3(1+\nu)} \end{bmatrix} \\
 & \text{SİMETRİK} \\
 & (2.24)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\sigma] &= \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} \frac{(1-\eta)}{a} & \frac{\nu(1-\xi)}{b} & \frac{\eta}{a} & \frac{\nu(1-\xi)}{b} & \frac{\nu(1-\xi)}{b} & \frac{\eta}{a} & \frac{\nu(1-\xi)}{b} & \frac{\eta}{a} \\ \frac{\nu(1-\eta)}{a} & \frac{(1-\xi)}{b} & \frac{\nu(1-\eta)}{a} & \frac{(1-\xi)}{b} & \frac{(1-\xi)}{b} & \frac{\nu(1-\eta)}{a} & \frac{(1-\xi)}{b} & \frac{\nu(1-\eta)}{a} \\ \frac{(1-\nu)(1-\xi)}{2b} & \frac{(1-\nu)(1-\eta)}{2a} & \frac{(1-\nu)(1-\xi)}{2b} & \frac{(1-\nu)(1-\eta)}{2a} & \frac{(1-\nu)(1-\eta)}{2a} & \frac{(1-\nu)(1-\xi)}{2b} & \frac{(1-\nu)(1-\eta)}{2a} & \frac{(1-\nu)(1-\xi)}{2b} \end{bmatrix} \\
 & \begin{matrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \end{matrix} \\
 & (2.26)
 \end{aligned}$$



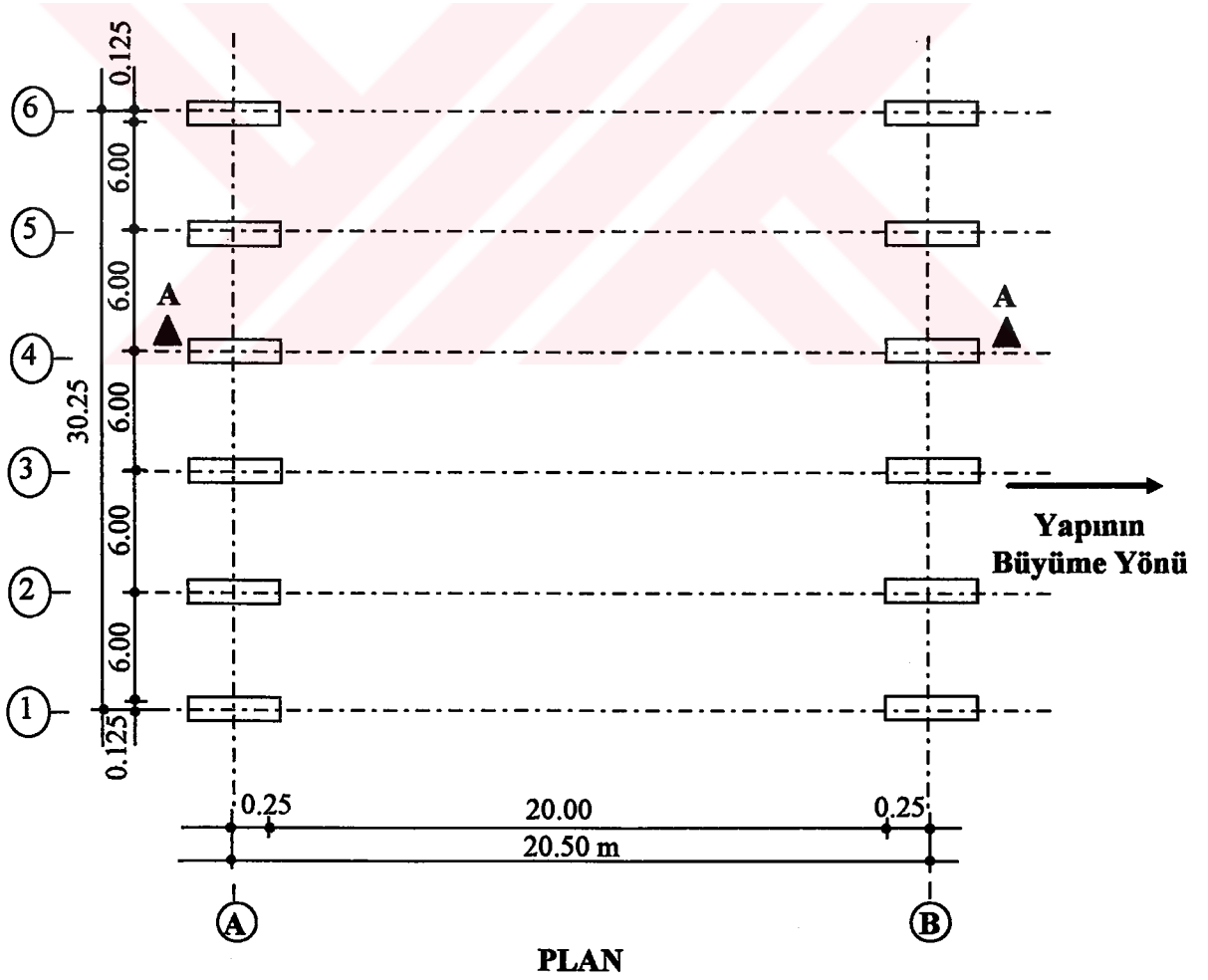
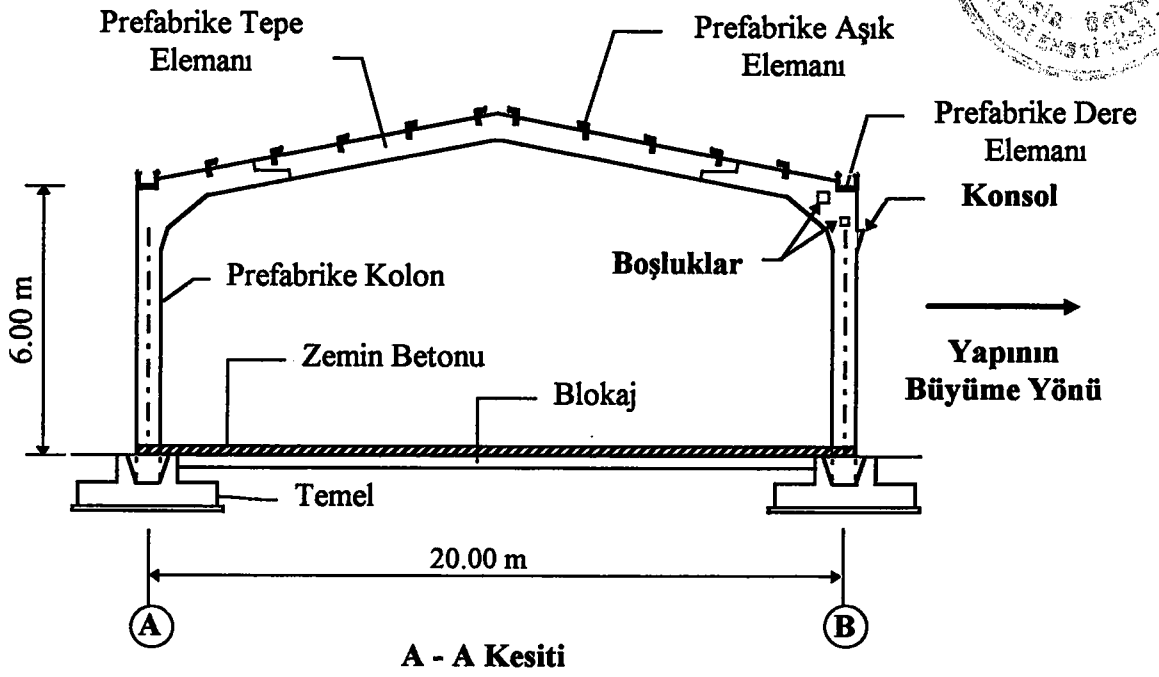


3. SAYISAL UYGULAMA

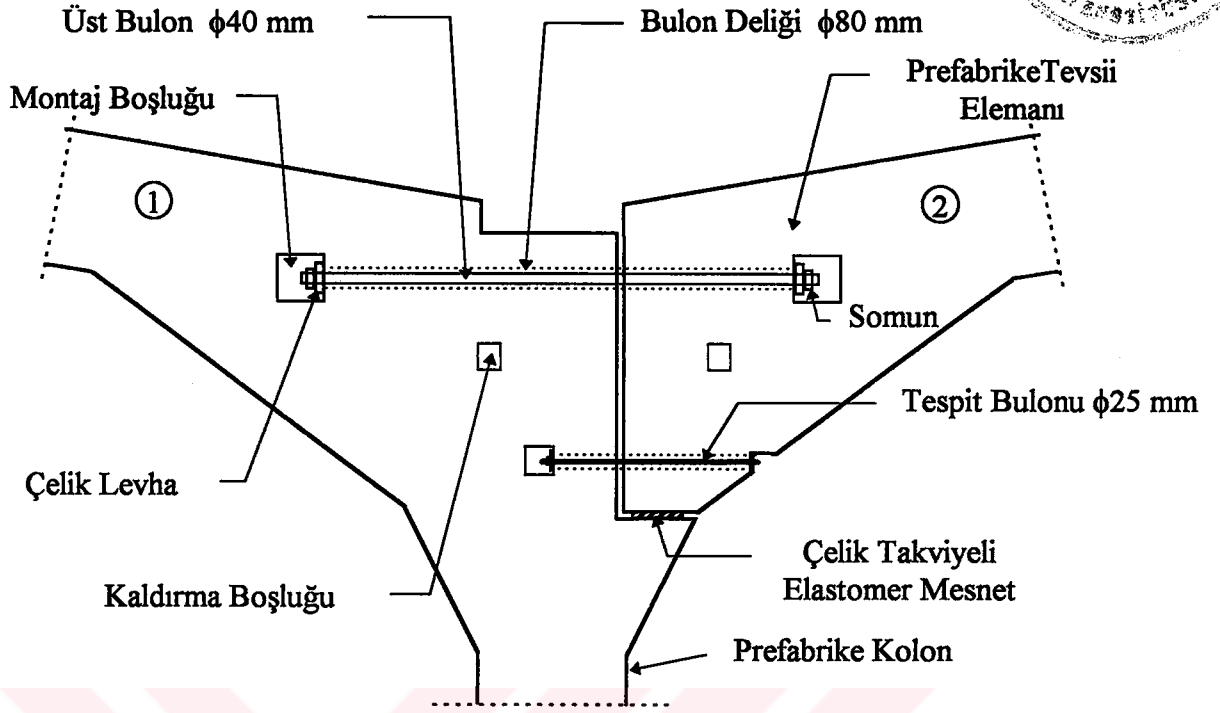
3.1 Örneğin Tanıtımı

Tevsii birleşimi ile ilgili hesapların yapılabilmesi için pratikte uygulanmakta olan tipik bir sanayi yapısı (lambda çerçeve sistem) örnek olarak seçilmiştir. Yapı, daha sonra prefabrike tevsii elemanı ile iki açıklıklı hale getirilecek şekilde tasarlanmış, tek açıklıklı bir yapıdır. Çatı kaplaması çift kat eternit, çatı eğimi % 20, yapı yüksekliği 6.00m, açıklığı kolon aksları arası 20.00m olan yapının çerçeve aks aralıkları 6.00m dir (Şekil 3.1). Seçilen yapıdaki birleşimde;

- betonarme prefabrike elemanlar ($E=2.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, $\nu = 0.15$),
- yüksek mukavemetli $\phi 40$ mm'lik bulon ve bu bulonun geçirileceği $\phi 80$ mm lik boşluk ($E=2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{akma} = 949 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{kopma} = 1045 \text{ N/mm}^2$),
- tespit bulonu olarak $\phi 25$ mm'lik bulon ve bu bulonun geçirileceği $\phi 50$ mm'lik boşluk ($E=2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{akma} = 949 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{kopma} = 1045 \text{ N/mm}^2$),
- tevsii elemanının kenar kolona montajının yapılabilmesi için derinlik boyunca bırakılan boşluklar ($\phi 40$ mm'lik bulon için 20×25 cm, $\phi 25$ mm'lik bulon için 10×15 cm boşluklar),
- çelik bulonların betona temas ettiği yüzeylerde bulonlardaki kuvvetleri betona aktarmak için çelik levhalar ($\phi 40$ mm'lik bulon için 2 adet $\sphericalangle 20 \times 200 \times 200$ mm'lik levha, $\phi 25$ mm'lik bulon için 1 adet $\sphericalangle 10 \times 150 \times 200$ mm'lik çelik levha, $E=2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$),
- tevsii elemanının kenar kolona oturduğu bölgede, betonda basınçtan dolayı oluşacak kırılmaları önlemek amacıyla çelik takviyeli elastomer mesnet ($10 \times 150 \times 150$ mm boyutlarında, $E=3 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$),
- üretim esnasında elemanları kalıptan almak amacıyla bırakılmış iki adet 10×10 cm boyutlarında boşluk bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Prefabrike yapının kesit ve planı

