

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇELİK YAPILARDA KARMA KİRİŞ DAVRANIŞLARININ DENEYSSEL VE
TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

İnş. Müh. Selçuk Emre GÖRKEM

127465

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“İnşaat Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

127465

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12.08.2002

Tezin Savunma Tarihi : 02.09.2002

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Metin HÜSEM

Metin Hüsem

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Yusuf Ayvaz

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ayhan KARADAYI

Ayhan Karadayı

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Asım Kadioğlu

TRABZON 2002

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

“Çelik Yapılarda Karma Kiriş Davranışlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi” isimli bu çalışmayı bana önererek, çalışma hayatındaki bütün yoğunluğuna rağmen, çalışmalarımı başından sonuna kadar takip eden ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Metin HÜSEM'e minnettarım.

Deneylerde çokça yardımını gördüğüm ve deneysel tecrübelerinden faydalandığım sayın hocam Dr. Selim PUL'a teşekkürlerimi sunarım.

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan profillerin temin edilmesinde yardımcı olan hocam Sayın Doç. Dr. Ömer YÜKSEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında gördüğüm yakın ilgi ve yardımlarını unutamayacağım değerli arkadaşım Ertekin ÖZTEKİN'e teşekkür ederim.

Laboratuvarımız personelinden Teknisyen Hayri ÇAKIR'a, deney elemanlarının üretilmesindeki yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Bütün hayatım süresince hiçbir desteği esirgemeyen, yüksek lisans eğitimi almamda önemli rolü olan, hayatımın her aşamasında kendime örnek aldığım sevgili babama, canım anneme ve biricik kardeşime teşekkür eder, çalışmamın tozlu raflarda kalmamasını ve konu ile ilgilenen araştırmacılara faydalı olmasını dilerim.

TRABZON, Ağustos 2002

Selçuk Emre GÖRKEM

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1 Giriş	1
1.2 Karma Sistemlerin Tarihsel Gelişimi	2
1.3 Çelik Yapılarda Karma Kirişler	4
1.4 Karma Kirişlerin Avantaj ve Dezavantajları	10
1.5 Karma Kirişlerin Geçici Olarak Mesnetlenmesi	12
1.6 Çelik Yapılarda Karma Kiriş Davranışları	13
1.7 Karma Kirişlerin Hesabı	20
1.7.1. Etkili Başlık Genişliği	20
1.7.2. Karma Kirişlerin Moment Kapasitelerinin Hesabı	23
1.7.2.1. Karma Kirişlerde Tarafsız Eksenin Yerinin Belirlenmesi	23
1.7.2.1.1. Tarafsız Eksenin Beton Tabladan Geçmesi	24
1.7.2.1.2. Tarafsız Eksenin Çelik Kiriş Üst Başlığında Geçmesi	25
1.7.2.1.3. Tarafsız Eksenin Çelik Kiriş Gövdesinden Geçmesi	27
1.7.3. Kayma Bağlantıları	28
1.7.3.1. Kullanılan Kayma Bağlantısı Türleri	28
1.7.3.2. Kayma Bağlantılarının Davranışları ve Boyutlandırma Esasları	31
1.7.3.3. Kayma Bağlantılarının Dayanımlarının Deneysel Olarak Belirlenmesi	36
1.8. Karma Kirişler Üzerinde Yapılan Bazı Araştırmalar	36

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME.....	43
2.1. Karma Kiriş Deneş Elemanları	43
2.1.1. Karma Kiriş Üretiminde Kullanılan Kayma Bağlantıları	47
2.1.2. Karma Kirişlerin Üretiminde Kullanılan Kalıplar	48
2.1.3. Karma Kirişlerin Üretiminde Kullanılan Çelik Profil	48
2.2. Betonların Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	49
2.2.1. Agrega Özellikleri	49
2.2.2. Beton Üretiminde Kullanılan Çimentonun Özellikleri	51
2.2.3. Beton Üretiminde Kullanılan Katkı Maddesinin Özellikleri	52
2.3. Deneş Numunelerinin Üretimi Yerleştirilmesi ve Bakımı	52
2.3.1. Betonların Bileşimi	52
2.3.2. Numune Betonlarının Üretimi Yerleştirilmesi ve Bakımı	54
2.3.3. Beton Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	56
2.4. Karma Kirişler Üzerinde Yapılan Deneşler ve Bulgular	57
2.4.1. Deneş Düzenegi	57
2.4.1.1. Ölçüm Aygıtları ve Ölçüm Yerleri	59
2.4.1.1.1. Sehim Ölçeri	59
2.4.1.1.2. Birim Şekil Değiştirme Ölçerleri	59
2.4.2. Karma Kirişler Üzerinde Yapılan Deneşler	61
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
4. KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ÖZET

Çeliğin, yapısal anlamda oldukça kullanışlı ve etkili bir yapı malzemesi olduğu bilinmektedir. Zamanla çelik elemanların yangından korunması maksadı ile bir beton kütleyle gömülmeleri fikri geliştikten sonra, bu uygulamalar sonucu eleman dayanımının yüksek oranlarda arttığı gözlenmiştir. Sadece çelik kullanılarak oluşturulan yapılarda, maliyeti azaltma ve daha yüksek dayanım elde etmek amacı ile ucuz olan betonun, çelik ile ortak çalıştırılması düşüncesi, bugünkü karma yapı elemanları uygulamalarının temelini oluşturmuştur.

Bu çalışma, teorik ve deneysel olmak üzere iki bölüm halinde gerçekleştirilmiştir. Teorik kısım olan ilk bölümde, öncelikle, karma kirişlerin tanımı yapılmış ve karma kirişlerin tarihsel gelişim süreci verilmiştir. Daha sonra çelik yapılarda kullanılan karma kirişlerin çeşitli enkesit tipleri şekillerle verilmiş ve sırasıyla, karma kiriş kullanımının avantaj ve dezavantajları, geçici mesnetleme yapılıp yapılmaması irdelenmiş ve çelik yapılarda karma kiriş davranışları incelenmiştir.

Çalışmanın deneysel kısmının amacı, gömülü karma kirişlerde, çelik kirişin betonarme tablaya gömülme oranı değişiminin, eleman davranışı ve taşıma gücü üzerindeki etkilerini incelemek olarak belirlenmiştir. Bu amaçla karma kirişler üretilmiş ve bu kirişler üzerinde eğilme deneyi uygulanarak kiriş davranışları incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise elde edilen bulgular doğrultusunda karma kirişlerin davranışları irdelenerek bazı sonuçlara varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karma Kiriş, Kayma Bağlantısı, Eğilme Davranışı,
Betonarme Plak, Gömülü kesitler, Derinlik Değişimi

SUMMARY

Experimental and Theoric Investigation of The Behaviour of Composite Beams in Steel Structures

It is well known that steel is an effective and is of serviceable material with regard to structural point view. Following the idea of encasing the steel members in concrete for the purpose of fire protection, it has been experienced that the strenght of such steel members is increased substantially. The purpose of reducing the cost and gaining high strength resulted in having steel and concrete functioning together as a monolithic member. This in turn brought about the basis of the applications of the composite structural members.

This study composed of two parts such as theoretical and experimental. In the theoretical part of the study, the composite beams were described and their historical backround was underlined. Various cross-section types of composite beams which are used in steel structures were then depicted, and the advantages and disadvantages of using composite beams were discussed, respectively. Lastly, temporary shoring together with the behaviour of steel beams was briefly elaborated.

In the experimental part of the study, in encased composite slabs, the effects of variation of encasement ratio of the steel beam in concrete slab on the behaviour of member and its bearing capacity were determined. To accomplish this, composite beams were prepared and their behaviour under flexural loading were investigated.

In the third party of the study, some concluding remarks were pointed out based on the findings obtained associated with the behaviour of composite beams.

Keywords: Composite Beam, Shear Connector, Flexural Behaviour, Concrete Slab, Encased Sections, Variation of the Ratio of the Encasement

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No.

Şekil 1. Karma kiriş enkesiti.....	4
Şekil 2. Kayma bağlantılı karma kiriş enkesiti.....	5
Şekil 3. Guseli karma kiriş enkesiti.....	5
Şekil 4. T-T kirişi.....	5
Şekil 5. Yekpare veya kaynaklı T kiriş kullanımı.....	6
Şekil 6. Petek kirişlerde karma çalışma uygulanması.....	7
Şekil 7. Kutu kesitli karma kiriş.....	7
Şekil 8. Karma plak kirişi.....	8
Şekil 9. Çelik kirişin tamamen betona gömülmesi ile oluşturulmuş tipik bir karma kiriş enkesiti.....	8
Şekil 10. Kısmi gömülü karma kiriş enkesiti.....	8
Şekil 11. Yarı gömülü karma kiriş enkesiti.....	9
Şekil 12. Tipik bir tam gömülü karma kiriş enkesitinde kayma kuvveti transferinin yerleri.....	9
Şekil 13. Tam gömülü karma kiriş kullanımında minimum boyutlar.....	9
Şekil 14. Karma bir kirişin aynı taşıma gücüne sahip bazı çelik enkesitlerle karşılaştırılması.....	11
Şekil 15. Karma kirişte geçici mesnetleme yapılması.....	12
Şekil 16. Karma davranış göstermeyen bir sistem.....	14
Şekil 17. Tam etkileşimli karma olarak çalışan tipik bir kirişte oluşacak yaklaşık deformasyon şekli ve ara yüzeydeki reaksiyon kuvvetleri.....	15
Şekil 18. Karma çalışmayan bir kiriş enkesitindeki tipik birim şekil değişimi dağılımları.....	16
Şekil 19. Karma etkileşim olmayan bir kirişte yük etkisinden oluşan moment paylaşımı.....	16
Şekil 20. Karma kesitte tam etkileşim durumundaki yaklaşık birim deformasyon dağılımı.....	17
Şekil 21. Her 3 durumdaki birim deformasyon dağılımlarının toplu olarak gösterilmesi.....	18
Şekil 22. Elemanların yük paylaşımları.....	19