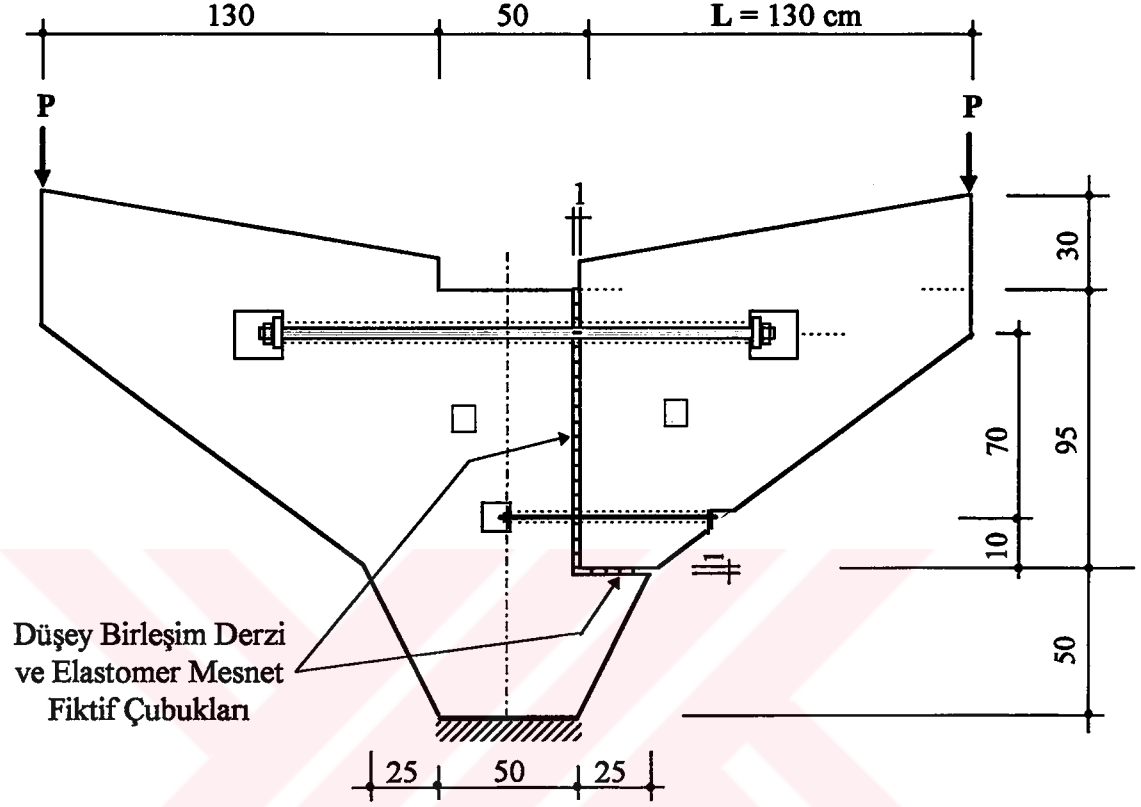


Şekil 3.2 Birleşim bölgesi ve özellikleri

3.2 Sistem Hesap Modelinin Belirlenmesi

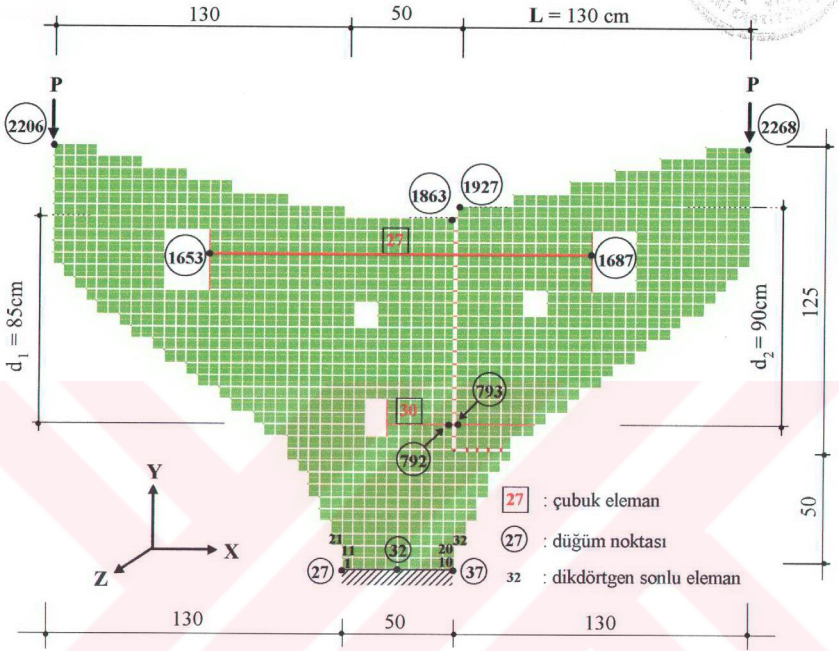
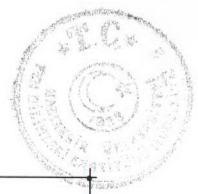
Moment aktaran bulonlu kolon-kiriş birleşiminin elastik dönme redörünün hesabı ve birleşim bölgesinin gerilme dağılımlarını elde edebilmek için, öncelikle sistem hesap modelinin belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.2’de özellikleri verilen birleşim bölgesi yapıdan ayrılarak alt kısımdan ankastre olarak mesnetlendirilmiş ve kirişlerin uç noktalarından P yüklemeleri yapılmıştır (Şekil 3.3).

Birleşim bölgesinin hesabı, sonlu elemanlar yönteminden yararlanarak yapılacaktır. Bunun için, birleşim bölgesi uygun sonlu elemanlarla temsil edilecektir. Buna göre, betonarme elemanlar dikdörtgen düzlem sonlu elemanlarla, çelik bulon ve lamalar düzlem çubuk elemanlarla, çelik takviyeli elastomer mesnet iki ucu mafsallı fiktif çubuk elemanlarla temsil edilmektedir. Birleşim ayrıtını temsil etmek için de iki ucu mafsallı fiktif çubuklar kullanılmaktadır. Birleşim ayrıtındaki temas (basınç) ve ayrılma bölgesi, Bölüm 2.2’de anlatıldığı gibi belirlenmektedir.



Şekil 3.3 Birleşim bölgesinin mesnetlenme ve yükleme şekli

Şekil 3.3'deki sistem, 1152 dikdörtgen düzlem sonlu elemana bölünmüş, iki elemanın birleştiği düşey ayırıt boyunca 5'er cm ara ile 20 adet iki ucu mafsallı fiktif çubuk eleman, çelik takviyeli elastomer mesnetin bulunduğu yatay ayırıtta 4 adet iki ucu mafsallı fiktif çubuk eleman ve çelik bulonlar ile lamalar için birer adet çubuk eleman tanımlanmış ve başlangıç hesap modeli elde edilmiştir. Düğüm noktaları, eleman numaraları ve sistem eksen takımının pozitif yönleri başlangıç hesap modeli üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Başlangıç hesap modeli

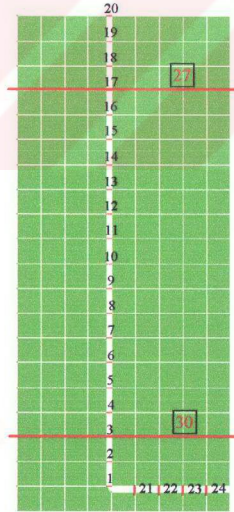
Başlangıç hesap modeline etkileyen P yükleri altında birleşimin üst kısmında iki elemanın birbirinden ayrılması, alt kısmında ise basınç bölgesinin oluşması beklenmektedir. Betonun betona temas ettiği basınç bölgesi uzunluğu başlangıçta bilinmediğinden bir ardışık yaklaşım yolu ile belirlenmektedir. Bu ardışık yaklaşım yoluna göre, sistem işletme yükleri altında çözülür, düşey ve yatay ayırıt boyunca yerleştirilen iki ucu mafsallı fiktif çubuklardan çekme kuvveti taşıyanlar (gerçekten birleşimde böyle bir eleman olmadığı için) kaldırılarak kalan çubuklar ile sistem tekrar çözülür. Bu işleme, çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk kalmayınca (tüm fiktif çubuklarda basınç kuvveti bulununcaya) kadar devam edilir. Böylece, birleşimi temsil eden *sistem hesap modeli* elde edilmiş olur.



Sistem hesap modelinin belirlenmesinde ve bu model üzerinde yapılan incelemelerdeki hesaplar, SAP90 “Yapı Analiz Programı”ndan yararlanarak yapılmıştır [23].

İşletme yükleri altında, birleşim noktasının sürekli (rijit) olarak çözümünden, birleşim kesitinde elde edilen eğilme momenti değeri $M=321.2$ KNm dir. Hesap modelindeki birleşim kesitinde $M=321.2$ KNm’lik eğilme momenti oluşması için, yükleme noktalarından (Şekil 3.4) $P=321.2/1.3 \cong 247$ KN’luk kuvvet uygulanması gerekmektedir.

Sistem ilk olarak işletme yükleri ($P=247$ KN) altında çözülmüş ve 9 adet (12,13,14,15,16,17,18,19,20 nolu fiktif çubuklar) çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk bulunmuştur. Bu çubuklar sistemden kaldırılarak yeniden çözüm yapılmıştır. Çözüm 1’in başlangıcında birleşim kesitindeki fiktif çubuklar Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Ayrıca, ilk çözüme ait bilgisayar programı data dosyası aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.5 Çözüm 1’de birleşim kesiti ve fiktif çubuklar



SAP90 Yapı Analiz Programı data dosyası:

Bulonlu Kolon-Kiriş Birleşimi (Çözüm 1)

SYSTEM

L=1

JOINTS

1 X=0.000 Y=0.000 Z=0.000
63 X=3. Q=1,63,2206,2268,1,63100 Y=0.000
2206 X=0.000 Y=1.750
2268 X=3.100 Y=1.750
2269 X=1.790 Y=0.500
2288 X=1.790 Y=1.450 G=2269,2288,1
2289 X=1.800 Y=0.490
2294 X=2.050 Y=0.490 G=2289,2294,1

RESTRAINTS

1 2294 1 R=0,0,1,1,1,1
27 37 5 R=1,1,1,1,1,1

C ÇUBUK ELEMANLARIN DATA BLOĞU

FRAME

NM=7

1 A=1000 I=0 E=2500000 : Yatay fiktif çubuklar
2 A=0.00126 I=0 E=20000000 : Çekme Bulonu
3 A=0.00049 I=0 E=20000000 : Basınç Bulonu
4 A=0.004 I=0.0000001333 E=20000000 : Üst bulon levhaları
5 A=0.0075 I=0 E=30000 : Elastomer mesnet fiktif çubukları
6 A=0.00375 I=0 E=30000 : Elastomer mesnet fiktif çubukları
7 A=0.002 I=0.00000001666 E=20000000 : Alt bulon levhası
1 2269 667 M=1 G=19,1,1,63
22 2291 669 M=5 G=1,1,1,1
21 2290 668 M=6 G=1,3,3,3
27 1653 1687 M=2
28 1498 1813 M=4
29 1464 1779 M=4
30 787 800 M=3
31 724 913 M=7

C LEVHA ELEMANLARIN DATA BLOĞU (DÜZLEM GERİLME HALİ)

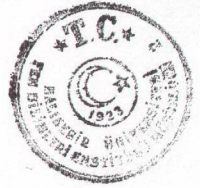
ASOLID

NM=1 ETYPE=2

1 NUMT=1

E=25E5 U=0.15

1 JQ=27,28,90,91 M=1 TH=0.25 LP=1 G=10,2
21 JQ=152,153,215,216 M=1 TH=0.25 LP=1 G=12,2
45 JQ=277,278,340,341 M=1 TH=0.25 LP=1 G=14,2
73 JQ=402,403,465,466 M=1 TH=0.25 LP=1 G=16,2
105 JQ=527,528,590,591 M=1 TH=0.25 LP=1 G=18,1
123 JQ=590,591,653,654 M=1 TH=0.25 LP=1 G=13,1
141 JQ=652,653,715,716 M=1 TH=0.25 LP=1 G=14,1



161	JQ=713,714,776,777	M=1	TH=0.25	LP=1	G=9,1	
172	JQ=724,725,787,788	M=1	TH=0.25	LP=1	G=5,1	
185	JQ=775,776,838,839	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
197	JQ=787,788,850,851	M=1	TH=0.20	LP=1	G=5,1	: Bulon boşluğu
211	JQ=836,837,899,900	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
225	JQ=850,851,913,914	M=1	TH=0.25	LP=1	G=5,1	
241	JQ=898,899,961,962	M=1	TH=0.25	LP=1	G=20,1	
275	JQ=959,960,1022,1023	M=1	TH=0.25	LP=1	G=22,1	
313	JQ=1021,1022,1084,1085	M=1	TH=0.25	LP=1	G=23,1	
355	JQ=1082,1083,1145,1146	M=1	TH=0.25	LP=1	G=25,1	
399	JQ=1144,1145,1207,1208	M=1	TH=0.25	LP=1	G=26,1	
443	JQ=1205,1206,1268,1269	M=1	TH=0.25	LP=1	G=28,1	
491	JQ=1267,1268,1330,1331	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
512	JQ=1290,1291,1353,1354	M=1	TH=0.25	LP=1	G=6,1	
564	JQ=1353,1354,1416,1417	M=1	TH=0.25	LP=1	G=6,1	
541	JQ=1328,1329,1391,1392	M=1	TH=0.25	LP=1	G=23,1	
595	JQ=1390,1391,1453,1454	M=1	TH=0.25	LP=1	G=32,1	
651	JQ=1452,1453,1515,1516	M=1	TH=0.25	LP=1	G=8,1	
659	JQ=1464,1465,1527,1528	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
693	JQ=1502,1503,1565,1566	M=1	TH=0.25	LP=1	G=8,1	
701	JQ=1514,1515,1577,1578	M=1	TH=0.25	LP=1	G=9,1	
710	JQ=1527,1528,1590,1591	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
744	JQ=1565,1566,1628,1629	M=1	TH=0.25	LP=1	G=9,1	
753	JQ=1576,1577,1639,1640	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
763	JQ=1590,1591,1653,1654	M=1	TH=0.17	LP=1	G=21,1	: Bulon boşluğu
797	JQ=1628,1629,1691,1692	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
807	JQ=1639,1640,1702,1703	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
817	JQ=1653,1654,1716,1717	M=1	TH=0.17	LP=1	G=21,1	: Bulon boşluğu
851	JQ=1691,1692,1754,1755	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
861	JQ=1702,1703,1765,1766	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
871	JQ=1716,1717,1779,1780	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
905	JQ=1754,1755,1817,1818	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
915	JQ=1765,1766,1828,1829	M=1	TH=0.25	LP=1	G=35,1	
977	JQ=1828,1829,1891,1892	M=1	TH=0.25	LP=1	G=26,1	
1003	JQ=1864,1865,1927,1928	M=1	TH=0.25	LP=1	G=26,1	
1029	JQ=1891,1892,1954,1955	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
1050	JQ=1932,1933,1995,1996	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
1071	JQ=1954,1955,2017,2018	M=1	TH=0.25	LP=1	G=16,1	
1087	JQ=2000,2001,2063,2064	M=1	TH=0.25	LP=1	G=16,1	
1103	JQ=2017,2018,2080,2081	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
1115	JQ=2067,2068,2130,2131	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
1127	JQ=2080,2081,2143,2144	M=1	TH=0.25	LP=1	G=8,1	
1135	JQ=2134,2135,2197,2198	M=1	TH=0.25	LP=1	G=8,1	
1143	JQ=2143,2144,2206,2207	M=1	TH=0.25	LP=1	G=4,1	
1147	JQ=2201,2202,2264,2265	M=1	TH=0.25	LP=1	G=4,1	
1151	JN=603,0,604,0,0,0,666,2269,2289	M=1	TH=0.25	LP=1		
1152	JQ=589,590,652,653	M=1	TH=0.25	LP=1		
156	JQ=667,668,730,731	M=1	TH=0.25	LP=1	G=5,1	
178	JQ=730,731,793,794	M=1	TH=0.25	LP=1	G=7,1	
203	JQ=793,794,856,857	M=1	TH=0.20	LP=1	G=8,1	: Bulon boşluğu
231	JQ=856,857,919,920	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	



263	JQ=919,920,982,983	M=1	TH=0.25	LP=1	G=11,1	
299	JQ=982,983,1045,1046	M=1	TH=0.25	LP=1	G=13,1	
339	JQ=1045,1046,1108,1109	M=1	TH=0.25	LP=1	G=14,1	
382	JQ=1108,1109,1171,1172	M=1	TH=0.25	LP=1	G=16,1	
426	JQ=1171,1172,1234,1235	M=1	TH=0.25	LP=1	G=17,1	
472	JQ=1234,1235,1297,1298	M=1	TH=0.25	LP=1	G=19,1	
521	JQ=1297,1298,1360,1361	M=1	TH=0.25	LP=1	G=20,1	
573	JQ=1360,1361,1423,1424	M=1	TH=0.25	LP=1	G=6,1	
579	JQ=1368,1369,1431,1432	M=1	TH=0.25	LP=1	G=14,1	
628	JQ=1423,1424,1486,1487	M=1	TH=0.25	LP=1	G=6,1	
634	JQ=1431,1432,1494,1495	M=1	TH=0.25	LP=1	G=15,1	
681	JQ=1486,1487,1549,1550	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
732	JQ=1549,1550,1612,1613	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
785	JQ=1612,1613,1675,1676	M=1	TH=0.17	LP=1	G=12,1	: Bulon boşluğu
839	JQ=1675,1676,1738,1739	M=1	TH=0.17	LP=1	G=12,1	: Bulon boşluğu
893	JQ=1738,1739,1801,1802	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
951	JQ=1801,1802,1864,1865	M=1	TH=0.25	LP=1	G=26,1	
155	JQ=666,2269,729,2270	M=1	TH=0.25	LP=1		
177	JQ=729,2270,792,2271	M=1	TH=0.25	LP=1		
202	JQ=792,2271,855,2272	M=1	TH=0.25	LP=1		
230	JQ=855,2272,918,2273	M=1	TH=0.25	LP=1		
262	JQ=918,2273,981,2274	M=1	TH=0.25	LP=1		
298	JQ=981,2274,1044,2275	M=1	TH=0.25	LP=1		
338	JQ=1044,2275,1107,2276	M=1	TH=0.25	LP=1		
381	JQ=1107,2276,1170,2277	M=1	TH=0.25	LP=1		
425	JQ=1170,2277,1233,2278	M=1	TH=0.25	LP=1		
471	JQ=1233,2278,1296,2279	M=1	TH=0.25	LP=1		
520	JQ=1296,2279,1359,2280	M=1	TH=0.25	LP=1		
572	JQ=1359,2280,1422,2281	M=1	TH=0.25	LP=1		
627	JQ=1422,2281,1485,2282	M=1	TH=0.25	LP=1		
680	JQ=1485,2282,1548,2283	M=1	TH=0.25	LP=1		
731	JQ=1548,2283,1611,2284	M=1	TH=0.25	LP=1		
784	JQ=1611,2284,1674,2285	M=1	TH=0.17	LP=1		: Bulon boşluğu
838	JQ=1674,2285,1737,2286	M=1	TH=0.17	LP=1		: Bulon boşluğu
892	JQ=1737,2286,1800,2287	M=1	TH=0.25	LP=1		
950	JQ=1800,2287,1863,2288	M=1	TH=0.25	LP=1		
136	JQ=604,605,2289,2290	M=1	TH=0.25	LP=1	G=5,1	

LOADS

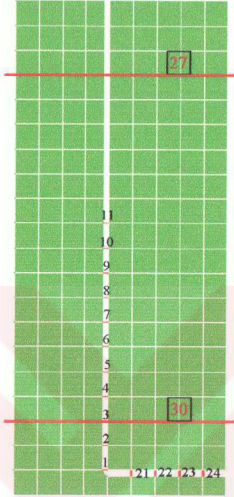
2206 L=1 F=0,-24.7,0 : (247 KN)

2268 L=1 F=0,-24.7,0 : (247 KN)

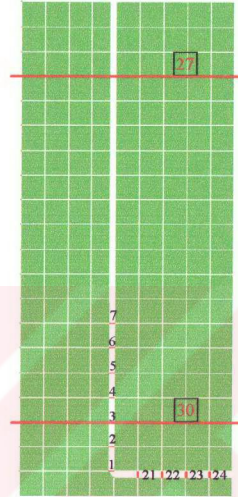
Çözüm 2'de 4 adet (8,9,10,11 nolu fiktif çubuklar) çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk bulunmuş ve bunlar sistemden kaldırılarak yeniden çözüm yapılmıştır. Çözüm 2'nin başlangıcında, birleşim kesitindeki fiktif çubuklar Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Çözüm 3’de 2 adet (6,7 nolu fiktif çubuklar) çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk bulunmuş ve bunlar sistemden kaldırılarak çözüm tekrarlanmıştır. Çözüm 3’ün başlangıcında, birleşim kesitindeki fiktif çubuklar Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Çözüm 2 fiktif çubukları



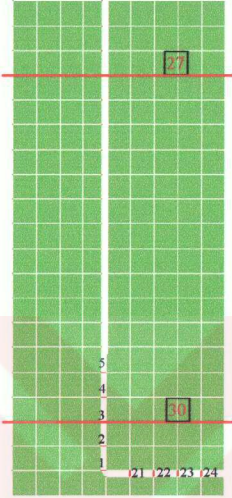
Şekil 3.7 Çözüm 3 fiktif çubukları

Çözüm 4’de yine 2 adet (4,5 nolu fiktif çubuklar) çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk bulunmuş ve bunlar sistemden kaldırılarak yeniden çözüm yapılmıştır. Çözüm 4’ün başlangıcında, birleşim kesitindeki fiktif çubuklar Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

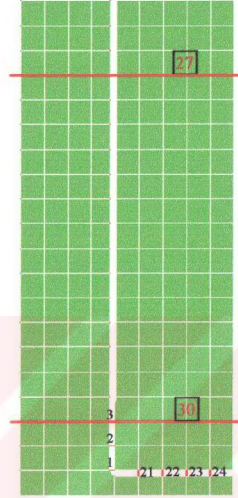
Çözüm 5’de 1 adet (3 nolu fiktif çubuk) çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk bulunmuş ve sistemden kaldırılarak bir kez daha çözüm yapılmıştır. Çözüm 5’in başlangıcında, birleşim kesitindeki fiktif çubuklar Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

Çözüm 6’da çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk bulunmamıştır. Böylece hesaba son verilmiştir. Bu durumda basınç kuvveti taşıyan çubuklardan birleşimdeki basınç bölgesi yüksekliği a ’nın $5 \text{ cm} \leq a < 10 \text{ cm}$ arasında olduğu belirlenmiştir.

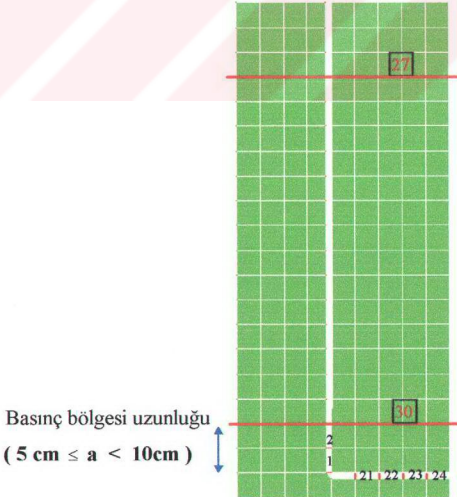
Çözüm 6'nın başlangıcında birleşim kesitindeki fiktif çubuklar ve basınç bölgesi uzunluğu a Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Çözüm 4 fiktif çubukları



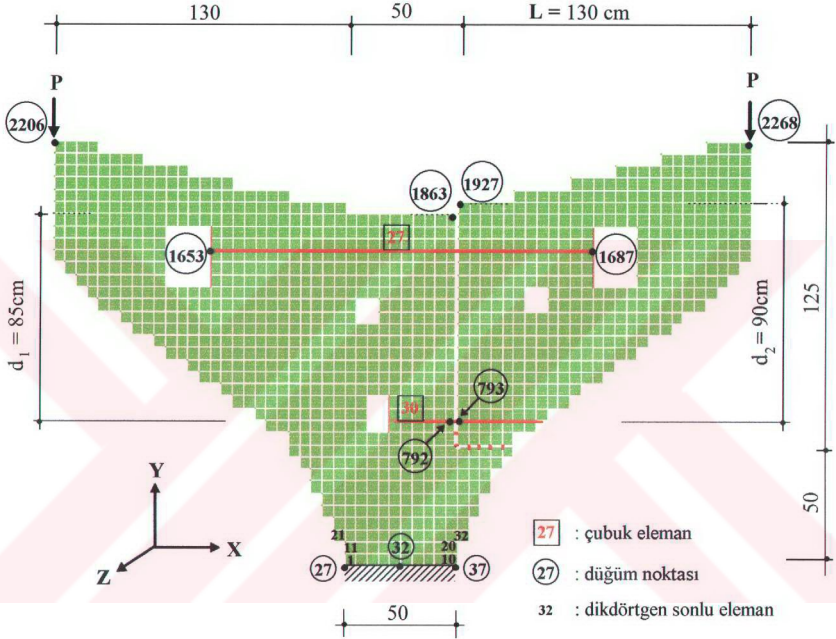
Şekil 3.9 Çözüm 5 fiktif çubukları



Şekil 3.10 Çözüm 6 fiktif çubukları ve basınç bölgesi uzunluğu a



İşletme yükleri ($P=247$ KN) altındaki çözümlerden elde edilen σ basıncı bölgesi uzunluğu, sistemin lineer-elastik şekil değiştirttiği varsayımı altında, P yüklerinin her değeri için aynı kalmaktadır. Birleşim bölgesi üzerindeki incelemeler, elde edilen bu **sistem hesap modeli** üzerinde yapılacaktır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Sistem hesap modeli

3.3 Birleşimin Elastik Dönme Redörünün Hesabı

Birleşimin elastik dönme redörü R_0 nun hesabı için, birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile birleşim kesitindeki dönme θ arasındaki değişimin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için, sistem üzerindeki P yükleri 20 KN'dan 260 KN'a (yaklaşık olarak işletme yüklerine) kadar artırılarak çözümler yapılmıştır. Bu çözümlere ait, bilgisayar programı data dosyası aşağıda verilmiştir.



SAP90 Yapı Analiz Programı data dosyası:

**Bulonlu kolon-kiriş birleşiminin ELASTİK DÖNME REDÖRÜ (R₀) HESABI
SYSTEM**

L=1

JOINTS

1	X=0.000	Y=0.000	Z=0.000	
63	X=3.100	Y=0.000		
2206	X=0.000	Y=1.750		
2268	X=3.100	Y=1.750	Q=1,63,2206,2268,1,63	
2269	X=1.790	Y=0.500		
2288	X=1.790	Y=1.450	G=2269,2288,1	
2289	X=1.800	Y=0.490		
2294	X=2.050	Y=0.490	G=2289,2294,1	

RESTRAINTS

1	2294	1	R=0,0,1,1,1,1
27	37	5	R=1,1,1,1,1,1

C ÇUBUK ELEMANLARIN DATA BLOĞU

FRAME

NM=7

1	A=1000	I=0	E=2500000	: Yatay fiktif çubuklar
2	A=0.00126	I=0	E=20000000	: Çekme Bulonu
3	A=0.00049	I=0	E=20000000	: Basınç Bulonu
4	A=0.004	I=0.0000001333	E=20000000	: Üst bulon levhaları
5	A=0.0075	I=0	E=30000	: Elastomer mesnet fiktif çubukları
6	A=0.00375	I=0	E=30000	: Elastomer mesnet fiktif çubukları
7	A=0.002	I=0.00000001666	E=20000000	: Alt bulon levhası
1	2269	667	M=1	G=1,1,1,63
22	2291	669	M=5	G=1,1,1,1
21	2290	668	M=6	G=1,3,3,3
27	1653	1687	M=2	
28	1498	1813	M=4	
29	1464	1779	M=4	
30	787	800	M=3	
31	724	913	M=7	

C LEVHA ELEMANLARIN DATA BLOĞU (DÜZLEM GERİLME HALİ)

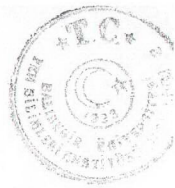
ASOLID

NM=1 ETYPE=2

1 NUMT=1

E=25E5 U=0.15

1	JQ=27,28,90,91	M=1	TH=0.25 LP=1	G=10,2
21	JQ=152,153,215,216	M=1	TH=0.25 LP=1	G=12,2
45	JQ=277,278,340,341	M=1	TH=0.25 LP=1	G=14,2
73	JQ=402,403,465,466	M=1	TH=0.25 LP=1	G=16,2
105	JQ=527,528,590,591	M=1	TH=0.25 LP=1	G=18,1
123	JQ=590,591,653,654	M=1	TH=0.25 LP=1	G=13,1
141	JQ=652,653,715,716	M=1	TH=0.25 LP=1	G=14,1