Şekil 23. Etkili başlık genişliği ve tahmini gerilme dağılımı	20
Şekil 24. Sürekli bir karma kiriş ve formüllerde kullanılan notasyonlar.....	22
Şekil 25. Tarafsız eksenin beton tabla içinden geçtiği durum.....	24
Şekil 26. Tarafsız eksenin çelik kiriş üst başlığından geçmesi	26
Şekil 27. Tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinden geçmesi durumu	27
Şekil 28. Çeşitli kayma bağlantısı türleri	30
Şekil 29. Üniform yayılı yüke maruz bir kirişin moment ve kesme kuvveti diyagramları	31
Şekil 30. Üniform yayılı yüke maruz bir kirişin enkesitinin kayma gerilmesi dağılımı diyagramı	32
Şekil 31. Kayma bağlantılarının servis yükleri altındaki kuvvet taşıma şekli.....	33
Şekil 32. Tarafsız eksenin konumuna göre çelik ve beton elemanlara etkiyen kuvvetler.....	34
Şekil 33. Tipik bir basıp çıkarma deneyi	36
Şekil 34. Beton tabla ve boyutları	43
Şekil 35. Çelik kiriş ve boyutları	43
Şekil 36. Çelik profil üst başlığı ile beton tabla üst yüzüne yerleştirilen donatı detayı	44
Şekil 37. Demir donatı ile oluşturulan ağın çelik kiriş üzerindeki görünümü.....	44
Şekil 38. Demir donatı ile oluşturulan ağın beton içindeki konumu.....	45
Şekil 39. Deneylerde kullanılan kayma bağlantısının boyutları.....	47
Şekil 40. Kayma bağlantılarının kiriş üst başlığında yerleşimi.....	48
Şekil 41. Üniversal deney aleti.....	49
Şekil 42. Kum eşdeğerliği deney düzeneği	50
Şekil 43. Seçilen agreganın granülometrisi	51
Şekil 44. Betonların üretiminde kullanılan betoniye.....	55
Şekil 45. Eğilme deneylerinin yapıldığı yükleme çerçevesi.....	58
Şekil 46. Deney düzeneği.....	59
Şekil 47. Birim şekil değiştirme ölçerlerinin numuneler üzerindeki görünümü	60
Şekil 48. Birim şekil değiştirme ölçeri (eksantrometre) ve 12 kanallı wheatstone köprüsü.....	61
Şekil 49. Deney anından bir görünüm	61
Şekil 50. 1. seri kirişler için yük-sehim eğrisi ve tipik kırılma örneği.....	63
Şekil 51. 2. seri kirişler için yük-sehim eğrisi ve tipik kırılma örneği.....	64
Şekil 52. 3. seri kirişler için yük-sehim eğrisi ve tipik kırılma örneği.....	65

Şekil 53. 4. seri kirişler için yük-sehim eğrisi ve tipik kırılma örneği.....	66
Şekil 54. Çelik profillerin ortalama yük-birim şekil değiştirme eğrisi.....	67
Şekil 55. 1.seri (K1) kirişlerinin yük altında ortalama birim şekil değişimleri.....	68
Şekil 56. 2. seri (K2) kirişlerinin yük altında ortalama birim şekil değişimleri	69
Şekil 57. 3. seri (K3) kirişlerinin yük altında ortalama birim şekil değişimleri	70
Şekil 58. 4. seri (K4) kirişlerinin yük altında ortalama birim şekil değişimleri	71



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No.

Çizelge 1. Üretilen karma kirişlerin enkesit tipleri.....	46
Çizelge 2. Deneylerde kullanılan profilin ortalama akma dayanımı.....	49
Çizelge 3. Agregaların fiziksel özellikleri ve ESV değeri.....	50
Çizelge 4. Beton üretiminde kullanılan çimentonun özellikleri.....	52
Çizelge 5. Beton karışım hesabı.....	54
Çizelge 6. Betonların kuru ve doymuş birim kütleleri.....	56
Çizelge 7. Şahit numunelerin ortalama basınç dayanımı.....	57
Çizelge 8. Karma kirişler üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları.....	62



SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Basınç bloğunun derinliği
A_s	: Çelik profilin enkesit alanı
b	: Etkili tabla genişliği
b_0	: Kirişler arasındaki mesafe
b_f	: Çelik kiriş başlık kalınlığı
C	: Basınç kuvveti
C_c	: Beton tabladaki basınç kuvveti
C_s	: Çelik kirişteki basınç kuvveti
C_{sb}	: Çelik kiriş başlığındaki basınç kuvveti
C_{sg}	: Çelik kiriş gövdesindeki basınç kuvveti
d	: Tabla kalınlığı
F_y	: Çelik kiriş akma dayanımı
h	: Karma kesit yüksekliği
h_a	: Çelik profilin yüksekliği
I	: Atalet momenti
L	: Kiriş açıklığı
M_p	: Plastik moment
N	: Kayma bağlantısı sayısı
s	: Kayma bağlantısı aralığı
T	: Çekme kuvveti
T_b	: Çelik profil başlığındaki çekme kuvveti
T_g	: Çelik kiriş gövdesindeki çekme kuvveti
t_b	: Çelik kiriş başlık kalınlığı
t_g	: Çelik kiriş gövde kalınlığı
q	: Kayma bağlantısının kapasitesi

- q_{ult} : Kayma bağlantısının nihai yük taşıma kapasitesi
 x : Tarafsız eksenin beton üst yüzüne olan mesafesi
 y : Betonarme tablanın alt yüzeyinin tarafsız eksene olan uzaklığı
 z : Manivela kolu
 μ : Poisson oranı
 τ_1 : Kayma bağlantılarının taşıdığı kayma gerilmesi
 τ_{max} : Karma kesitte oluşan maksimum kayma gerilmesi

Not: Bu dizinde yer almayan bazı semboller, metin içindeki ilgili yerlerinde açıklanmışlardır.



1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde teknoloji ve ekonomideki gelişmelere bağlı olarak artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla köprü, konut, fabrika, okul iş merkezi vb. gibi yapıların kullanım alanları kısıtlanmadan daha hızlı inşa edilmesi artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Ülkemizde, yoğun yerleşim bölgelerinde, çok katlı yapıların giderek daha çok uygulama alanı bulduğu bir gerçektir. Ancak söz konusu çok katlı yapılar, betonarme olarak inşa edilmekte, bu da uzun bir yapım süresi gerektirmektedir. Çelik taşıyıcı sistemli yapılara ise genellikle endüstri yapılarında rastlanmaktadır. Çok katlı çelik iskeletli yapı uygulamaları yok denebilecek ölçüde azdır.

Çelik iskeletli bir yapıda taşıyıcı sistemin bütün elemanlarında yalnız başına çelik malzeme kullanılması söz konusu değildir. Yüksek oranda çelik kullanılan endüstri yapılarında bile temeller betonarmedir [1]. Çelik kirişlere oturan köprü tabliyeleri, binalarda döşemeler, yekpare ya da prefabrikte plaklardan inşa edilebilirler. Çelik yapılarda çoğu zaman kolonların ve kirişlerin az donatılı bir beton kütleyle gömülmeleri de gerekebilmektedir [1].

Çelik yapılarda, betonarme döşeme plakları ile çelik döşeme kirişler, örtü ya da iç dolgu niteliğindeki betonla da, çelik kolonlar ortaklaşa çalıştırılabilmektedir. Betonun, basınç etkisinde büyük değerlere ulaşan taşıma gücünden yararlanma düşüncesi, karma (kompozit) elemanların oluşturulmasına imkan tanımaktadır.

Bilindiği gibi beton bir döşeme, çelik bir kiriş tarafından, kayma kuvvetine karşı herhangi bir önlem alınmadan, yalnızca destekleniyorsa oluşan sistem, karma sistem davranışına sahip olmamaktadır. Yıllarca betonarme döşemeler ve çelik kirişler herhangi bir karma kiriş düşüncesi amaçlanmadan, birlikte kullanılmışlardır. Ancak çeşitli deney sonuçlarından elde edilen veriler, söz konusu iki elemanın birbirlerine, tek bir eleman oluşturacak şekilde bağlandıklarında dayanımlarının büyük miktarlarda arttığını göstermiştir [2,3,5].

Karma sistemler, her bir malzemenin en iyi avantajlarından yararlanılarak bir yapıda, en az iki farklı veya farklı özellikli iki aynı malzemenin birlikte kullanılması ile oluşturulmaktadır. Karma sistemler oluşturulurken birbirinden çok farklı özelliklerde malzemeler kullanılabilir. Bunlara örnek olarak, çelik ve beton, beton ve beton, kereste ve çelik, kereste ve beton, çelik ve çelik , tahta ve kontraplak'tan oluşturulanlar, verilebilmektedir. Çelik yapılarda çoğu zaman karma yapı elemanı (kompozit eleman) terimi, çelik kesitler ve beton kullanılarak oluşturulan enkesitlerin, birlikte çalıştırılması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada da karma yapı elemanı terimi, bu anlamda kullanılmaktadır[1,2,4].

1.2. Karma Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

Karma yapı elemanlarının kullanımı medeniyetin ilk zamanlarında başlamıştır. Asurlular zamanında yapılan ve ilk insan üretimi yapı malzemelerinden olan çamur tuğlaların, saman parçaları ile güçlendirilmesi bunun bir örneğini oluşturmaktadır. Daha sonraları, Yunanlılar ve Romalılar, duvarları, taşıyıcı özelliği de bulunan kaplama malzemeleri ile kaplamışlardır ve bunu yaparken sistemi, malzemelerin en iyi özelliklerinin bir arada kullanılacağı şekliyle oluşturmuşlardır [4,8].

Yaygın olarak bilinen anlamı ile karma yapı elemanları 19. y.y.'in ortalarında kullanılmaya başlanmıştır. 1840 yılında *William Howe* tarafından karma bir kafes sistem yapılmış ve bu kafes sistemde kereste ve dövme demir (hadde ürünü) birlikte kullanılmıştır [4]. Bundan 4 yıl sonra da *Thomas* ve *Caleb Pratt* tarafından da yine aynı malzemeler kullanılarak bir kafes sistem oluşturulmuş ve patent alınmıştır [4]. Ancak bu iki sistem aynı malzemelerden oluşturulmasına karşın bunlar arasında elemanların kullanım yerleri ile ilgili farklar bulunmaktadır. *Howe*, kafes sisteminde demir çekme çubukları düşey elemanlar olarak, *Pratt* ise demir çekme çubuklarını diyagonal olarak kullanmıştır [4].

19. y.y.'in ortalarında beton, yapı elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Beton, yapı malzemesi olarak ilk zamanlarda, özellikle İngiltere'de demir bazı yapı elemanlarını yangından korumak için kullanılmıştır. Burada beton kullanılarak oluşturulan gömülü kesitler, genel anlamıyla uygulanan ilk karma kirişlerdir.

Günümüzde mühendisler arasında, hibrit yapı elemanlarının modern bir gelişme olduğu görüşü çok yaygındır. Bilindiği üzere hibrit konstrüksiyon, farklı dayanıma sahip çelik elemanların, yapının farklı bölgelerinde görev alacak şekilde kullanılmasına verilen isimdir. Gerçekte, bir karma yapı türü olan hibrit yapılar, günümüzden 100 yıl kadar öncesinde de bilinen ve sıklıkla kullanılan bir yapı türüdür. 1840 yılında *Squire Whipple*, çekme elemanı olarak dövme demir ve basınç elemanı olarak da dökme demir kullanarak hibrit türü bir kafes sistem inşa etmiştir. Hemen hemen aynı zamanlarda Earl Trumbull, Frankford New York'taki Erie Kanalı üzerine bir köprü inşa etmiştir. Bu köprü, kafes sistemli bir köprüdür ve burada da dökme demir ile dövme demir kullanılmıştır. Birkaç yıl sonra da Fink ve Bollman, dökme demir ile dövme demir ve dövme demir ile tahta kombinasyonlarını kullanarak köprüler inşa etmişlerdir. Daha önce de belirtildiği gibi Beton ve çeliğin karma giriş olarak kullanımına, döşemelerde yangından koruma sağlamak amacı ile başlanmıştır[4].