161	JQ=713,714,776,777	M=1	TH=0.25	LP=1	G=9,1	
172	JQ=724,725,787,788	M=1	TH=0.25	LP=1	G=5,1	
185	JQ=775,776,838,839	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
197	JQ=787,788,850,851	M=1	TH=0.20	LP=1	G=5,1	: Bulon boşluğu
211	JQ=836,837,899,900	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
225	JQ=850,851,913,914	M=1	TH=0.25	LP=1	G=5,1	
241	JQ=898,899,961,962	M=1	TH=0.25	LP=1	G=20,1	
275	JQ=959,960,1022,1023	M=1	TH=0.25	LP=1	G=22,1	
313	JQ=1021,1022,1084,1085	M=1	TH=0.25	LP=1	G=23,1	
355	JQ=1082,1083,1145,1146	M=1	TH=0.25	LP=1	G=25,1	
399	JQ=1144,1145,1207,1208	M=1	TH=0.25	LP=1	G=26,1	
443	JQ=1205,1206,1268,1269	M=1	TH=0.25	LP=1	G=28,1	
491	JQ=1267,1268,1330,1331	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
512	JQ=1290,1291,1353,1354	M=1	TH=0.25	LP=1	G=6,1	
564	JQ=1353,1354,1416,1417	M=1	TH=0.25	LP=1	G=6,1	
541	JQ=1328,1329,1391,1392	M=1	TH=0.25	LP=1	G=23,1	
595	JQ=1390,1391,1453,1454	M=1	TH=0.25	LP=1	G=32,1	
651	JQ=1452,1453,1515,1516	M=1	TH=0.25	LP=1	G=8,1	
659	JQ=1464,1465,1527,1528	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
693	JQ=1502,1503,1565,1566	M=1	TH=0.25	LP=1	G=8,1	
701	JQ=1514,1515,1577,1578	M=1	TH=0.25	LP=1	G=9,1	
710	JQ=1527,1528,1590,1591	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
744	JQ=1565,1566,1628,1629	M=1	TH=0.25	LP=1	G=9,1	
753	JQ=1576,1577,1639,1640	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
763	JQ=1590,1591,1653,1654	M=1	TH=0.17	LP=1	G=21,1	: Bulon boşluğu
797	JQ=1628,1629,1691,1692	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
807	JQ=1639,1640,1702,1703	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
817	JQ=1653,1654,1716,1717	M=1	TH=0.17	LP=1	G=21,1	: Bulon boşluğu
851	JQ=1691,1692,1754,1755	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
861	JQ=1702,1703,1765,1766	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
871	JQ=1716,1717,1779,1780	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
905	JQ=1754,1755,1817,1818	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	
915	JQ=1765,1766,1828,1829	M=1	TH=0.25	LP=1	G=35,1	
977	JQ=1828,1829,1891,1892	M=1	TH=0.25	LP=1	G=26,1	
1003	JQ=1864,1865,1927,1928	M=1	TH=0.25	LP=1	G=26,1	
1029	JQ=1891,1892,1954,1955	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
1050	JQ=1932,1933,1995,1996	M=1	TH=0.25	LP=1	G=21,1	
1071	JQ=1954,1955,2017,2018	M=1	TH=0.25	LP=1	G=16,1	
1087	JQ=2000,2001,2063,2064	M=1	TH=0.25	LP=1	G=16,1	
1103	JQ=2017,2018,2080,2081	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
1115	JQ=2067,2068,2130,2131	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
1127	JQ=2080,2081,2143,2144	M=1	TH=0.25	LP=1	G=8,1	
1135	JQ=2134,2135,2197,2198	M=1	TH=0.25	LP=1	G=8,1	
1143	JQ=2143,2144,2206,2207	M=1	TH=0.25	LP=1	G=4,1	
1147	JQ=2201,2202,2264,2265	M=1	TH=0.25	LP=1	G=4,1	
1151	JN=603,0,604,0,0,0,666,2269,2289	M=1	TH=0.25	LP=1		
1152	JQ=589,590,652,653	M=1	TH=0.25	LP=1		
156	JQ=667,668,730,731	M=1	TH=0.25	LP=1	G=5,1	
178	JQ=730,731,793,794	M=1	TH=0.25	LP=1	G=7,1	
203	JQ=793,794,856,857	M=1	TH=0.20	LP=1	G=8,1	: Bulon boşluğu
231	JQ=856,857,919,920	M=1	TH=0.25	LP=1	G=10,1	

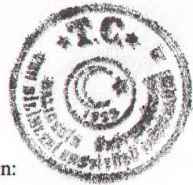


263	JQ=919,920,982,983	M=1	TH=0.25	LP=1	G=11,1	
299	JQ=982,983,1045,1046	M=1	TH=0.25	LP=1	G=13,1	
339	JQ=1045,1046,1108,1109	M=1	TH=0.25	LP=1	G=14,1	
382	JQ=1108,1109,1171,1172	M=1	TH=0.25	LP=1	G=16,1	
426	JQ=1171,1172,1234,1235	M=1	TH=0.25	LP=1	G=17,1	
472	JQ=1234,1235,1297,1298	M=1	TH=0.25	LP=1	G=19,1	
521	JQ=1297,1298,1360,1361	M=1	TH=0.25	LP=1	G=20,1	
573	JQ=1360,1361,1423,1424	M=1	TH=0.25	LP=1	G=6,1	
579	JQ=1368,1369,1431,1432	M=1	TH=0.25	LP=1	G=14,1	
628	JQ=1423,1424,1486,1487	M=1	TH=0.25	LP=1	G=6,1	
634	JQ=1431,1432,1494,1495	M=1	TH=0.25	LP=1	G=15,1	
681	JQ=1486,1487,1549,1550	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
732	JQ=1549,1550,1612,1613	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
785	JQ=1612,1613,1675,1676	M=1	TH=0.17	LP=1	G=12,1	: Bulon boşluğu
839	JQ=1675,1676,1738,1739	M=1	TH=0.17	LP=1	G=12,1	: Bulon boşluğu
893	JQ=1738,1739,1801,1802	M=1	TH=0.25	LP=1	G=12,1	
951	JQ=1801,1802,1864,1865	M=1	TH=0.25	LP=1	G=26,1	
155	JQ=666,2269,729,2270	M=1	TH=0.25	LP=1		
177	JQ=729,2270,792,2271	M=1	TH=0.25	LP=1		
202	JQ=792,2271,855,2272	M=1	TH=0.25	LP=1		
230	JQ=855,2272,918,2273	M=1	TH=0.25	LP=1		
262	JQ=918,2273,981,2274	M=1	TH=0.25	LP=1		
298	JQ=981,2274,1044,2275	M=1	TH=0.25	LP=1		
338	JQ=1044,2275,1107,2276	M=1	TH=0.25	LP=1		
381	JQ=1107,2276,1170,2277	M=1	TH=0.25	LP=1		
425	JQ=1170,2277,1233,2278	M=1	TH=0.25	LP=1		
471	JQ=1233,2278,1296,2279	M=1	TH=0.25	LP=1		
520	JQ=1296,2279,1359,2280	M=1	TH=0.25	LP=1		
572	JQ=1359,2280,1422,2281	M=1	TH=0.25	LP=1		
627	JQ=1422,2281,1485,2282	M=1	TH=0.25	LP=1		
680	JQ=1485,2282,1548,2283	M=1	TH=0.25	LP=1		
731	JQ=1548,2283,1611,2284	M=1	TH=0.25	LP=1		
784	JQ=1611,2284,1674,2285	M=1	TH=0.17	LP=1		: Bulon boşluğu
838	JQ=1674,2285,1737,2286	M=1	TH=0.17	LP=1		: Bulon boşluğu
892	JQ=1737,2286,1800,2287	M=1	TH=0.25	LP=1		
950	JQ=1800,2287,1863,2288	M=1	TH=0.25	LP=1		
136	JQ=604,605,2289,2290	M=1	TH=0.25	LP=1	G=5,1	

LOADS

2206 L=1 F=0, - P,0 : (P = 20,40,60,80, 260 KN)

2268 L=1 F=0, - P,0



P yüklerinin artan değerleri için bilgisayar çözümlerinden elde edilen:

- 1863 nolu düğüm noktasının yatay deplasmanı δ_{1863} ,
- 792 nolu düğüm noktasının yatay deplasmanı δ_{792} ,
- 1927 nolu düğüm noktasının yatay deplasmanı δ_{1927} ,
- 793 nolu düğüm noktasının yatay deplasmanı δ_{793} ,
- 27 nolu elemandaki (üst bulundaki) çekme kuvvet Z_b ,
- birleşim kesitindeki elastik dönme açısı θ ,
- birleşim kesitindeki eğilme momenti M

değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Birleşim kesitindeki elastik dönme açısı θ değerleri, Çizelge 3.1'de verilen birleşim kesitindeki (Şekil 3.11) yatay deplasmanlardan (δ_{1863} , δ_{792} , δ_{1927} , δ_{793}) yararlanarak (3.1) ve (3.2) bağıntıları ile hesaplanmış ve Çizelge 3.1'de verilmiştir.

$$\tan\theta = \frac{\delta_{1863} - \delta_{792}}{d_1} + \frac{\delta_{1927} - \delta_{793}}{d_2} = \frac{\delta_{1863} - \delta_{792}}{85} + \frac{\delta_{1927} - \delta_{793}}{90} \quad (3.1)$$

$$\theta = \arctan\theta \quad (\text{rad.}) \quad (3.2)$$

Birleşim kesitindeki eğilme momenti (M) değerleri,

$$M = P.L \quad [\text{KNm}] \quad (L = 1.30 \text{ m}) \quad (3.3)$$

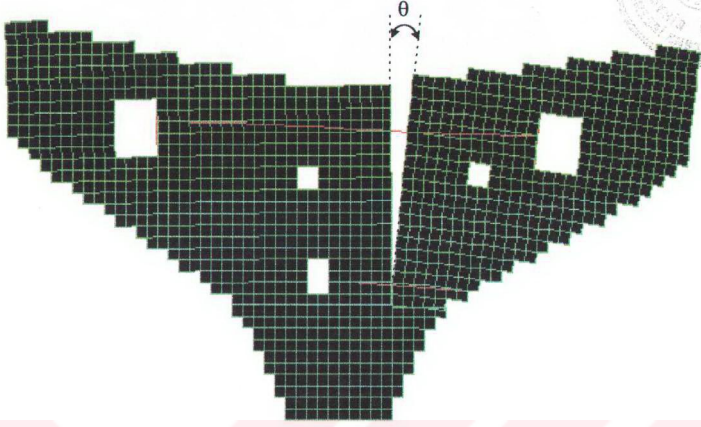
bağıntısıyla hesaplanmış ve Çizelge 3.1'de verilmiştir.

İşletme yükleri altında bilgisayardan alınan şekil değiştirmiş sistem ve θ elastik dönme açısı Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de verilmiştir.

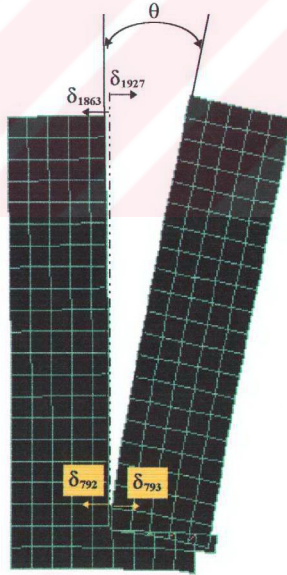
Çizelge 3.1 Sistem hesap modelinin çözüm sonuçları

P (KN)	M (KNm)	δ_{1863} (cm)	δ_{792} (cm)	δ_{1927} (cm)	δ_{793} (cm)	θ (rad)	Z_b (KN)
20	26	-0.1547E-2	-0.2205E-3	0.2685E-1	0.3854E-3	0.3097E-3	28.99
40	52	-0.3094E-2	-0.4409E-3	0.5370E-1	0.7708E-3	0.6193E-3	57.98
60	78	-0.4640E-2	-0.6614E-3	0.8055E-1	1.1560E-3	0.9290E-3	86.97
80	104	-0.6187E-2	-0.8818E-3	1.0740E-1	1.5420E-3	1.2386E-3	115.96
100	130	-0.7734E-2	-1.1020E-3	1.3430E-1	1.9270E-3	1.5488E-3	144.95
120	156	-0.9281E-2	-1.3230E-3	1.6110E-1	2.3120E-3	1.8579E-3	173.94
140	182	-1.0830E-2	-1.5430E-3	1.8800E-1	2.6980E-3	2.1683E-3	202.94
160	208	-1.2370E-2	-1.7640E-3	2.1480E-1	3.0830E-3	2.4768E-3	231.93
180	234	-1.3920E-2	-1.9840E-3	2.4170E-1	3.4690E-3	2.7874E-3	260.92
200	260	-1.5470E-2	-2.2050E-3	2.6850E-1	3.8540E-3	3.0971E-3	289.91
220	286	-1.7010E-2	-2.4250E-3	2.9540E-1	4.2400E-3	3.4066E-3	318.90
240	312	-1.8560E-2	-2.6450E-3	3.2220E-1	4.6250E-3	3.7152E-3	347.89
260	338	-2.0110E-2	-2.8660E-3	3.4910E-1	5.0100E-3	4.0249E-3	376.88

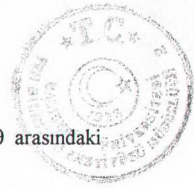




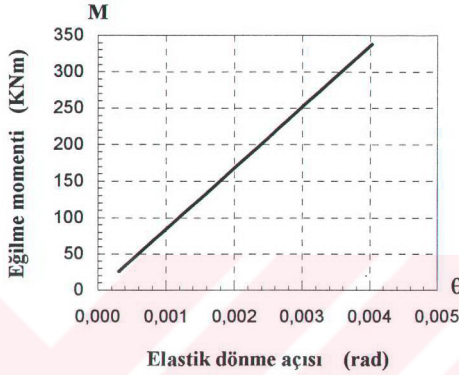
Şekil 3.12 Şekil değiştirmiş sistem ve birleşimin θ elastik dönme açısı



Şekil 3.13 Birleşim kesitindeki deplasmanlar ve θ elastik dönme açısı



Çizelge 3.1'deki M ve θ değerleri kullanılarak elde edilen M - θ arasındaki bağıntının yaklaşık lineer kabul edilebileceği görülmektedir (Şekil 3.14).