20.y.y.'in son zamanlarında dünyanın birçok yerinde kompozit kirişlerin gelişimine yol açan bir çok çalışma yapılmıştır. 1923 yılında *Dominion Bridge Company* tarafından Kanada'da betona gömülü kirişler üzerinde bir dizi araştırma yapılmıştır. Hemen hemen aynı zamanlarda İngiltere'deki *The National Physics Laboratory*'de kiriş davranışları üzerinde deneysel araştırmalar yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları *Scott* tarafından 1925 yılında yayınlanmıştır [4]. A.B.D.'de *J.Kahn* tarafından 1926 yılında bir kompozit giriş için patent alınmıştır. Bunun hemen sonrasında da *R.A.Caughey*, çelik-beton kompozit kirişler üzerine yaptığı çalışmalarının sonuçlarını "*Proceedings of Iowa Engineering Society*" 'de yayınlamıştır. 1929 yılında *Caughey* ve *Scott* ise çelik giriş ve beton tablaların tasarımı ile ilgili çalışmalarını yayınlamışlardır. Ve bu yayınlarında yatay kayma kuvveti etkisinden dolayı kesitlerin mekanik kayma bağlantısı ihtiyaçlarına dikkat çekmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında geçici mesnetleme yapılması ve yapılmaması durumunu da tartışmışlardır [3,4].

Karma yapı elemanları, 1930'lu yıllarda, dünyanın bir çok yerinde bilinir ve kullanılabilir hale gelmiştir. Yine bu zamanlarda İsviçre'de karma yapı elemanlarında spiral şekilli kayma bağlantısı kullanımına başlanmıştır. Avustralya'da *Knight*, karma köprülerin tasarımı ile ilgili bir çalışma yayınlamıştır. Bu çalışmada kayma bağlantılarının tasarımı ve köprülerin yapım metodları tartışılmıştır [4].

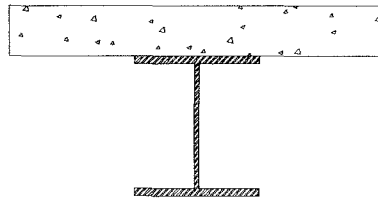
Karayolu köprüleri için karma yapı elemanlarının kullanımı 1944 AASHTO, (American Association of State Highway Officials) Şartnamesi'nin yayınlanması ve benimsenmesi ile hız kazanmıştır [3,5]. Bundan 8 yıl sonra 1952 yılında AISC (American Institute of Steel Construction) Şartnamesi'nde bina türü yapılar için karma yapı elemanı kullanımının alt sınırlarını içeren ifadelerin yayınlanması ile, karma elemanların bina türü yapılarda kullanımı da büyük hız kazanmıştır [3,5,6,8].

1.3. Çelik Yapılarda Karma Kirişler

Karma kirişler genel olarak beton bir tabla ve çelik bir kirişin uygun şekilde birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Geometrik olarak betonarme tablalı kesitlere benzemektedirler. Beton tabla, genellikle kirişin basınç bölgesinde yer almaktadır. Bunun nedeni, betonun çok yüksek değerlere ulaşabilen basınç, çelik elemanın ise çekme dayanımından yararlanılmak istenmesidir.

Çelik kiriş ile beton tabla arasındaki bağlantı, ya çelik kiriş beton tablaya kısmen ya da tamamen gömülerek ya da çeşitli türdeki kayma bağlantıları kullanılarak oluşturulmaktadır.

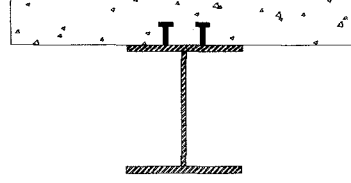
Uygulamada sık rastlanan karma kiriş enkesit tiplerinden bazıları aşağıda verilmektedir.



Şekil 1. Karma kiriş enkesiti

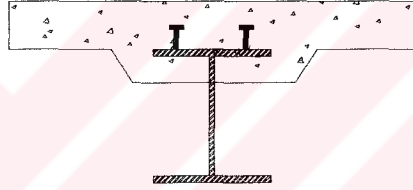
Şekil 1'de gösterilen karma kiriş, uygulamada en çok kullanılan tiplerden biridir. Çelik kiriş ve üzerindeki beton tabla, orta düzleme göre simetriktir. Bu tür kirişlerin projelendirilmesi ve inşası da diğerlerine göre hızlıdır. Karma kirişlerde, beton ile çeliğin birlikte çalışmasında gerekli aderansın sağlanması için çeşitli şekillerde kayma bağlantıları

temin edilerek kullanılabilir (Şekil 2).



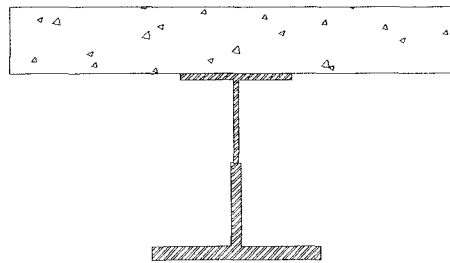
Şekil 2. Kayma bağlantılı karma kiriş enkesiti

Karma kirişler, çelik kiriş üst başlığı betona gömüldükten sonra guseli olarak da yapılabilir (Şekil 3). Buradaki guse betonunun etkisi bir çok hesapta ihmal edilmesine rağmen karma kirişin basınç başlığının yanal olarak göçmesine karşı ek bir dayanım kazandırmaktadır.



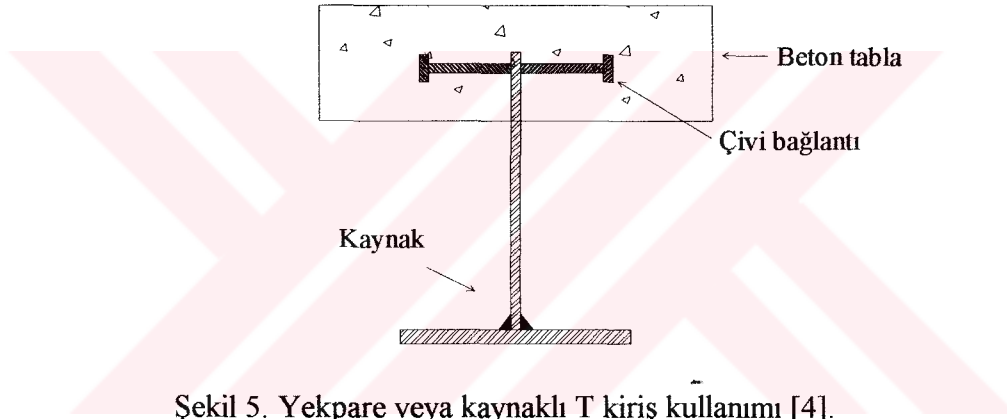
Şekil 3. Guseli karma kiriş enkesiti

Karma kirişlerin düzenlenmesine bir diğer örnek Şekil 4'te verilmektedir. Buna kısaca T-T kiriş (veya hibrit kiriş) adı verilebilmektedir[2,4]. Bu tip imalatta, altta kullanılan çelik T elemanı, üsttekinenazaran büyük seçilmektedir. Bunun nedeni, T enkesitlerle meydana getirilen, I enkesitinde oluşacak gerilme değerlerinin, toplam çelik enkesitte, en alttan en yukarıya doğru azalarak gitmesidir. Bunun için ekonomik tarafta kalınması amacıyla üstteki enkesit, alttakine kıyasla daha küçük seçilmektedir.



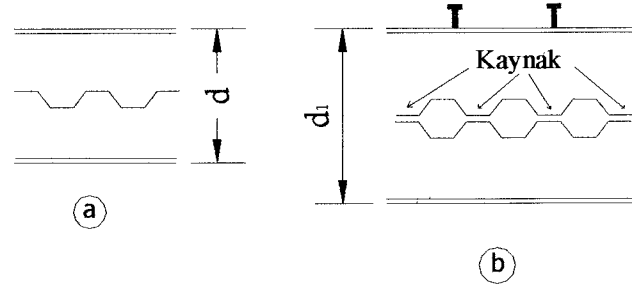
Şekil 4. T-T kirişi

Karma eleman olarak çelik T kiriş kullanımına başka bir örnek Şekil 5'te verilmiştir. Burada ya yekpare bir T kesit kullanılmakta ya da projede öngörülen dayanım miktarını karşılayacak şekilde seçilen çelik levhalar, bir T kiriş kesiti oluşturacak şekilde kaynaklanmaktadır. Daha sonra bu T kirişin beton içerisinde kalan kısmına simetrik olacak şekilde çivi tarzı bağlantılar kaynaklanmaktadır. Bu eleman yapısal anlamda çok etkili olabilmektedir. Burada çivi bağlantı kullanılması, kesitin yanal göçmesine karşı bir önlem olabilse de, yine de dikkatli uygulanmadığı durumlarda (aralıklar birbirine yakın ve üniform olmadığı zaman) bir yanal göçme tehlikesi mevcuttur. Kesitlerde karma çalışma, beton dayanım kazandıktan sonra meydana geleceği için bu tür kesitler, uzunlukları boyunca geçici olarak mesnetlenmelidir. Bu mesnetler, beton dayanım kazandıktan sonra kaldırılmalıdır.



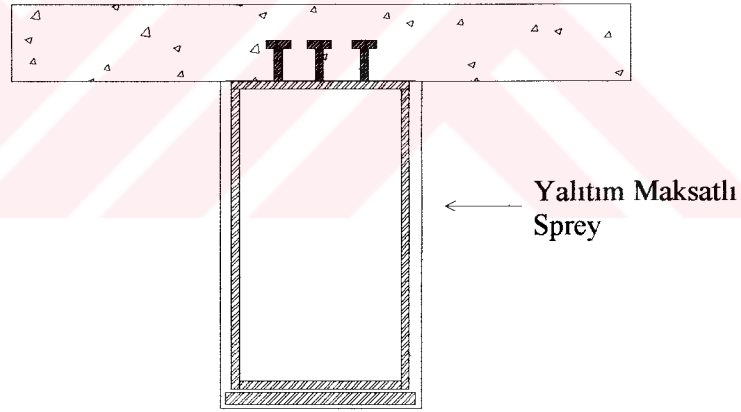
Şekil 5. Yekpare veya kaynaklı T kiriş kullanımı [4].

Karma yapı elemanı olarak petek (castella) türü kesitler de kullanılabilir (Şekil 6). Bu tür kesitler, şekilde gösterilen yerlerinden kesilmiş olarak üretilir ve daha yüksek bir kesit oluşturmak amacıyla kaynaklanarak birleştirilir. Bu şekilde oluşturulan bir kiriş, derin bir kiriş olmasının sağladığı avantajlarının yanında gövde kısmındaki boşluklardan da yapıda elektrik ve su tesisatının yerleştirilmesinde büyük kolaylık sağlar [1,3,4].