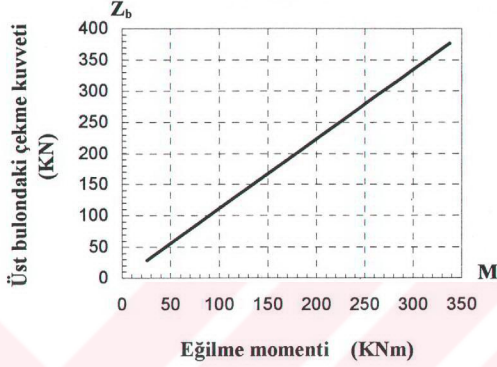
Şekil 3.14 M - θ grafiği

Bu grafikten yararlanarak birleşimin elastik dönme redörü R_θ değeri şöyle hesaplanabilmektedir:

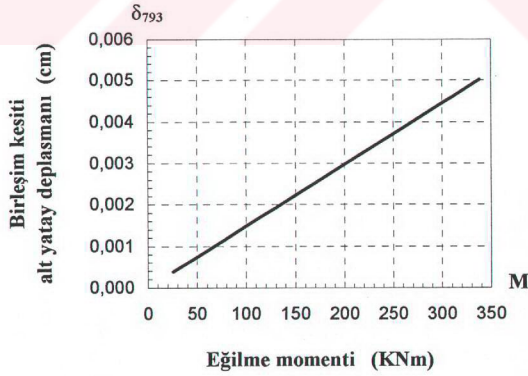
Yapılan çözümlerden, her yük artımı için (M/θ) değerleri hesaplanır ve bu değerler toplandıktan sonra (n) çözüm adedine bölünerek (3.4) ifadesi ile birleşimin elastik dönme redörü R_θ değeri hesaplanmış olur.

$$R_\theta = \frac{\sum \frac{M}{\theta}}{n} = \frac{1091468,34}{13} = 83959 \text{ [KNm / rad]}. \quad (3.4)$$

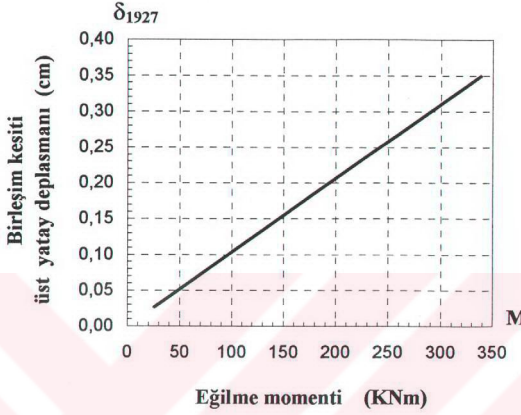
Birleşim kesitindeki eğilme momenti (M) ile üst bulundaki çekme kuvveti (Z_b) ve birleşim kesitinin Şekil 3.11'de görülen δ_{793} , δ_{1927} alt ve üst yatay deplasmanları arasındaki bağıntılar Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'deki grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 3.15 $Z_b - M$ grafiği



Şekil 3.16 $\delta_{793} - M$ grafiği



Şekil 3.17 δ_{1927} - M grafiği

Birleşim kesitindeki eğilme momenti ile üst bulundaki çekme kuvveti Z_b , birleşim kesitinin alt yatay deplasmanı δ_{793} ve birleşim kesitinin üst yatay deplasmanı δ_{1927} arasındaki bağıntıların yaklaşık lineer kabul edilebileceği Şekil 3.15 , Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'den görülmektedir.

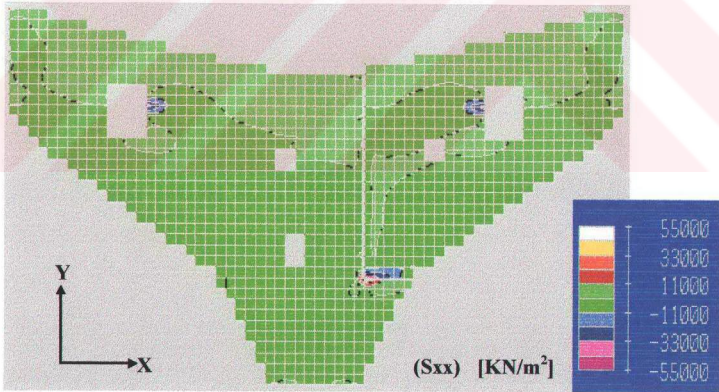
3.4 Birleşim Bölgesindeki Gerilme Dağılımları

İki açıklıklı lambda çerçeve sistemin incelenen birleşim bölgesinde, donatı yerleşiminin daha iyi yapılabilmesi amacıyla, birleşim bölgesindeki normal gerilme, asal normal gerilme ve kayma gerilmesi dağılımları elde edilmiştir.



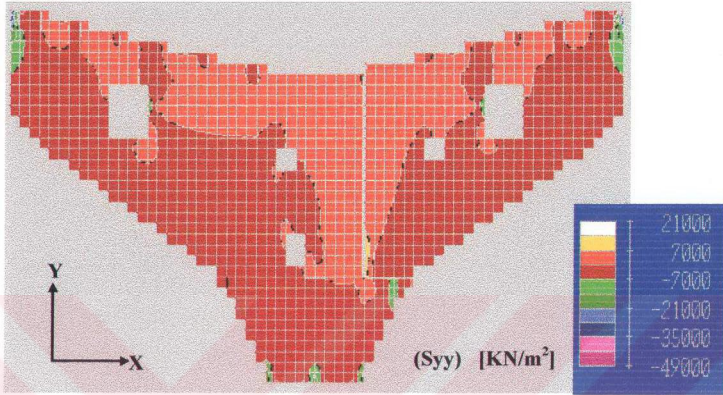
Sistemin çözümüyle her düğüm noktası için hesaplanan gerilmelerin sayısal değerleri, bilgisayar programı tarafından gruplandırılmakta ve her grup farklı renklerle tanımlanarak, gerilmeler diyagram şeklinde sunulmaktadır. Diyagramların yanında verilen renk-değer ölçeği yardımıyla birleşimdeki gerilme değerleri elde edilebilmektedir. SAP90 bilgisayar programı sonuç dosyalarında gerilmeler, “S” ile gösterilmiştir. Diyagramlar, sistem işletme yükleri altında çözümlenerek elde edilmiştir. Sisteme etkileyen yüklerin değeri değiştikçe diyagramlardaki gerilmelerin renkleri (sayısal değerleri) de değişmekte, ancak lineer-elastik davranış nedeniyle, çekme ve basınç gerilme bölgelerinin dağılım şekli değişmemektedir.

Birleşim bölgesindeki, X eksenini doğrultusundaki S_{xx} (σ_x) normal gerilme diyagramı Şekil 3.18’de verilmiştir.



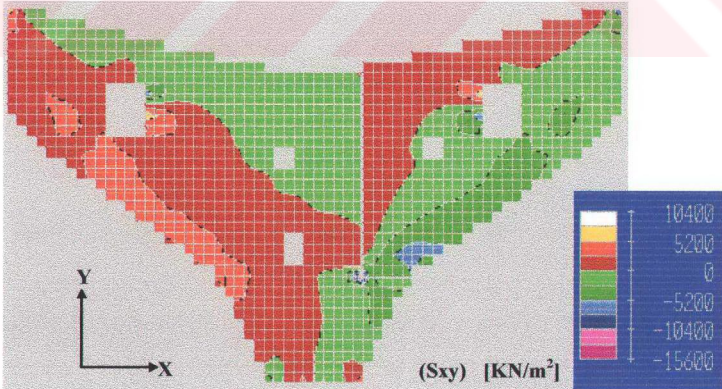
Şekil 3.18 X eksenini doğrultusundaki normal gerilme (S_{xx}) diyagramı

Birleşim bölgesindeki Y eksenî doğrultusundaki S_{yy} (σ_y) normal gerilme diyagramı Şekil 3.19'da görülmektedir.

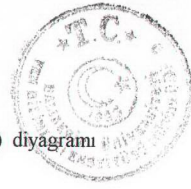


Şekil 3.19 Y eksenî doğrultusundaki normal gerilme (S_{yy}) diyagramı

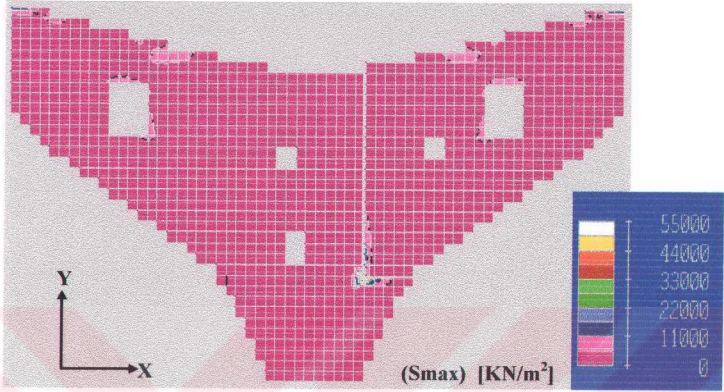
Birleşim bölgesindeki kayma gerilmesi S_{xy} (τ_{xy}) diyagramı Şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.20 Kayma gerilmesi (S_{xy}) diyagramı

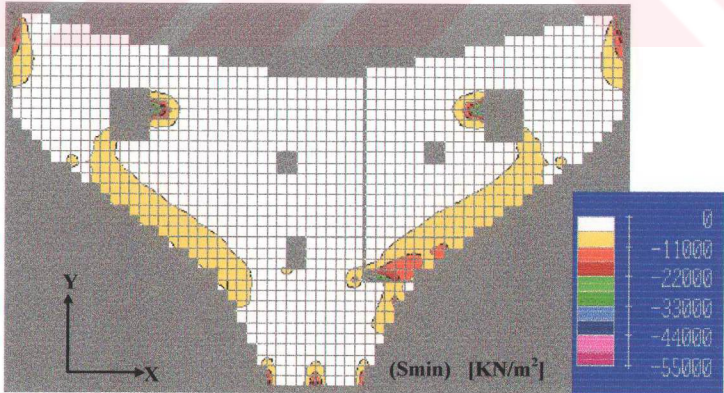


Birleşim bölgesindeki maksimum asal normal gerilme S_{max} (σ_{max}) diyagramı Şekil 3.21'de görülmektedir.



Şekil 3.21 Maksimum asal normal gerilme (Smax) diyagramı

Birleşim bölgesindeki minimum asal normal gerilme S_{min} (σ_{min}) diyagramı Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22 Minimum asal normal gerilme (Smin) diyagramı



Birleşim bölgesinde meydana gelen gerilme diyagramlarından yararlanarak elde edilen çekme kuvvetinin olduğu bölgelere yeterli ölçüde donatının, yayılarak konması gerekmektedir. Buna göre:

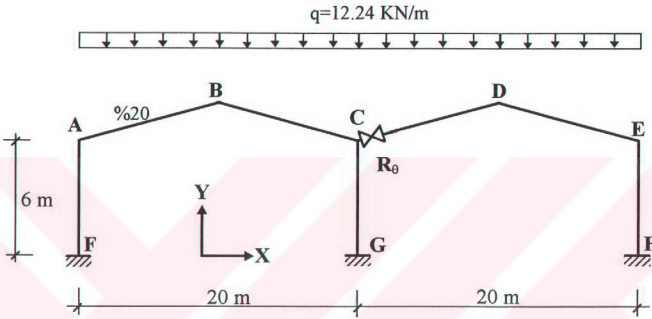
a) X eksenı doğrultusundaki normal gerilme diyagramından (Şekil 3.18) görüldüğü gibi, tevsii elemanında bulunun üst ve alt tarafında (açık yeşil bölge) yatay doğrultuda çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Eleman kalınlığı boyunca bu bölgelere yeterli ölçüde yayılarak *yatay donatı* konulmalıdır. Mevcut yapının birleşim bölgesinde ise sadece bulunun üst tarafında daha geniş bir bölgeye (açık yeşil bölge), benzer şekilde *yatay donatı* yayılarak konulması gerekmektedir.

b) Y eksenı doğrultusundaki normal gerilme diyagramından (Şekil 3.19) görüldüğü gibi, birleşim kesitinin her iki yanında (açık kırmızı bölge) düşey doğrultuda çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Eleman kalınlığı boyunca bu bölgelere yeterli ölçüde *düşey donatı* yayılarak konulmalıdır. Bulunun üst tarafındaki bölgede de bu donatılar devam ettirilmelidir.

c) Şekil 3.20'deki kayma gerilmesi diyagramından görüldüğü gibi, en büyük kayma gerilmeleri (koyu yeşil ve açık kırmızı bölgeler) bulon deliği etrafındaki bölgelerde ve elemanların guselerine paralel kısımlarında oluşmaktadır. Bu nedenle bulon deliği etrafındaki bölgeye, *yatay ve düşey doğrultuda* yeterli ölçüde donatı konulması gerekmektedir. Ayrıca, basınç bölgesi olan her iki taraftaki alt bölgelere (Şekil 3.20'deki koyu yeşil ve açık kırmızı bölgeler), kayma gerilmelerini karşılayabilmek için düşey etriyenin yanı sıra, *guseye paralel doğrultuda* ve bölgeye yayılan yeterli ölçüde donatı konulmalıdır.

3.5 Elastik Birleşimin Kesit Tesirleri ve Deplasmanlar Üzerindeki Etkisi

Elastik birleşimin statik kesit tesirleri ve deplasmanlar üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Şekil 3.23'deki iki açıklıklı lambda çerçeve sistemin işletme yükleri ($q = 12.24 \text{ KN/m}$) altında üç ayrı çözümü yapmıştır.



Şekil 3.23 İki açıklıklı lambda sistemin özellikleri ve yüklemesi

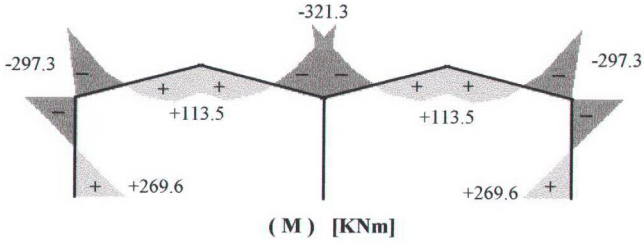
Birinci çözümde, birleşimin yapıldığı C düğüm noktasına tüm çubukların rijit birleşimli ($R_0 = \infty$) olduğu gözönünde bulundurulmuş ve elde edilen eğilme momenti diyagramı Şekil 3.24a'da verilmiştir.

İkinci çözümde, BC ve CG çubuklarının rijit birleşimli olduğu C düğüm noktasında CD çubuğunun C ucu mafsallı ($R_0 = 0$) olarak gözönüne alınmıştır. Çözümünden elde edilen eğilme momenti diyagramı Şekil 3.24b'de verilmiştir.

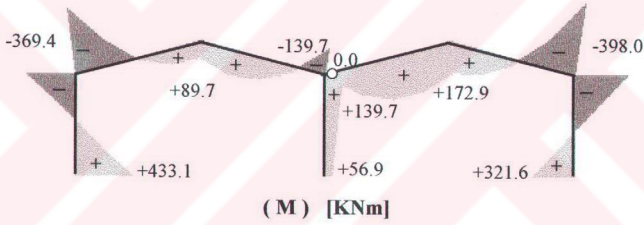
Üçüncü çözümde, BC ve CG çubuklarının rijit birleşimli olduğu C düğüm noktasında, CD çubuğunun C ucu elastik birleşimli olarak gözönüne alınmıştır. Elastik dönme redörü için, Bölüm 3.3'de hesaplanan $R_0 = 83959 \text{ KNm/rad}$ değeri kullanılmıştır. Bu çözümden elde edilen eğilme momenti diyagramı Şekil 3.24c'de verilmiştir.