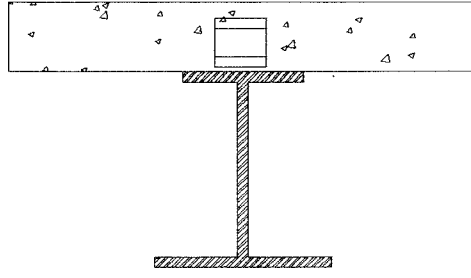
Şekil 6. Petek kirişlerde karma çalışma uygulaması [1,4].

Karma kiriş yapımında kutu kesitler de kullanılabilir (Şekil 7). Bu tip bir elemanın kullanılması kesitin taşıma gücü ile birlikte özellikle kesitin burulma dayanımını da artırmaktadır. Karma kutu kirişler uzun açıklıklardan oluşan köprülerde daha fazla kullanılmaktadır. Ancak günümüzde binalarda da kullanımı mevcuttur [4]. Yukarıda sayılan getirilerine ek olarak binalarda, kutu kiriş kullanılarak ısıtma-soğutma tesisatı için gereken boşluklar da oluşturulabilmektedir[4].



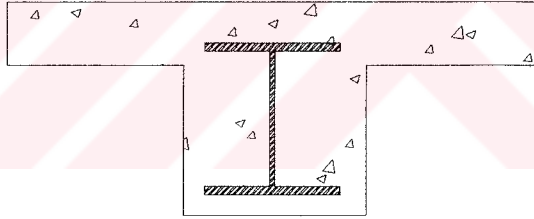
Şekil 7. Kutu kesitli karma kiriş

Karma kirişlerde genellikle çelik kirişin enkesit üst başlığı, alt başlığından daha seçilebilmektedir[1,2,3,4,7]. Bu tür çelik kesitler, yekpare imal edilebilmekte veya parçaların sonradan kaynaklanması ile oluşturulabilmektedir.

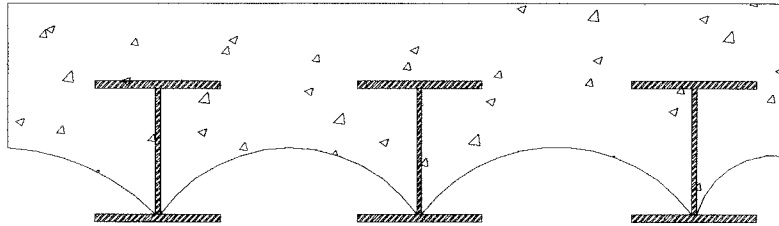


Şekil 8. Karma plak kirişi

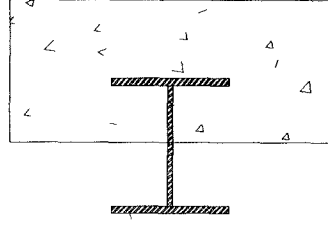
Çelik kirişler beton tablaya kısmen veya tamamen gömülerek de karma kirişler oluşturulabilmektedir [1,2,3,4,5,6,7]. Bu uygulamaya genelde yangından koruma amaçlanarak başvurulmaktadır. Bu tip kesitlerde kayma bağlantıları kullanılmamakta, kesite etkiyecek olan kayma kuvvetinin, bu iki eleman arasında oluşan bağ ve sürtünme ile taşındığı kabul edilmektedir[4,5] Bu tür kirişler, Şekil 9’da görüldüğü gibi tam gömülü veya Şekil 10’da görüldüğü gibi kısmi gömülü kesite sahip olacak tarzda yapılabilmektedir. Bu çalışmada deneysel olarak davranış ve taşıma gücü incelenen gömülü enkesit tiplerinden birisi ise Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 9. Çelik kirişin tamamen betona gömülmesi ile oluşturulmuş tipik bir karma kiriş enkesiti

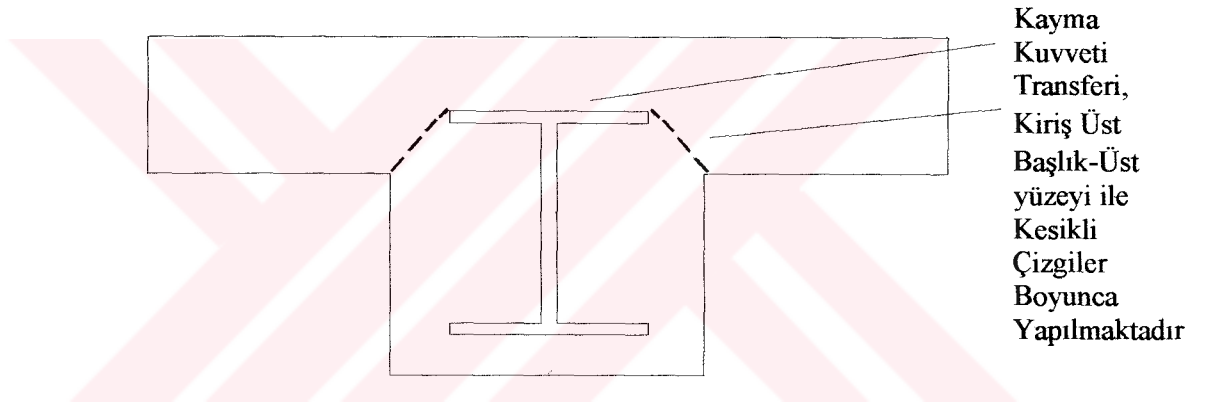


Şekil 10. Kısmi gömülü karma kiriş enkesiti [4,8].

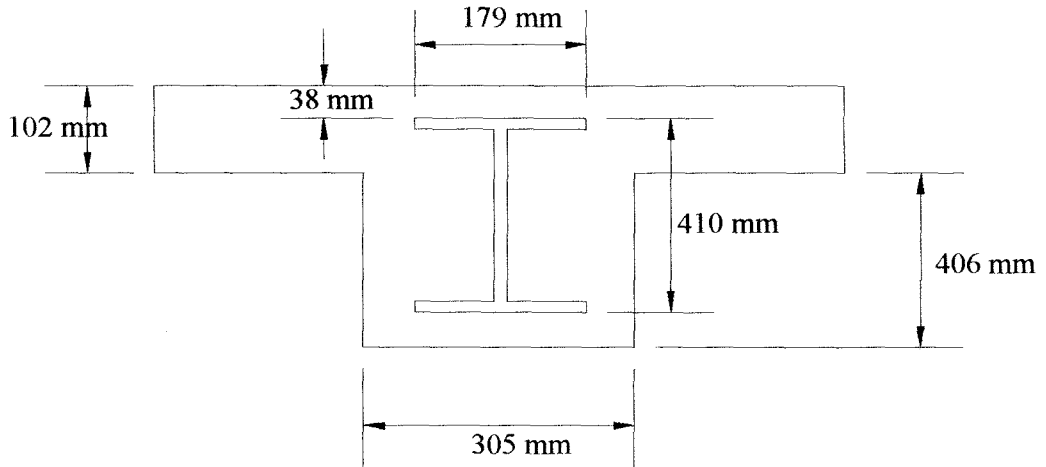


Şekil 11. Yarı gömülü karma kiriş enkesiti

Çelik kirişin tam gömülü olduğu durumda, elemanlar arasındaki bağ ve sürtünme ile kayma kuvveti transferinin nerelerde olacağı Şekil 12’te, bu tür kesitlerin uygulanması için AISC tarafından sağlanan minimum boyutlar ise Şekil 13’te gösterilmektedir.



Şekil 12. Tipik bir tam gömülü karma kiriş enkesitinde kayma kuvveti transferinin yerleri



Şekil 13. Tam gömülü karma kiriş kullanımında minimum boyutlar [42].

1.4. Karma Kirişlerin Avantaj ve Dezavantajları

Karma yapı elemanlarında kat döşemesi sadece hareketli yükleri taşımak için değil aynı zamanda da çelik kirişle bir bütün oluşturacak şekilde çalışmaktadır. Bu durum, çelik elemanın üst başlığı üzerinde geniş bir kaplama levhası varmış gibi düşünülebilir [7].

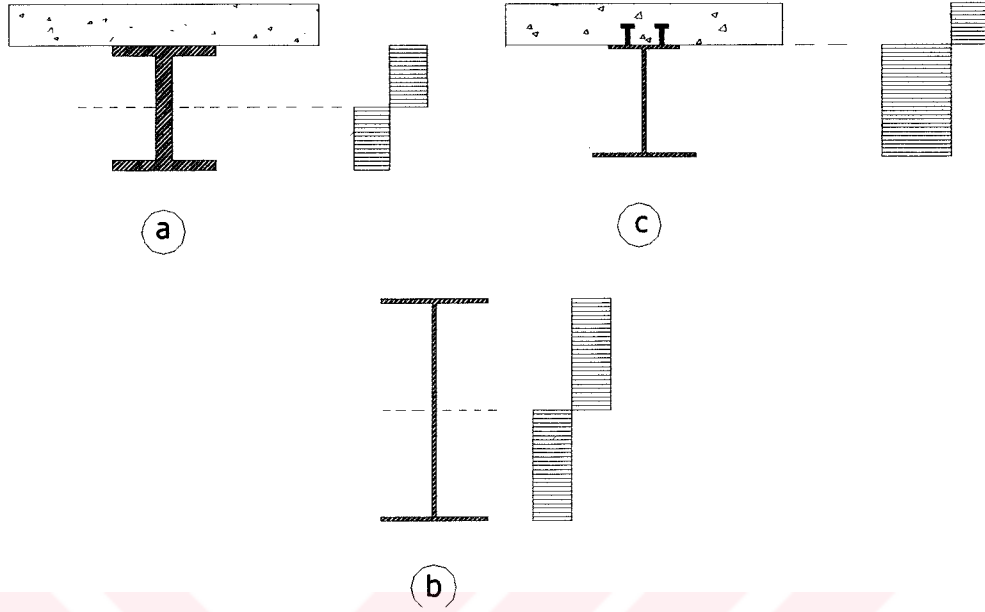
Karma döşemelerin belirgin avantajı, beton tablanın büyük bir kısmının basınç bölgesinde kalmasından dolayı betonun, zaten yüksek olan basınç dayanımından yararlanılabilesidir[1,2,7,8].

Taşıyıcı sistemi yalnızca çelikten olan elemanlarla karşılaştırıldığında, aynı yük ve aynı açıklık koşullarında, karma sistemlerde çok daha az çelik sarfiyatı olduğu görülmektedir[7,8].

Karma kesitler, sadece çelik olanlara oranla daha fazla dayanıma sahiptir ve çok daha az sehim yapmaktadır. (Çelikten olanların yaptığı sehimden %20-30 daha az) [4,5].