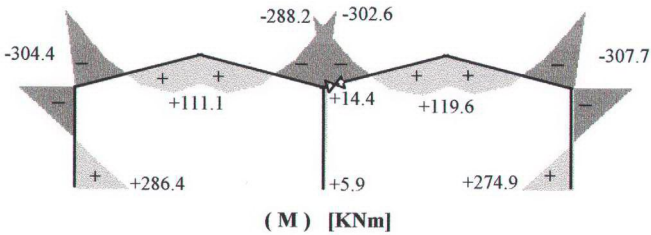
Her üç çözümde de temeller ankastre mesnet olarak tanımlanmış ve sistemdeki diğer birleşim noktaları sürekli (rijit) kabul edilmiştir.



a) Rijit birleşimli sistem ($R_0^{CD} = \infty$)



b) Mafsallı birleşimli sistem ($R_0^{CD} = 0$)

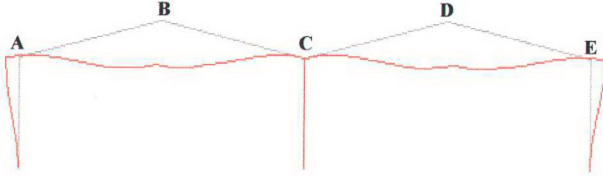


c) Elastik birleşimli sistem ($R_0^{CD} = 83959 \text{ KNm/rad}$)

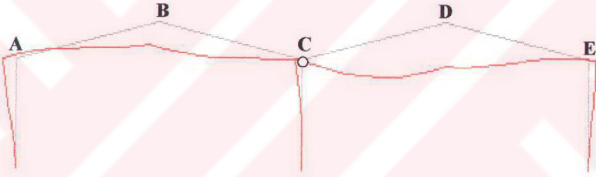
Şekil 3.24 Sistemin eğilme momenti diyagramları



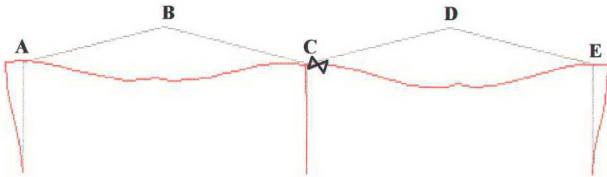
İşletme yükleri altında, sistemin bilgisayarla yapılan üç ayrı çözümünden elde edilen elastik eğrileri (kırmızı çizgiler) Şekil 3.25'de ve sistemin kritik deplasmanlarının sayısal değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



a) Rijit birleşimli sistem ($R_0^{CD} = \infty$)



b) Mafsallı birleşimli sistem ($R_0^{CD} = 0$)



c) Elastik birleşimli sistem ($R_0^{CD} = 83959 \text{ KNm/rad}$)

Şekil 3.25 Sistemin elastik eğrileri



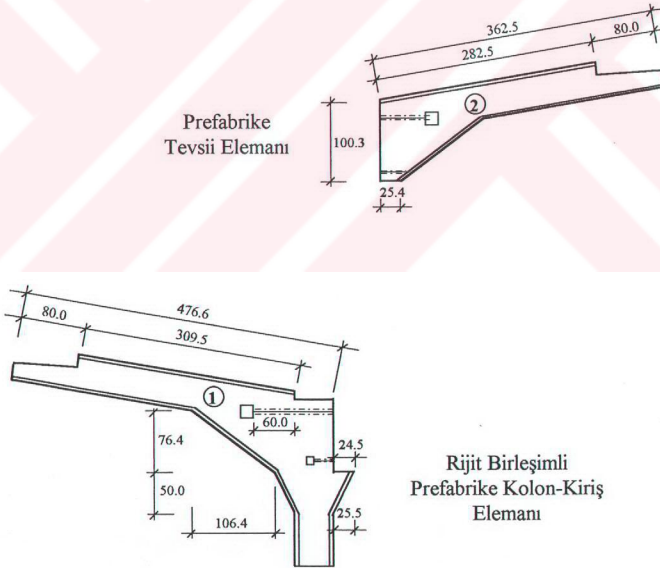
Çizelge 3.2 Sistemin kritik deplasmanları

Çözümler	Deplasmanlar					
	δ_{Ax} (cm)	δ_{By} (cm)	δ_{Cx} (cm)	δ_{Dy} (cm)	δ_{Ex} (cm)	θ_C (rad)
Rijit Birleşimli Sistem	-2.29	-5.92	0.00	-5.92	+2.29	0.00
Mafsallı Birleşimli Sistem	-4.66	-6.10	-2.33	-11.90	+2.33	-24.32E-3
Elastik Birleşimli Sistem	-2.53	-5.94	-0.24	-6.54	+2.29	-2.50E-3

4. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Bölüm 3’de analitik olarak elastik dönme redörü hesaplanan bulonlu kolon-kiriş birleşiminin 1995’de İ.T.Ü. Yapı laboratuvarında yapılan deneyi ve elde edilen sonuçları bu bölümde özet olarak sunulmuştur [16]. Bu deney sonuçları ile Bölüm 3’de elde edilen analitik çözüm sonuçlarının karşılaştırılmalarına sonuçlar bölümünde yer verilmiştir.

Prefabrike betonarme olarak üretilmiş ① ve ② nolu deney elemanları Şekil 4.1’de görülmektedir.

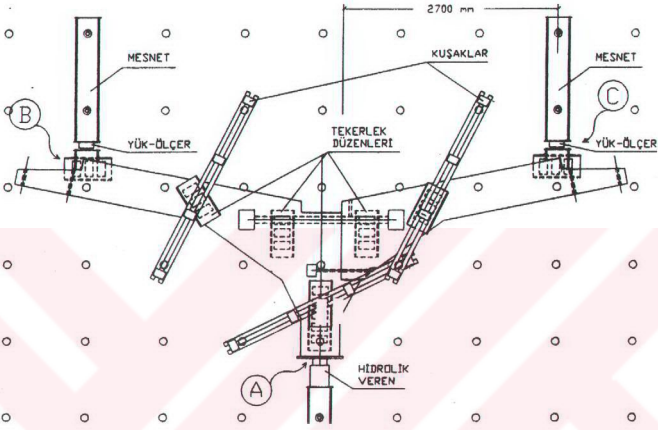


Şekil 4.1 Prefabrike betonarme deney elemanları



Malzeme özellikleri aşağıda verilen elemanların deney düzeneği Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de görülmektedir.

Beton: BS25 , Çelik bulon: MKE 4140 ($\sigma_{akma} = 949 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{kopma} = 1045 \text{ N/mm}^2$)



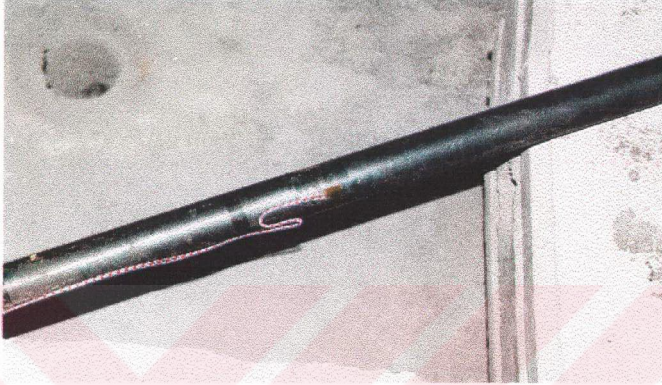
Şekil 4.2 Şematik deney düzeneği



Şekil 4.3 Deney elemanları ve düzeneği

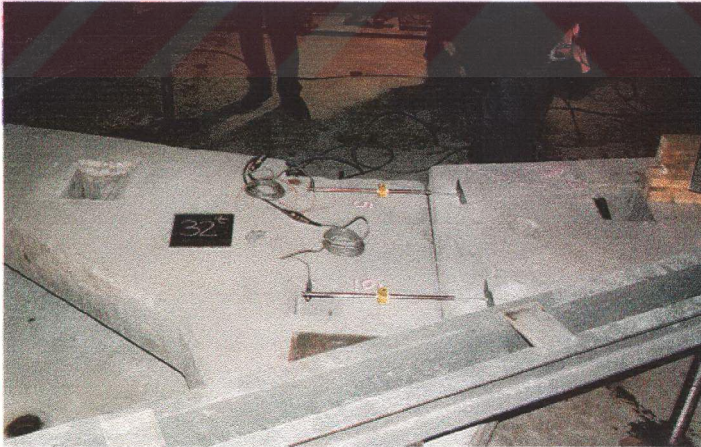


Deney elemanlarını birbirine bağlayan üst bulondaki boy değişimini ve bundan yararlanarak bulondaki kuvveti ölçebilmek için bulona “strain gauge” yapıştırılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Üst bulon ve strain gauge

Birleşim kesitindeki θ dönmesini belirleyebilmek için birleşimdeki üst ve alt bulonlar hizasında iki adet deplasman ölçer (LVDT) bağlanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Deplasman ölçerler (LVDT)



Deney elemanlarının birleşim kesitine, basınç bölgesinin uzunluğunu belirlemek amacıyla karbon kağıdı konmuştur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Birleşim kesitindeki basınç bölgesi

Şekil 4.2’de verilen deney düzeneğindeki hidrolik veren aracılığı ile yükleme yapılmıştır. Bu yük mesnetlerden karşılanmaktadır. Esasen, oluşan mesnet tepkileri nedeniyle her iki mesnet noktasından yükleme yapılmış olmaktadır. Bu durumda sistemin mesneti de hidrolik verenin bulunduğu nokta olmaktadır.

Statik yükü temsil etmek için veren aracılığı ile $\Delta P= 20$ KN’luk yükleme, belirli zaman aralıkları ile yapılarak $P=200$ KN değerine kadar artırılmıştır. Deney elemanlarındaki sünme etkisini de görebilmek için bu yük altında 18 saat beklendikten sonra yük aniden kaldırılmış ve deney elemanlarındaki kalıcı deformasyonlar belirlenmiştir. Daha sonra statik yüklemeye tekrar başlanmış ve deney elemanlarının taşıma gücü sona erinceye kadar yüklemeye devam edilmiştir (Şekil 4.7).

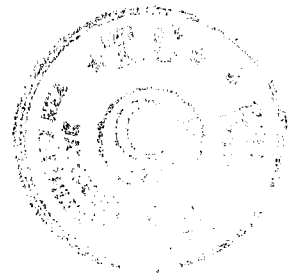


Şekil 4.7 Taşıma gücünü yitirmiş birleşim

Bu deney sırasındaki beton ve bulundaki deformasyonları kısa aralıklarla sağlıklı bir şekilde ölçebilmek için Strain Gauge ve LVDT deformasyon ölçüm araçları bir bilgisayar destekli bilgi toplama sistemine bağlanmıştır (Şekil 4.8).



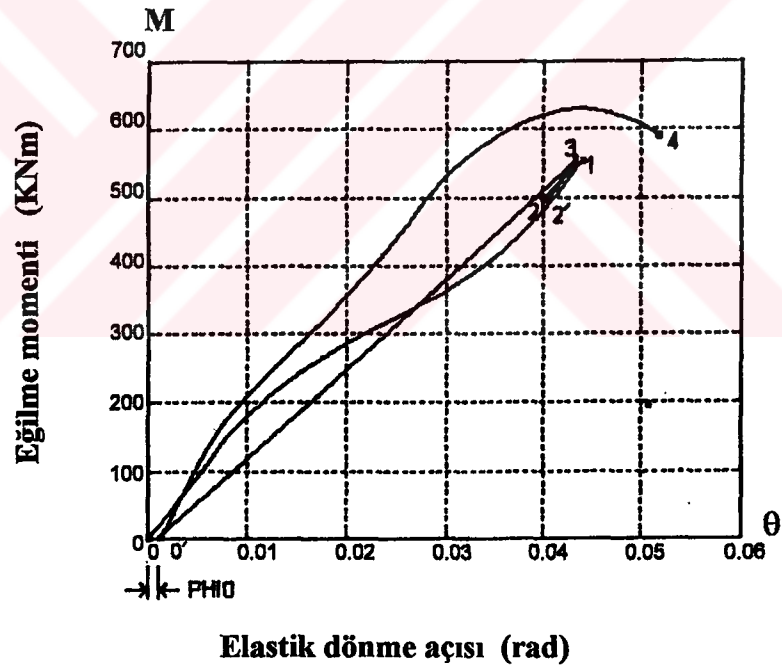
Şekil 4.8 Bilgi toplama sistemi



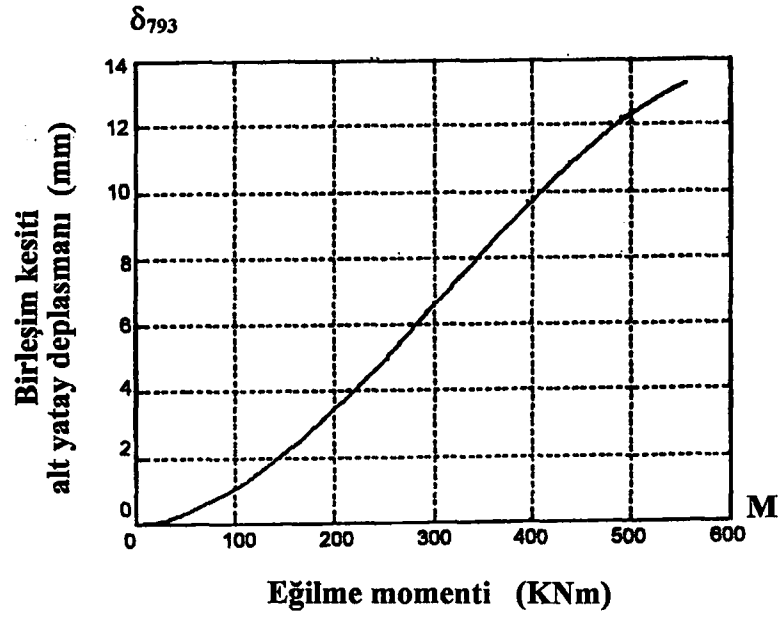
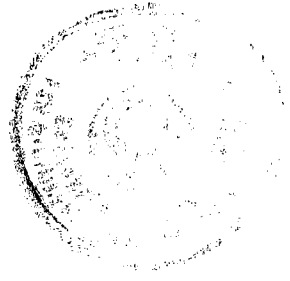
Bu deney sonucunda elde edilen bilgiler değerlendirilmiş ve,

- birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile dönme θ arasındaki bağıntı Şekil 4.9'da,
- birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile δ_{793} yatay deplasmanı arasındaki bağıntı Şekil 4.10'da,
- birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile üst bulondaki çekme kuvveti Z_b arasındaki bağıntı Şekil 4.11'de,
- birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile basınç gerilmesi bileşkesinin alt uca uzaklığı d_0 (Şekil 4.12) arasındaki bağıntı Şekil 4.13'de

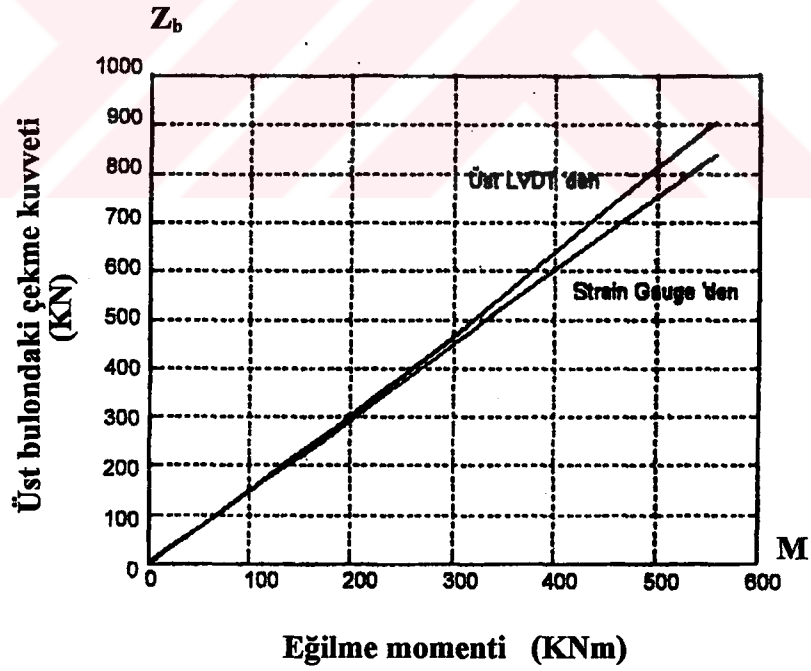
verilmiştir [16].