Projede öngörülen yüklerin taşınabilmesi için sistem, karşılaştırma yapılması için, karma olarak çalışmayan, karma olarak çalışan ve sadece çelik enkesitli olacak şekilde boyutlandırılırsa, karşımıza çıkabilecek muhtemel kesitler Şekil 14a Şekil 14b ve Şekil 14c'de verilmektedir. Şekil 14a'da aynı karma sistemlerde olduğu gibi bir beton tabla ve çelik kiriş mevcut olduğu ve kesitin yüksekliği açısından da bir sınırlama olduğu varsayılmaktadır. Burada, çelik kiriş ve beton tabla arasında yüklerin taşınmasında herhangi bir yardımlaşma olmadığından ötürü sabit yük ve işletme yüklerinin tamamını çelik kiriş taşıyacaktır. Sonuçta beton tabla sadece bir kaplama malzemesi olarak görev yapmakta ve çelik kiriş enkesiti bütün bu yükleri taşıyacağı için, çelik kesit, et kalınlığı fazla, dolayısıyla da çok ağır olarak boyutlandırılmaktadır[1,3,7]. Şekil 14b'de ise kiriş enkesiti sadece çelik profil kullanılarak boyutlandırılmıştır ve bir yükseklik sınırlaması olmadığı varsayılırsa bu durumda seçilen çelik profil enkesiti çok yüksek olacaktır[1] . Şekil 14.c'de ise karma olarak dizayn edilen bir kiriş taşıyıcı sistemi görülmektedir. Bu üç enkesit teşkili içerisinde en uygun ve ekonomik şeklin Şekil 14c'deki karma sistem olacağı açıktır. Karma kirişler hem hafiftir ve dolayısı ile çelik sarfiyatında azalma sağlar, hem de yüksekliği uygun olduğu için çelikteki yangından koruma masrafları gibi ek maliyet

gerektiren harcamalarda diğer kesitlere göre tasarrufa neden olmaktadır.



Şekil 14. Karma bir kirişin aynı taşıma gücüne sahip bazı çelik enkesitlerle karşılaştırılması [1].

Karma yapı elemanları, özellikle çok katlı yapılarda eleman yüksekliklerinin azalması dolayısı ile binanın yüksekliğinin azalmasına da katkıda bulunmaktadır. Bu, özellikle yüksek binalarda büyük bir avantaj sağlar. Düşük döşeme yükseklikleri, bina tüm yüksekliğinin azalmasını sağlayacak ve bunun sonucunda da daha düşük duvar harcamaları, su tesisatı, elektrik tesisatı, havalandırma boruları, asansörler ve temeller için de maliyette azalmaya neden olacaktır [4,5,6,9].

Karma yapı elemanı kullanılması, yalnız çelik kullanılması veya elemanların karma çalıştırılmama durumlarına kıyasla, eleman rijitliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bunun sonucunda da karma elemanların taşıma gücü, anılan diğer yapım çeşitlerine göre, önemli ölçüde artmaktadır [9].

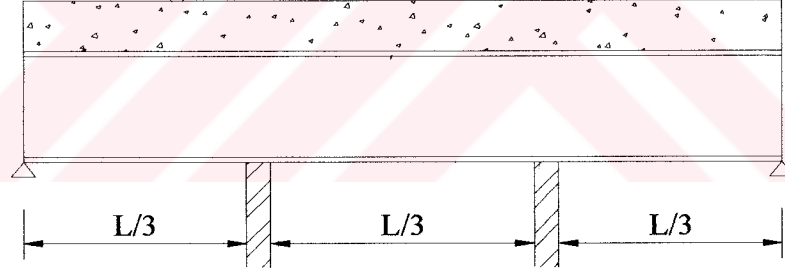
Karma taşıyıcı sistemler, betonarme ve çelik taşıyıcı sistemlere oranla çok daha uzun açıklıklardan oluşturulabilir. Bunun sebebi, betonarme sistemlerde kullanılan demir donatıların uzama rijitlikli olmasıdır[10]. Oysa çelik kirişler, eğilme rijitliklidir. Uzun açıklıklardan oluşan, eğilme etkisine maruz kirişlerin, çelik enkesitli olarak

boyutlandırılması, betonarme sistemlere göre üstünlük sağlamaktadır. Karma kiriş sistemlerinde ise, çeliğin bu özellikleri ile beraber, betonun da basınç mukavemetinden aynı zamanda faydalanılmaktadır.

Karma sistemlerde kayma bağlantılarının tedarik edilmesi ve yerine yerleştirilmesindeki harcamaların fazlalığı bir dezavantaj oluşturmaktadır[3,5].

1.5. Karma Kirişlerin Geçici Olarak Mesnetlenmesi

Taşıyıcı sistemi karma elemanlardan oluşan yapılarda, önce çelik kirişler yerleştirilip sabitlemekte, sonra da beton tablalar ya üzerilerine yerleştirilmekte veya yerinde döküm yapılmaktadır [5,6]. Eğer tabla betonu yerinde döküm olarak yapılacaksa, taze betonun yükü ve diğer sabit yüklerin kirişler tarafından desteklenmesi için geçici ara mesnetlemelere ihtiyaç duyulmaktadır [8]. Bu ara mesnetler, kiriş açıklığının $1/3-1/2$ si mesafelerinde yerleştirilmektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Karma kirişte geçici mesnetleme yapılıması

Beton 28 günlük basınç dayanımının %75'ini kazandığında, geçici mesnetlerin kaldırılması ile yerinde döküm (yekpare) beton(arme) plak ile çelik eleman ortak çalışmaya başlamaktadır. Geçici mesnetler kaldırıldığı zaman, tablanın ağırlığı tamamen karma kesite iletilmektedir. Çelik kiriş de tablanın ağırlığını tek başına taşımaktan kurtulur ve beraber çalışma sağlanır. Dolayısı ile geçici mesnetlemenin kullanıldığı durumlarda tüm yüklerde ortak çalışma sağlanacağı için daha hafif çelikler kullanılabilir. Böylece pahalı olan çelik malzemeden de az bir miktar da olsa tasarruf yapılmış olunmaktadır [3,5].

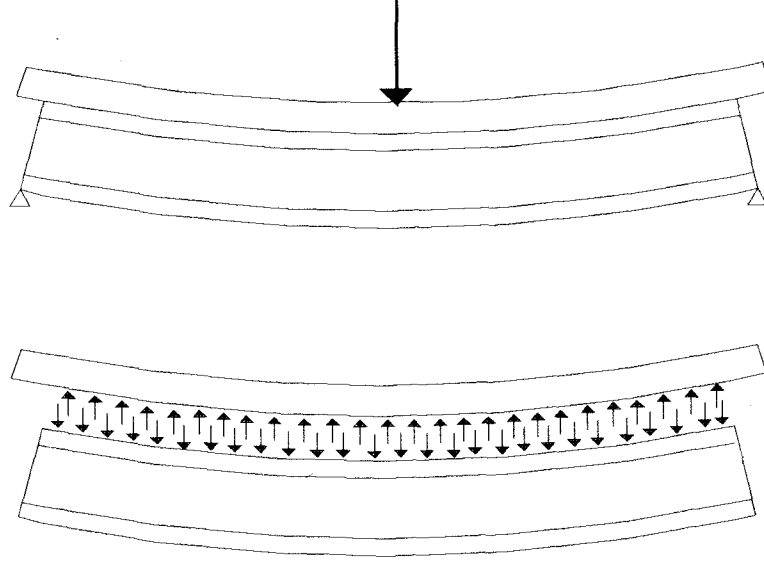
Eğer geçici mesnetleme yapılmaz ise çelik kiriş, kendi öz ağırlığı ile birlikte taze beton yükünü de tek başına taşımak zorunda kalacak ve ortak çalışma sadece işletme yükleri altında gerçekleşecektir [1,3,5,7].

Geçici mesnetleme yapılmasının bu faydalarına rağmen bu konudaki genel eğilim, bu işlemin yapılmaması yönündedir. Bu yüzden, çelik kirişin boyutlandırılmasında sıklıkla çelik kiriş, beton tablanın sabit yükünü de taşıyormuş gibi boyutlandırılır. Bunu sonucu ortaya çıkan çelik kesit, diğer durumdakine göre biraz ağır olmaktadır. Bunun altında yatan en önemli nedenlerden birisi, geçici mesnetleme yapılması işleminin işçilik açısından zor ve zahmetli olmasıdır. Ayrıca bu konudaki teorik ve deneysel çalışmalar, tamamen aynı enkesite sahip iki karma kirişin, geçici mesnetleme yapılanı ile bu işlem yapılmadan inşa edileninin yük altındaki nihai dayanım değerinin aynı olduğunu göstermektedir [3,7].

Tabla betonu dayanım kazanıp, geçici mesnetler kaldırıldıktan sonra oluşan karma kesitin, hem sabit hem de işletme yüklerini beraber taşıması hem avantaj hem de dezavantaj olabilmektedir. Burada iki eleman ortaklaşa çalıştığı için beton da üzerine düşen ölü yük miktarını taşıyacaktır. Böylece karma kesitin basınç tarafında yer alan beton(arme) tabla, toplam sabit yükün bir kısmına ve bunun yanında sünme ve rötre etkilerine de maruz kalacaktır. Oluşacak çatlamlar sonucu, tablanın üstlendiği gerilme değerinde düşüş olacak, monolitik davranışın bir sonucu olarak, çekme bölgesindeki çelik enkesitin gerilme değerinde ise büyük miktarda artış meydana gelecektir. Sonuçta her durumda, sabit yükün büyük bir kısmı yine çelik kirişler tarafından taşınmış ve karma çalışma, sanki geçici mesnetleme hiç yapılmamış gibi sadece hareketli yüklerde (işletme yüklerinde) sağlanacaktır.

1.6. Çelik Yapılarda Karma Kirişlerin Davranışları

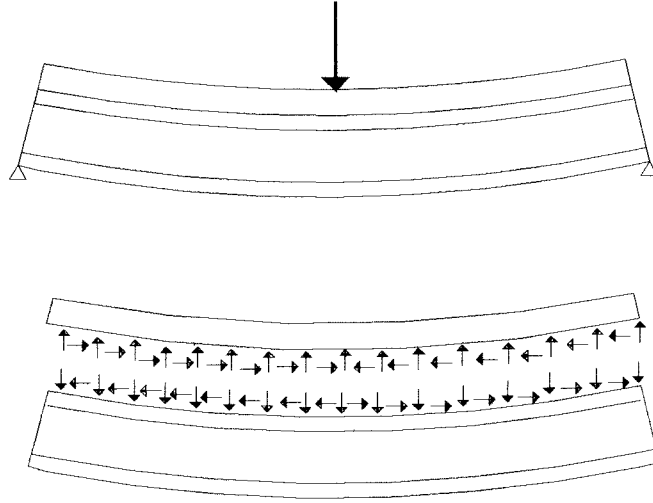
Çelik yapılarda karma kiriş davranışlarının daha iyi açıklanabilmesi için, karma sistem olarak çalışmayan ama karma kiriş enkesiti ile aynı boyutlara sahip bir kiriş dikkate alınmaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Karma davranış göstermeyen bir sistem [8].