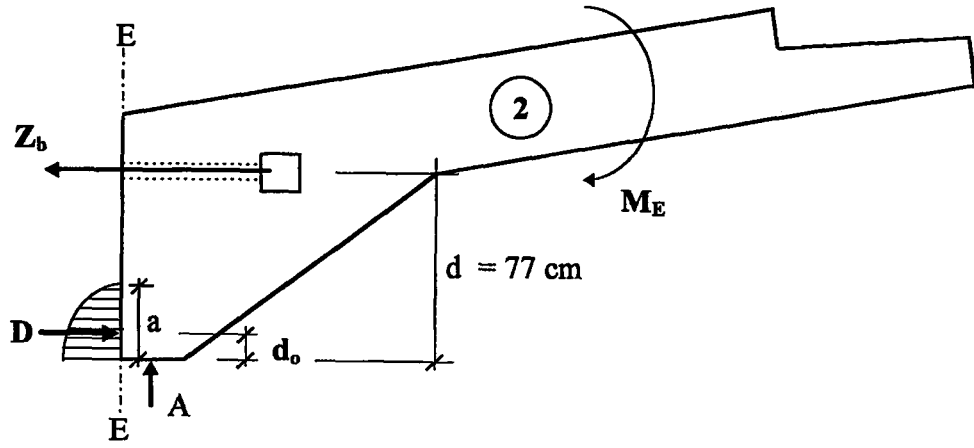
Şekil 4.9 $M - \theta$ grafiği (deneye ait)



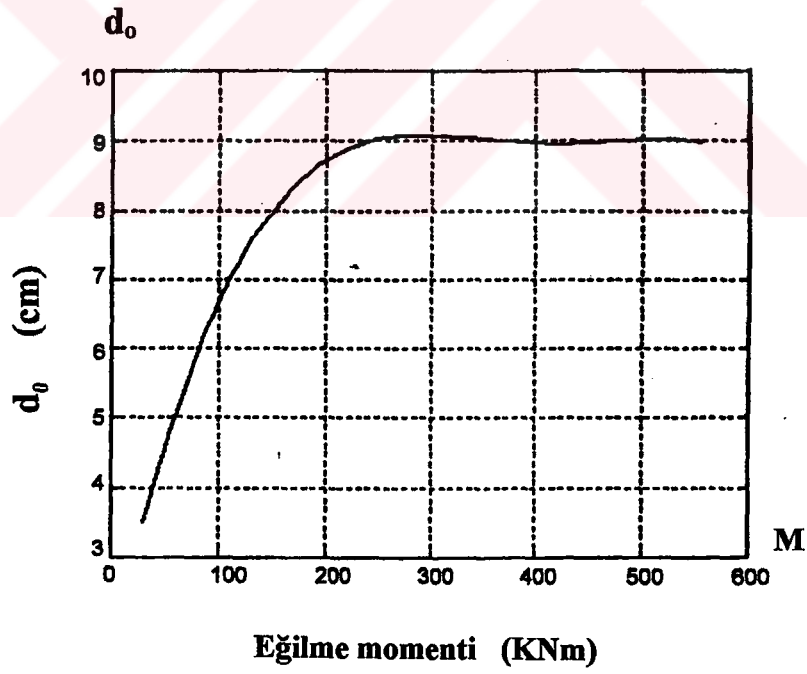
Şekil 4.10 δ_{793} - M grafiği (deneye ait)



Şekil 4.11 Z_b - M grafiği (deneye ait)

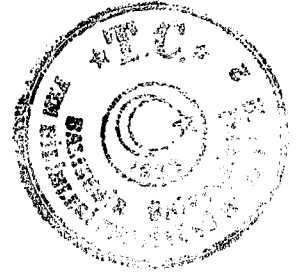


Şekil 4.12 Birleşim kesitindeki basınç bölgesi



Eğilme momenti (KNm)

Şekil 4.13 d₀- M grafiği



5 DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ANALİTİK BİR ÇALIŞMA

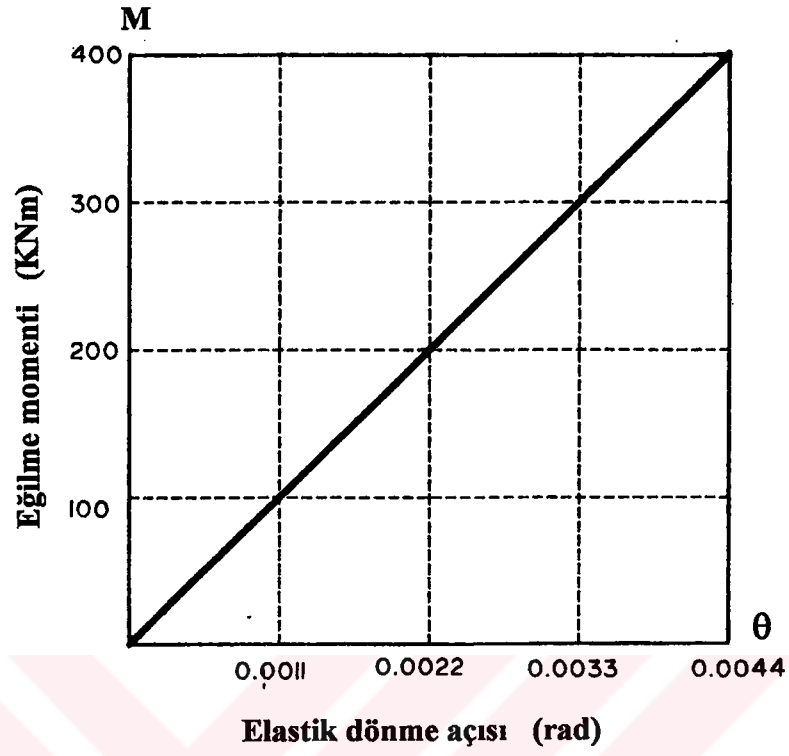
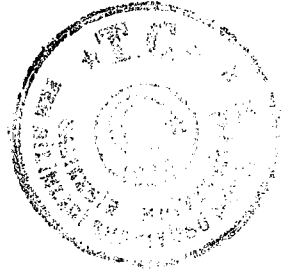
1995’de aynı birleşimle ilgili analitik bir çalışma yapılmıştır [14,17,18]. Bu analitik çalışmada, prefabriğe tevsii elemanı ile gerçekleştirilen bulonlu kolon-kiriş birleşiminin elastik dönme redörü hesaplanmış ve daha önce yapılmış deney [16] sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu analitik çalışma sonuçları ile sunulan bu tez çalışmasından elde edilen sonuçların karşılaştırmaları Bölüm 6’da verilmiştir.

Yapılan bu analitik çalışmada, Bölüm 3 Şekil 3.2’de özellikleri verilen birleşim bölgesindeki betonarme elemanlar düğüm noktalarında üçer serbestlik bulunan kabuk (shell) sonlu elemanlarla, bulonlar düzlem çubuk elamanlarla temsil edilerek bir hesap modeli oluşturulmuştur. Bu modelin sonlu elemanlar yöntemiyle çözümü yapılarak birleşim kesitindeki eğilme momenti M ve rölatif dönme açısı θ değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerden yararlanarak birleşimin elastik dönme redörü R_0 hesaplanmıştır.

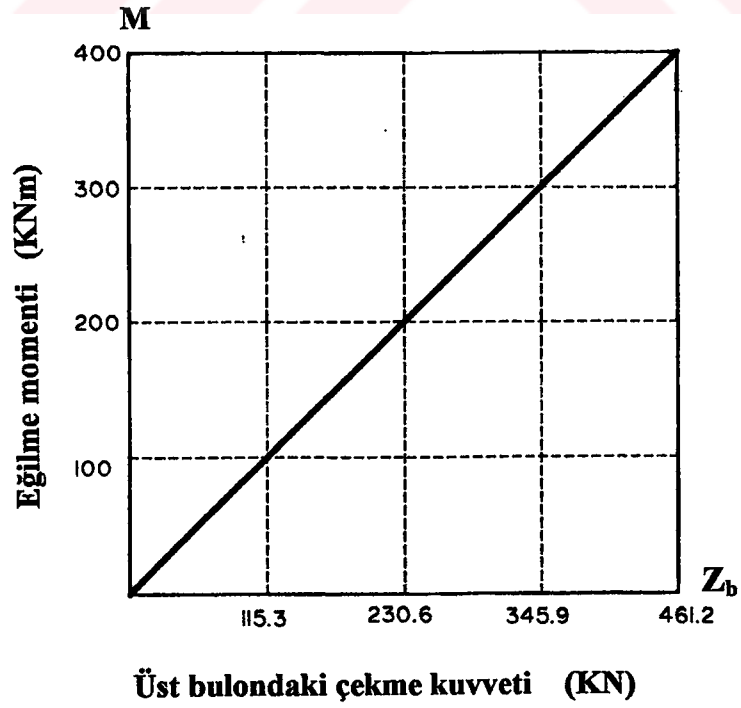
Elde edilen sonuçlardan;

- birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile elastik dönme açısı θ ,
- birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile üst bulondaki kuvvet Z_b ,
- birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile birleşim kesitinin üst yatay deplasmanı δ_{1927}

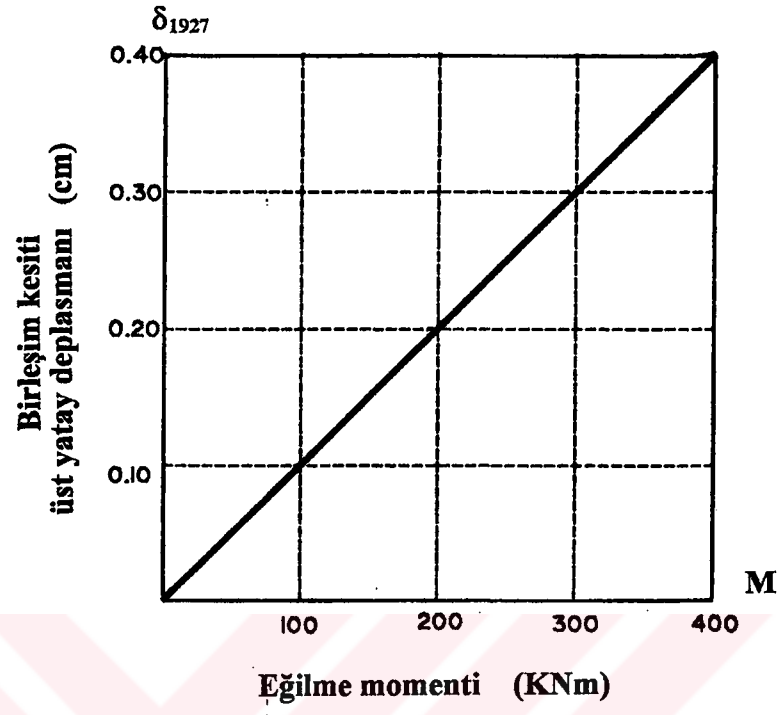
arasındaki bağıntılar sırasıyla Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3’deki grafiklerle verilmiştir [14].



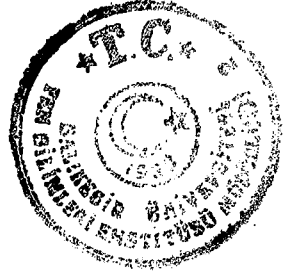
Şekil 5.1 M - θ grafiği



Şekil 5.2 M - Z_b grafiği



Şekil 5.3 δ_{1927} -M grafiği



6. SONUÇLAR

Moment aktaran bulonlu birleşimlerin bulunduğu prefabrike betonarme yapılarda gerçek davranışa daha yakın statik çözüm sonuçlarının elde edilebilmesi için birleşim noktalarındaki elastik dönme redörlerinin belirlenmesi ve bunların analiz modellerinde gözönüne alınması gerekmektedir. Bu amaçla, endüstri yapılarında yeni uygulanmaya başlanan moment aktaran bir bulonlu kolon-kiriş birleşimi ele alınarak, birleşimin elastik dönme redörü analitik olarak hesaplanmış ve bunun kesit tesirleri ve deplasmanlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, birleşim bölgesindeki gerilme dağılımları da elde edilerek bu bölgedeki donatı yerleşiminin daha iyi yapılabilmesine olanak sağlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Birleşimin elastik dönme redörünün hesabı ve birleşim bölgesindeki gerilme dağılımlarının belirlenmesi için bir hesap modeli oluşturulmuştur. Bu hesap modelinde iki eleman arasındaki birleşim, bulonlar ve birleşim kesitindeki basınç (temas) bölgesi ile sağlanmaktadır. Birleşim kesitindeki basınç bölgesinin uzunluğu başlangıçta bilinmediğinden, ayrıtlar boyunca iki ucu mafsallı fiktif çubukların kullanıldığı bir ardışık yaklaşım yolu ile belirlenmiştir. Buna göre, hesap modeli işletme yükleri altında çözümlenerek çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuklar modelden kaldırılmış ve kalan fiktif çubuklar ile sistem tekrar çözülmüştür. Bu işleme, model üzerinde çekme kuvveti taşıyan fiktif çubuk kalmayınca kadar devam edilerek birleşimdeki basınç bölgesinin uzunluğu belirlenmiştir. Ele alınan örnekte basınç bölgesinin uzunluğu a yerleştirilen fiktif çubukların aralıklarına bağlı olarak $5\text{cm} \leq a < 10\text{cm}$ arasında elde edilmiştir (Şekil 3.10). Basınç bölgesi uzunluğu a değerinin, her yük değeri için sabit kaldığı, yani yüklemenin değerinden bağımsız olduğu belirlenmiştir. Aynı birleşim için daha önce yapılmış olan deneysel bir çalışmada [16] birleşim kesitindeki basınç bölgesinin uzunluğu yaklaşık 9 cm olarak bulunmuştur (Şekil 4.13). Deneysel çalışmadan elde edilen bu değer, yapılan analitik çalışmada bulunan değerler arasında kalmaktadır. Analitik çalışmada, kullanılan sonlu eleman boyutlarının ve fiktif çubuk



aralıklarının küçültülmesi ile basınç bölgesi uzunluğunun daha hassas hesaplanması durumunda, deney sonucuna daha da yaklaşılabileceği düşünülmektedir. Aynı birleşim için, düğüm noktalarında üç serbestlikli sonlu elemanların (shell) kullanıldığı bir sistem hesap modeli ile daha önce yapılan bir başka analitik çalışmada, basınç bölgesinin uzunluğu a değeri yine $5\text{cm} \leq a < 10\text{cm}$ olarak bulunmuştur [14].

Analitik çalışmada, birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile elastik dönme açısı θ arasındaki bağıntı lineere çok yakın çıkmıştır (Şekil 3.14). Daha önce yapılan analitik çalışmada da bu bağıntı benzer şekilde lineere çok yakın bulunmuştur (Şekil 5.1). Deneysel çalışmada ise bu bağıntı nonlineer olarak elde edilmiştir (Şekil 4.9). Buna, deney elemanlarındaki büyük geometri değişimlerinin ve plastik şekil değiştirmelerin ayrıca, deney sırasında mesnet takımlarındaki oturmaların, sürtünmelerin ve numune bağlantılarındaki boşlukların sebep olduğu düşünülmektedir. Analitik hesapta, sözü edilen etkenlerin gözönüne alınmaması ve yapılan varsayımlar (I. mertebe teorisinin geçerli ve malzeme davranışının lineer-elastik olduğu) nedeniyle bu farkın ortaya çıktığı düşünülmektedir. Deneysel çalışmadan elde edilen M - θ bağıntısı incelendiğinde, ilk yüklemedeki eğriye ait eğimin küçük, son yüklemede elde edilen eğriye ait eğimin daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 4.9). Sistem, ilk yüklemeden sonra boşluklarından kurtulmuş olması nedeniyle sonraki yüklemede daha rijit bir davranış göstermiştir. Ancak, deney çalışmasında en rijit davranışı ifade eden (0' - 4) eğrisi kullanılarak hesaplanan elastik dönme açısı θ değeri, bu analitik çalışmada elde edilen θ değerinden yaklaşık 3.7 oranında, daha önce yapılan analitik çalışmadan elde edilen θ değerinden ise yaklaşık 4.0 oranında daha büyük bulunmuştur.

Analitik çalışmada, birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile sırasıyla, üst bulundaki çekme kuvveti Z_b , birleşim kesitinin alt yatay deplasmanı δ_{793} ve birleşim kesitinin üst yatay deplasmanı δ_{1927} arasındaki bağıntılar lineere çok yakın elde edilmiştir (Şekil 3.15), (Şekil 3.16), (Şekil 3.17). Daha önce yapılmış analitik çalışmada da bu bağıntılar lineere çok yakın bulunmuştur (Şekil 5.2), (Şekil 5.3). Analitik çalışmalardaki yatay deplasman değerleri arasında $\approx \% 1$, üst bulundaki çekme kuvveti Z_b değerleri arasında $\approx \% 2$ ' lik rölatif fark çıkmıştır. Deneysel



çalışmada ise $M-Z_b$ arasındaki bağıntı lineere yakın çıkmış ancak, Z_b değerleri bu analitik çalışmadan elde edilen değerlerden \approx % 29 daha büyük bulunmuştur. Yapılan analitik çalışmadan, işletme yüklerine kadar hesaplanan, birleşim kesitindeki eğilme momenti M ile alt yatay deplasman δ_{793} arasında çizilen bağıntı (Şekil 3.16), deneysel çalışmadaki aynı bağıntıya (Şekil 4.10) oldukça yakın bir şekilde elde edilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, yapılan bu analitik çalışma ile deneysel çalışma arasında bazı farklılıklar görülmektedir. Deneysel çalışmada, yükleme-boşaltma eğrilerinin (Şekil 4.9) her birinin farklı eğimlerde olması, birleşimdeki bulonların tam sıkılamaması v.b. deney hatalarının varlığını göstermektedir. Ayrıca, bir adet deney numunesinin yeterli olmadığı, birden fazla numuneden elde edilen sonuçlarla analitik çözüm sonuçlarının karşılaştırılmasının daha gerçekçi olacağı düşünülmektedir.

Bu analitik çalışmada, birleşimin elastik dönme redörü $R_\theta = 83959$ KNm/rad olarak elde edilmiştir. Daha önce yapılmış olan analitik çalışmada ise elastik dönme redörü $R_\theta = 90000$ KNm/rad bulunmuştur [14]. Bu \approx % 7' lik rölatif farkın, daha önce yapılan analitik çalışmadaki elastik dönme açısının hesabında, Şekil 3.11'deki rijit birleşimli kolon-kiriş elemanının rölatif dönmesinin gözönüne alınmamasından ve analizde kullanılan sonlu eleman özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Birleşim bölgesindeki donatı yerleşiminin daha iyi yapılabilmesini sağlamak için bölgedeki gerilme dağılımlarına ait diyagramlar elde edilmiştir. Gerilme diyagramları incelendiğinde, birleştirilen her iki elemanda çekme bulonunun alt ve üst kısımlarında yatay doğrultuda (Şekil 3.18), birleşim ayrıtına yakın bölgelerde düşey doğrultuda (Şekil 3.19), ayrıca elemanların basınç bölgelerinde guselere paralel doğrultuda (Şekil 3.20) yeterli miktarda donatının yayılarak yerleştirilmesi gerektiği görülmektedir.

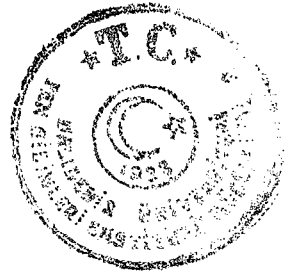
Prefabrike çerçeve sistemdeki birleşim kesiti elastik birleşimli, mafsallı birleşimli ve sürekli (rijit) şekilde tanımlanarak düşey sabit yükler altında, her üç durum için statik çözümler yapılmıştır. Elastik birleşimli çözümde, birleşimin yapıldığı kesitteki eğilme momenti değerinin sürekli çözüme göre \approx % 10 oranında azaldığı,



buna karşılık bazı düğüm noktalarında $\approx \% 3.5$, bazı mesnetlerde $\approx \% 6$ oranında arttığı ve elastik birleşimin yapıldığı CD kirişinin açıklık momentinin de $\approx \% 8$ oranında arttığı belirlenmiştir (Şekil 3.24a), (Şekil 3.24c). Çizelge 3.2'den yararlanarak, elastik birleşimli çözümden elde edilen bazı kritik deplasmanların (Şekil 3.23'deki δ_{Ax} ve δ_{Dy}) sürekli çözüme göre $\approx \% 11$ oranında arttığı belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, sistemdeki söz konusu kesitin elastik birleşimli olduğu halde, sürekli (rijit) olarak kabul edilerek çözülmesi durumunda, bazı kesitlerin boyutlandırılmasında ekonomiklikten uzaklaşılacağı, bazı kesitlerde ise gerekli güvenliğin sağlanamayacağı düşünülmektedir.

Mafsallı birleşimli çözümde, birleşim kesitinde moment oluşmamasından dolayı diğer bazı düğüm noktalarındaki eğilme momentleri, elastik birleşimli çözüme göre $\approx \% 29$ oranında, bazı mesnetlerdeki eğilme momentleri $\approx \% 51$ oranında artmakta ve orta kolonda önemli mertebede eğilme momenti meydana gelmektedir (Şekil 3.24b), (Şekil 3.24c). Mafsallı birleşimli çözümden elde edilen Şekil 3.23'deki δ_{Dy} deplasmanı, elastik birleşimli çözüme göre $\approx \% 82$ oranında artmaktadır (Çizelge 3.2). Görüldüğü gibi birleşimin, hesaplarda mafsallı olarak gözönüne alınması veya birleşimin mafsallı olarak gerçekleştirilmesi durumunda ekonomiden ve yeterli güvenlikten çok uzaklaşmaktadır.

Prefabrikte yapılar da gerçekleştirilen bulonlu birleşimler, moment aktaracak şekilde yapılmaya çalışılsa da birleşimin rijit birleşim gibi davranmadığı, birleşim kesitine etkiyen moment ile orantılı olarak bir dönme meydana geldiği belirlenmiştir. Bu nedenle, öncelikle birleşime ait elastik dönme redörünün belirlenmesi, daha sonra statik analiz modellerinde birleşim kesitindeki bu redör gözönüne alınarak kesit tesirleri ve deplasmanların bulunması gerekmektedir. Böylece, yapının gerçek davranışına daha yakın çözüm sonuçları elde edilmiş olacaktır.

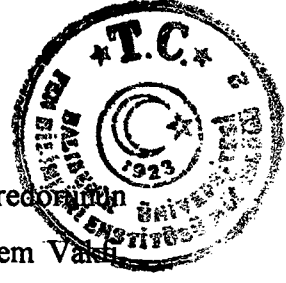


KAYNAKLAR

- [1] Özden, K., Betonarme ve öngerilmeli beton prefabrike taşıyıcı eleman, sistem ve yapıların hesap ve yapım kuralları -Öneri-, Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi Yayınları, İstanbul, (1988).
- [2] TS9967 - Yapı elemanları, taşıyıcı sistemler ve binalar - prefabrike betonarme ve öngerilmeli betondan - hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları, TSE, Ankara, (1992).
- [3] Ayaydın, Y., Büyük açıklıklı prefabrike betonarme yapılar, Birsen Kitabevi, İstanbul, (1981).
- [4] Karaesmen, E., Boyacı, N., "Prefabrike sistemlerin birleşme ve düğümleme biçimlerine göre gruplandırılması", 7. Prefabrikasyon Sempozyumu, Türkiye Prefabrik Birliği, İstanbul, (1993), II-1.
- [5] Beton prefabrike elemanların birleşim detayları, Taşıyıcı sistem birleşimleri, Türkiye Prefabrik Birliği, Ankara, (1997).
- [6] Çakıroğlu, A., Çetmeli, E., Yapı statığı, Cilt 1, Beta Yayınevi, İstanbul, (1991).
- [7] Çakıroğlu, A., Çetmeli, E., Yapı statığı, Cilt 2, Beta Yayınevi, İstanbul, (1991).
- [8] Çakıroğlu, A., Hiperstatik sistemlerin hesap metotları, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, (1992).



- [9] Aydoğan, M., “Tipik bir prefabrike çerçevede elastik birleşim redörünün olarak belirlenmesi”, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler I. Teknik Kongre KKTC, (1993), 118.
- [10] Aksoğan, O., Oskouei, A.V., Akavcı, S.S., “Uçlarında rijit bölgeler bulunan elastik bağlı çubuklardan oluşan çerçevelerin nonlineer analizi”, 7. Prefabrikasyon Sempozyumu, Türkiye Prefabrik Birliği, İstanbul, (1993), XI-1.
- [11] Yavuz, M., Tek katlı prefabrik sanayi yapılarının karşılaştırılması ve bir sistem önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1993).
- [12] Aşkar, G., Köylüoğlu, A.M., Yuva, Y., “Yarı-rijit yapısal birleşimlerin davranışları”, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler I. Teknik Kongre, Gazi Magusa - KKTC, (1993), 46.
- [13] Aydoğan, M., Aköz, A.Y., “A numerical approach to define the rotational stiffness of a prefabricated connection and experimental study”, *Computer & Structures*, Vol.1, (1995), 999.
- [14] Çolak, M., Prefabrike kolon-kiriş birleşiminin elastik dönme redörünün hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1996).
- [15] Ersoy, U., “Prefabrike yapıların deprem etkileri altında davranışı”, Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu, İstanbul, (1997), 57.
- [16] Uzgider, E., Şanlı, A.K., “Prefabrik elemanların bulonlu birleşimlerinin yükleme deneyleri hakkında rapor”, 55, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Anabilim Dalı, İstanbul, (1995).



- [17] Gülay, Gülten., Çolak, M., “Birleşim noktalarının elastik dönme redörünün hesabı”, Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, (1997), 171.
- [18] Çolak, M., “Prefabrike kolon-kiriş birleşiminin elastik dönme redörünün tayini”, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı 46, Ankara, (1998),16.
- [19] Tameröğlü, S., Elastisite Teorisi, Çözüm yöntemleri ve bazı matematiksel teknikler, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, (1991).
- [20] Sümer, S., Teori ve problemlerle cisimlerin mukavemeti, (Çeviri), Güven Kitabevi Yayınları, Ankara, (1979).
- [21] Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G., Yapı sistemlerinin hesabı için matris metotları ve elektronik hesap makinası programları, Cilt 1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, (1992).
- [22] Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G., Yapı sistemlerinin hesabı için matris metotları ve elektronik hesap makinası programları, Cilt 2, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, (1992).
- [23] Wilson, E., Habibullah, A., SAP90 Structural analysis users manual, Computers & Engineering, Lollar, (1992).