Burada görüldüğü gibi, beton tabla ile çelik kiriş arasında yatay kayma kuvvetine karşı herhangi bir önlem alınmadığından, tabla ile kiriş arasında sürtünme oluşmamaktadır (veya ihmal edilebilecek kadar küçük düzeyde olmaktadır). Bu nedenle, beraber çalışma gerçekleşmemekte, çelik kiriş ve beton tabla, üzerilerine düşen yükü paylaşmaktadırlar. Arada yatay kuvvete önlem olarak düşünülmüş herhangi bir bağlantı olmadığı için de kendi üzerilerine düşen farklı yüklerden dolayı farklı ve birbirinden uyumsuz bir şekil değiştirme sergilemektedirler. Bu şekil değişimine, genelde, rölatif kayma adı verilmektedir. Tabla, düşey yükler altında şekil değiştirdiğinde, tablanın en alt yüzeyinin çekme etkisine maruz ve uzama eğiliminde olduğu görülmektedir. Farklı şekilde tablanın altında yer alan çelik kirişin üst kısmı da basınca maruz kalmakta ve kısalma eğiliminde olmaktadır. Bu farklılıklardan dolayı, karma olarak çalışmayan böyle bir kirişte, çelik kiriş ile tabla arasındaki değme yüzeyinde süreksizlikler oluşmaktadır. Sürtünme ihmal edildiği için tabla ile kiriş arasında sadece düşey tepkiler olduğu görülmektedir (Şekil 16).

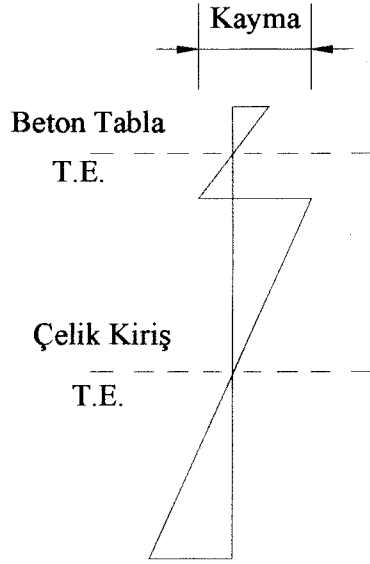
Aynı enkesit ölçülerine sahip sistem, karma çalışan bir sistem olarak düşünülürse (Şekil 17),



Şekil 17. Tam etkileşimli karma olarak çalışan tipik bir kirişte oluşacak yaklaşık deformasyon şekli ve ara yüzeydeki reaksiyon kuvvetleri [8].

Sistemin yük etkisinde şekil değiştirmiş haline bakıldığında, yatay kuvvete önlem olarak düşünülen kayma bağlantılarının varlığından dolayı burada yatay sürtünme reaksiyonunun mevcut olduğu görülmektedir. Sürtünme etkisinden dolayı, çelik kiriş ve beton tabla, birbirlerine göre, uyumsuz olarak şekil değiştirmemekte ve rölatif kayma meydana gelmemektedir. Etkiyen yatay kuvvetler nedeni ile kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Şekilden, kayma gerilmelerinin yönlerine bakılarak da anlaşılacağı gibi burada karma olmayan durumun tersine, tablanın alt yüzeyi basınca maruz kalıp kısısalma eğilimi gösterirken, çelik kirişin üst yüzeyi ise çekmeye maruz kalır ve uzama eğilimi gösterir.

Çelik kiriş ve beton tabla arasında karma etkileşim olmaması durumundaki birim şekil değiştirme dağılımı Şekil 18’de gösterilmiştir.

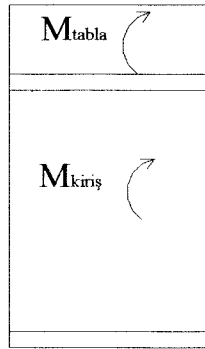


Şekil 18, Karma çalışmayan bir kiriş enkesitindeki tipik birim şekil değişimi dağılımları[2,3].

Böyle bir kirişte, iki farklı tarafsız eksen olduğu için, iki farklı moment değeri mevcuttur. Kesitin taşıdığı moment değeri, tabla ve çelik kiriş arasında bölüşülmektedir ve,

$$\Sigma M = M_{Tabla} + M_{Kiriş} \quad (1)$$

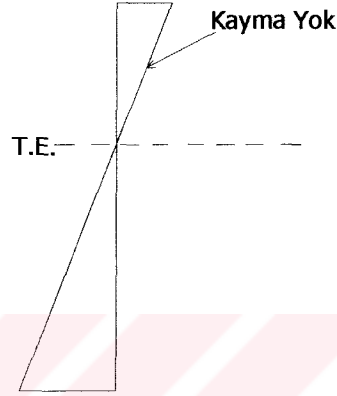
olarak ifade edilebilmektedir. Karma etkileşim olmayan böyle bir kirişte, yük etkisiyle meydana gelen momentlerin paylaşımı Şekil 19'da verilmektedir.



Şekil 19. Karma etkileşim olmayan bir kirişte yük etkisinden oluşan moment paylaşımı

Sistem karma olarak çalışmadığından kesitte, iki tarafsız eksen oluşmaktadır. Bunlardan birisi beton tablanın ağırlık merkezinden, diğeri ise çelik kirişin ağırlık merkezinden geçmektedir.

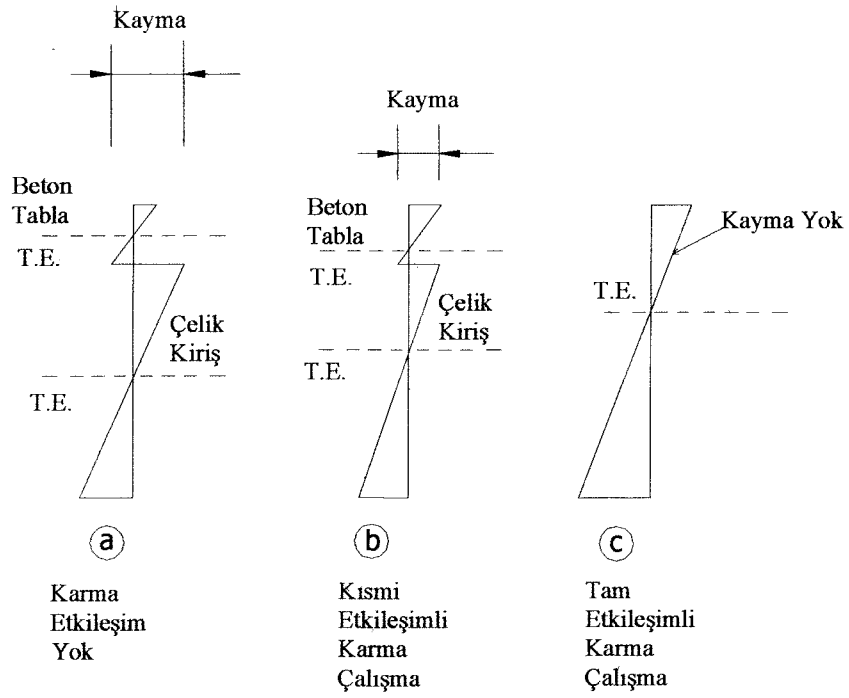
Tam etkileşim durumunda (Şekil 17)'ki birim şekil değiştirme dağılımı ise Şekil 20'de verilmektedir.



Şekil 20. Karma kesitte tam etkileşim durumundaki yaklaşık birim deformasyon dağılımı [6,8].

Tam etkileşimli halde hiçbir surette kayma oluşmamaktadır. Şekil 20'den de görüldüğü gibi tek tarafsız eksen vardır ve yeri ise, karma olmayan durumdakine (Şekil 17) kıyasla, betondaki tarafsız eksenin bir miktar altında ve çelikteki tarafsız eksenin ise bir miktar üzerindedir.

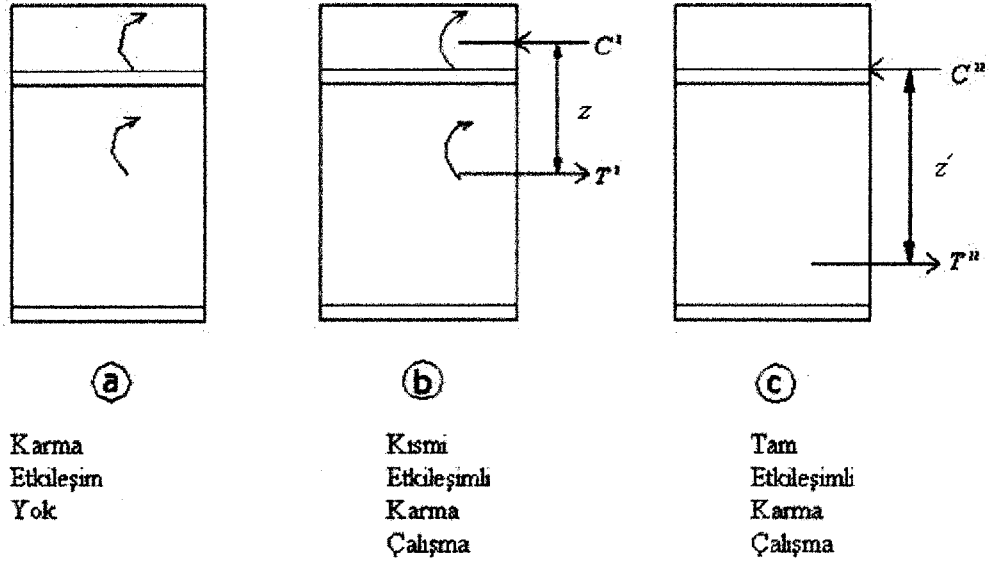
Ancak gerçekte karma elemanlarda tam etkileşim söz konusu olmamaktadır. Tam etkileşim, çelik kiriş ile beton tablanın birbirine tamamen entegre olarak, etkiyen yükleri taşıyabilmek için, tamamen beraber hareket etmeleri anlamına gelmektedir. Ancak bu durum sadece bir idealleştirmeden ibarettir. Kesitte kaymaya karşı, şartnamelerde belirtilen alt sınırlar da göz önünde bulundurularak önlem alınmış ise gerçekte oluşan durum, tam etkileşim durumuna yakın olmakla birlikte yine de bir miktar farklıdır. uygulamadaki etkileşim durumuna, kısmi etkileşimli hal adı verilmektedir. Karma olmayan çalışma, kısmi etkileşimli karma çalışma ve tam etkileşimli karma çalışma durumlarında oluşabilecek yaklaşık birim şekil değiştirme dağılımları, sırayla, Şekil 21'de toplu olarak gösterilmiştir. Kısmi etkileşim durumu Şekil 21b'de görülmektedir.



Şekil 21. Her 3 durumdaki birim deformasyon dağılımlarının toplu olarak gösterilmesi [6,8].

Yukarıda verilen bu üç şekil (Şekil 21a,21b,21c) birbirleri ile karşılaştırıldığında, çelik kiriş ile beton tablanın etkileşimi arttıkça, bunların her biri içerisinde ayrı ayrı yer almakta olan tarafsız eksenler giderek birbirine yaklaşmakta ve ideal hal olan tam etkileşimli karma çalışma durumunda, tek bir tarafsız eksen oluştuğu görülmektedir.

Birim şekil değişimi dağılımları ifade edilen bu üç sistemin (Şekil 21a,21b ve 21c) elemanlarının, moment paylaşımları da Şekil 22'de birlikte gösterilmiştir.



Şekil 22. Elemanların yük paylaşımı [6,7,8]

Kısmi etkileşimli karma çalışma durumunda, elemanlarda kısmi basınç ve çekme kuvvetleri oluşmaktadır (C' ve T') (bkz. Şekil 22b). Bunlar, yük etkisinde beton tabla ve çelik kirişteki kuvvetlerdir. Bu durumda elemanın taşıma gücü, bu kuvvetlerden herhangi birinin, şekildeki manivela koluyla çarpılması (z) ile hesaplanmaktadır.

Tam etkileşimli halde oluşacak basınç ve çekme kuvvetleri (C'' ve T''), kısmi etkileşimde oluşan kuvvetlere nazaran daha büyük değerdedir (bkz Şekil 22c). Ayrıca buradaki manivela kolunun uzunluğu (z') da kısmi etkileşimli durumdakinden daha büyüktür. Bu ise kısaca daha fazla taşıma gücü anlamına gelmektedir. Buradan da sonuç olarak, kayma kuvvetine karşı ne kadar iyi önlem alınırsa, kesitin taşıma gücünün de o kadar artacağı anlaşılmaktadır.

Söz konusu kesitlerin taşıma gücü değerleri ise, karma etkileşim yoksa,

$$\Sigma M = M_{Tabla} + M_{Kiriş} \quad (2)$$

bağıntısı ile, kısmi etkileşim mevcutsa,

$$\Sigma M = C'z \text{ veya } T'z \quad (3)$$

bağıntısı ile, tam etkileşim durumunda ise,

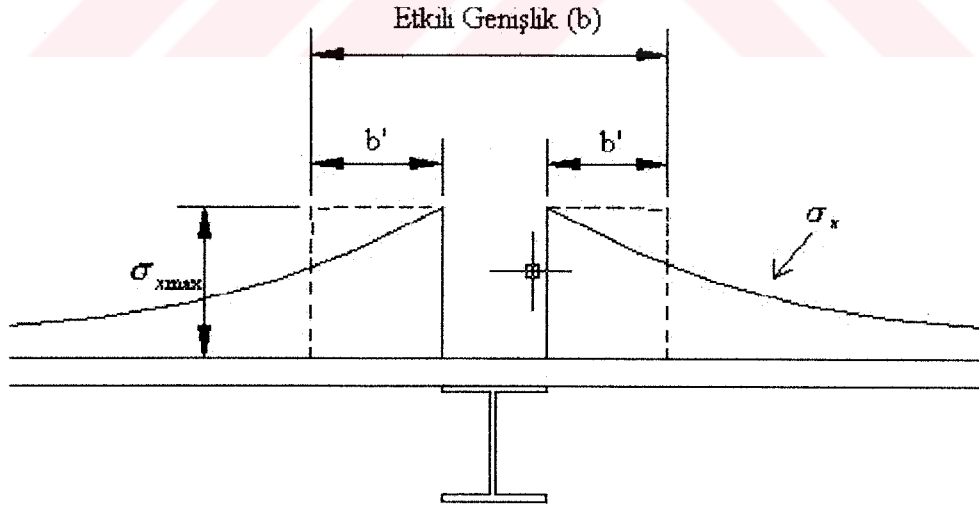
$$\Sigma M = C'' z' \text{ veya } T'' z' \quad (4)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

1.7. Karma Kirişlerin Hesabı

1.7.1. Etkili Başlık Genişliği

Beton ya da betonarme tablanın, ne kadarlık bir kısmının karma kirişin bir parçası olarak çalıştığının tahmini önemli bir problemdir [5,9]. Etkili başlık genişliği kavramının açıklanması amacıyla Şekil 23'te gerilmeye maruz bir karma kesit verilmektedir. Burada çelik kirişin sonsuz uzunlukta ve mesnetlenme yerleri birbirine eşit mesafede, tablanın da sonsuz genişlikli ve kalınlığının da çelik kiriş yüksekliğine kıyasla oldukça az olduğu varsayılmıştır. Şekilde gösterilen σ_x gerilmesi, kirişin düşeyinde maksimum değerine ulaşmakta, kirişten uzaklaştıkça da lineer olmayan bir azalma sergilemektedir.



Şekil 23. Etkili başlık genişliği ve tahmini gerilme dağılımı [8].

Etkili tabla genişliği,

$$b = b_f + 2b' \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$2b'$ ile $\sigma_{x_{max}}$ çarpımının sonucu, σ_x 'in değişimini gösteren her iki eğrinin altında kalan alanların toplamına eşittir [8].

Etkili tabla genişliği hesabı aslında, elastisite teorisinin plaklara uygulanmasını içermektedir. Şekil 22'de de ifade edilen sonsuz uzunluklu ve eşit aralıklarla mesnetlenmiş bir kiriş ve bu kirişin üzerinde de sonsuz genişlikli ve kiriş yüksekliğine kıyasla oldukça ince bir tabla bulunması durumunda, b' değerinin σ_x 'in değişimine göre, dolayısı ile açıklık uzunluğu ve yükleme şekline göre değişim gösterdiği açıktır.

Johnson, yarı sinüs dalga şekline sahip moment üreten bir yük etkisi altında etkili başlık genişliği değeri, L , Kirişin açıklık uzunluğunu, b_f , çelik kiriş başlık genişliğini, μ , tablanın poisson oranını göstermek üzere,

$$b = b_f + \frac{2L}{\Pi(3 + 2\mu + \mu^2)} \quad (6)$$

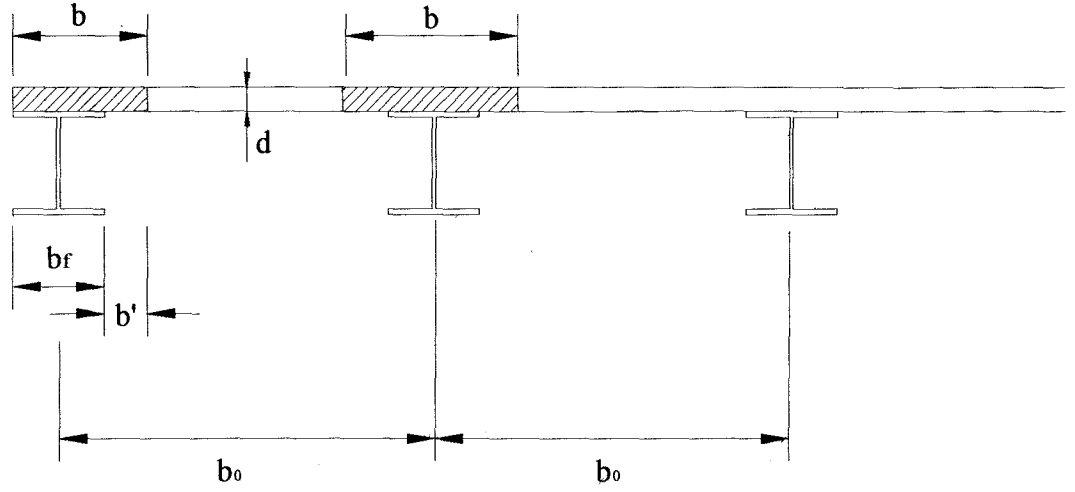
denkleminin geçerliliğini ortaya koymuştur[8].

Tabla beton olduğunda $\mu = 0.20$ olarak alınabilir ve 6 nolu bağıntı

$$b = b_f + 0.196L \quad (7)$$

şekline gelir.

Timoshenko ve *Von Karman* gibi bir çok araştırmacı, geniş başlıklı ancak homojen olan kirişlerde etkili tabla genişliği değerlerinin hesabı için bağıntılar önermişlerdir. Ayrıca *Johnson* tarafından denklemlerin, başlığı ve diğer kısımları farklı malzemelerden oluşturulan kirişler için de geçerliliği ortaya koymuştur. b etkili genişliğinin alabileceği maksimum değer, aşağıdaki formüllerle ifade edilenlerin en küçüğüdür.



Şekil 24. Sürekli bir karma kiriş ve formüllerde kullanılan notasyonlar

AISC'ye göre [41], iç mesnet olarak görev alan bir kirişin eğer her iki tarafında da tabla mevcutsa,

$$b \leq L/4 \quad (8)$$

$$b \leq b_0 \text{ (Eşit açıklıklar durumunda)} \quad (9)$$

$$b \leq b_f + 16d \quad (10)$$

Kenar mesnet olarak görev alan bir kirişte, dolayısı ile sınırlamalar sebebiyle sadece 1 tarafta tabla mevcutsa

$$b \leq L/12 + b_f \quad (11)$$

$$b \leq \frac{1}{2}(b_0 + b_f) \quad (12)$$

$$b \leq b_f + 6d \quad (13)$$

olmaktadır. Benzer olarak otoyol köprülerinin tasarımı için AASHTO Şartnamesine

göre etkili başlık genişliği değerleri [1,3,5,8],

İç mesnet olarak görev alan bir kirişin eğer her iki tarafında da tabla mevcutsa,

$$b \leq L/4 \quad (14)$$

$$b \leq b_0 \text{ (Eşit açıklıklar durumunda)} \quad (15)$$

$$b \leq 12d \quad (16)$$

Kenar mesnet olarak görev alan bir kirişte, dolayısı ile sınırlamalar sebebiyle sadece 1 tarafta tabla mevcutsa

$$b \leq L/12 \quad (17)$$

$$b \leq \frac{1}{2}(b_0 + b_f) \quad (18)$$

$$b \leq 6d \quad (19)$$

olmaktadır.

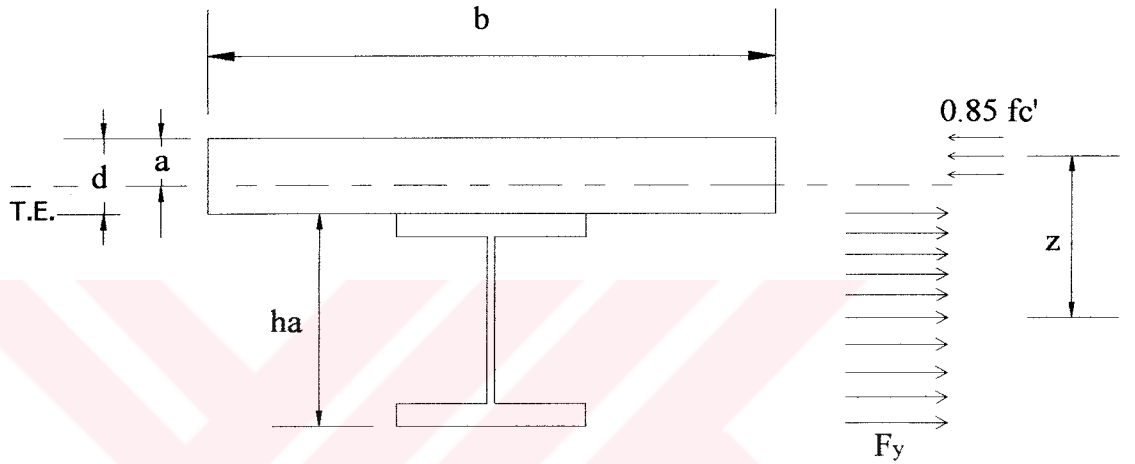
1.7.2. Karma Kirişlerin Moment Kapasitelerinin Hesabı

1.7.2.1. Karma Kirişlerde Tarafsız Eksenin Yerinin Belirlenmesi

Kesitlerin nihai moment kapasitesinin belirlenmesinde izlenen yol, tarafsız eksenin beton tablaya mı yoksa çelik kiriş üzerine mi düştüğü ile ilgilidir. Tarafsız eksen beton tablaya düşüyorsa, tabla yeterlidir veya tabla toplam basınç kuvvetini taşıyabilmektedir denilebilir. Eğer tarafsız eksen, çelik kirişin gövdesinden veya başlığından geçiyorsa, bu durumda, beton tablanın basınç kuvvetini taşımakta yetersiz olduğu sonucuna varılmaktadır ve beton tablanın taşıyamadığı basınç kuvvetini de çelik kiriş üstlenmektedir.

1.7.2.1.1. Tarafsız Eksenin Beton Tabladan Geçmesi Durumu

Tarafsız eksenin, beton tabla içinden geçmesi durumu Şekil 25'te gösterilmektedir. Burada, b , beton tabla etkili genişliğini, a , basınç bloğunun derinliğini, d , tabla kalınlığını, h_a , çelik profil yüksekliğini, z , çekme kuvveti bileşkesi ile basınç kuvveti bileşkesi arasındaki mesafeyi, f'_c ise betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir.



Şekil 25. Tarafsız eksenin beton tabla içinden geçtiği durum

Tablının yeterli kabul edildiği durum olan tarafsız eksenin, beton tabla içerisinde yer alması durumunda, hem basınç hem de çekme bölgelerinde dikdörtgen gerilme dağılımı kabul edilerek, nihai basınç kuvveti olan C ,

$$C = 0.85 f'_c ab, \quad (20)$$

nihai çekme kuvveti ise,

$$T = A_s F_y \quad (21)$$

olmaktadır. Verilen formüllerde, C ve T birbirine eşitlenirse, buradan beton basınç bloğunun derinliği olan a ,

$$a = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c b} \quad (22)$$

olarak elde edilmektedir. Tarafsız eksenin beton tabla içerisinde geçtiği bu durumda, $a < d$ olmaktadır.

Plastik moment kapasitesi ise,

$$M_p = Cz \quad (23)$$

veya

$$M_p = Tz \quad (24)$$

bağıntıları ile belirlenmektedir.

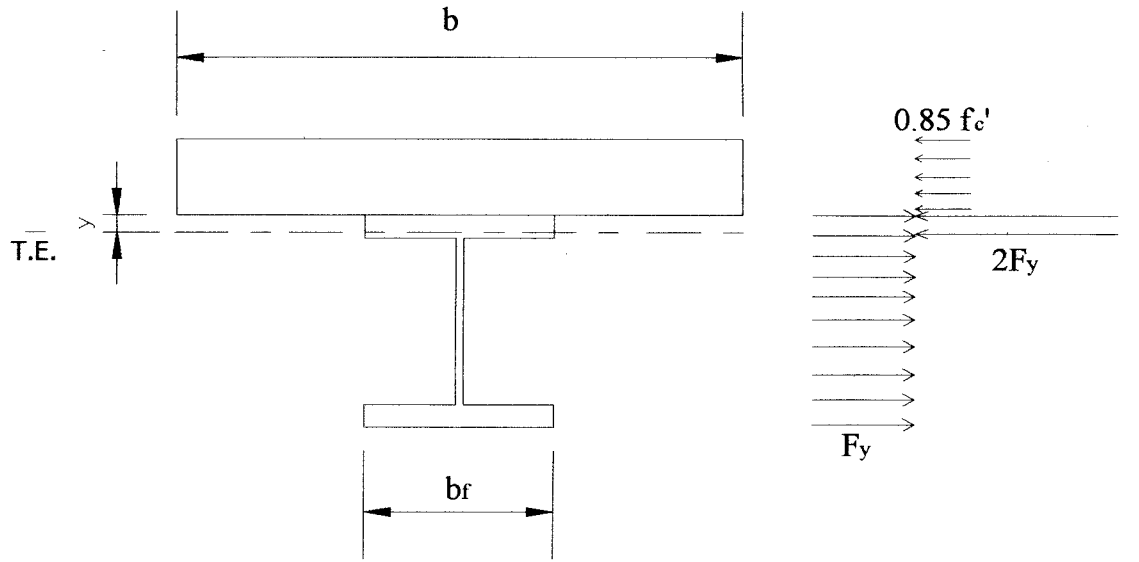
Tablanın yeterli farz edildiği bu durumda, çeliğin, çekme etkisinde ulaşacağı akma dayanıma kadar olan yüke eşit miktardaki, basınç yükünü taşıyabildiği varsayılmaktadır. Moment taşıma gücü değeri olan M_p , formüllerdeki değerler yerine yazıldığı zaman,

$$M_p = A_s F_y \left(\frac{h_a}{2} + d - \frac{a}{2} \right) \quad (25)$$

bağıntısı ile elde edilmektedir.

1.7.2.1.2. Tarafsız Eksenin Çelik Kiriş Üst Başlığında Geçmesi Durumu

Tarafsız eksen, çelik kiriş üst başlığından geçiyorsa beton tablanın, toplam basınç kuvvetini taşımakta yetersiz kalacağı daha önce belirtilmişti. Bu durumda oluşacak gerilme dağılımı Şekil 26'da verilmektedir.



Şekil 26. Tarafsız eksenin çelik kiriş üst başlığında geçmesi

Tarafsız eksenin çelik kiriş üst başlığında geçmesi durumunda, beton tablanın tamamı basınca maruz kaldığı için, beton tabladaki basınç kuvveti,

$$C_b = 0.85 f'_c b d \quad (26)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Çelik kiriş üst başlığındaki basınç kuvveti,

$$C_s = 2F_y b_f y \quad (27)$$

olmaktadır. Kesite etkiyen toplam çekme kuvveti ise,

$$T = A_s F_y \quad (28)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada, hesaplarda kolaylık sağlamak amacıyla, tarafsız eksenin üzerindeki çelik profil üst başlığı kısmında da çekme kuvveti olduğu varsayılmıştır. Bunun idealleştirmeye paralel olarak, çelik kiriş üst başlığındaki basınç kuvveti, kesit alanı ile orantılı olacak şekilde $2F_y$ 'ye çıkarılmıştır.

Kesitin taşıyabileceği toplam plastik moment, tarafsız eksene göre bütün

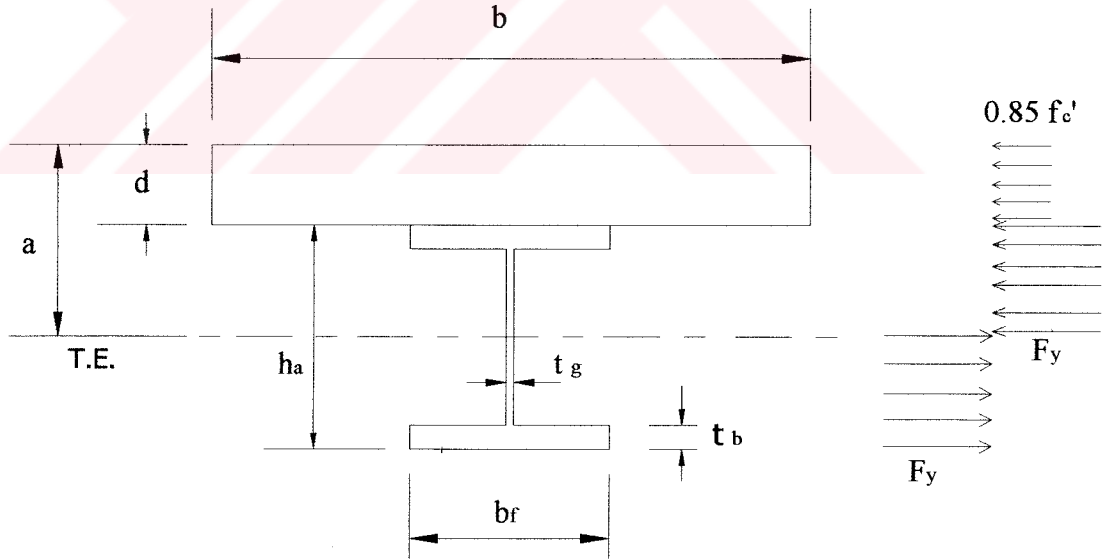
kuvvetlerin momentleri toplamına eşit olacaktır.

$$\begin{aligned}
 M_p &= C_c \left(\frac{d}{2} + y \right) + C_s \left(\frac{y}{2} \right) + T \left(\frac{h_a}{2} - y \right) \\
 &= 0.85 f'_c b d \left(\frac{d}{2} + y \right) + 2 F_y y b_f \left(\frac{y}{2} \right) + A_s F_y \left(\frac{h_a}{2} - y \right)
 \end{aligned} \quad (29)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir.

1.7.2.1.3. Tarafsız Eksenin Çelik Kiriş Gövdesinden Geçmesi

Yüksek olmayan kirişler için söz konusu olan bu haldeki gerilme dağılımı [10], Şekil 27'de verilmektedir. t_b , çelik kiriş başlık kalınlığını, t_g , çelik kiriş gövde kalınlığını, x , tarafsız eksenin beton tabla üst yüzüne olan uzaklığı, d , beton tabla kalınlığını, göstermektedir.



Şekil 27. Tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinden geçmesi durumu

C_c , C_{sb} , C_{sg} , T_g ve T_b ifadeleri sırasıyla, betondaki basınç, çelik kiriş üst başlığındaki basınç, çelik kiriş gövdesindeki basınç, çelik kiriş gövdesindeki çekme ve çelik kiriş alt başlığındaki çekme kuvvetlerini göstermek üzere, bu ifadelerin sayısal değerleri,

$$C_c = 0.85 f'_c b d \quad (30)$$

$$C_{sb} = F_y t_b b_f \quad (31)$$

$$C_{sg} = F_y (a - d - t_b) t_g \quad (32)$$

$$T_g = (h_a - (a - d) - b_f) t_g F_y \quad (33)$$

$$T_b = t_b b_f F_y \quad (34)$$

bağıntıları ile hesaplanabilmektedir. Kesitin taşıyabileceği plastik moment değeri ise,

$$M_u = C_c \left(a - \frac{d}{2} \right) + C_{sb} \left(a - d - \frac{t_b}{2} \right) + C_{sg} \left(\frac{a - d - t_b}{2} \right) + T_g \left(\frac{h_a - (a - d) - b_f}{2} \right) + T_b \left(h_a - (a - d) - \frac{t_b}{2} \right) \quad (35)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

1.7.3. Kayma Bağlantıları

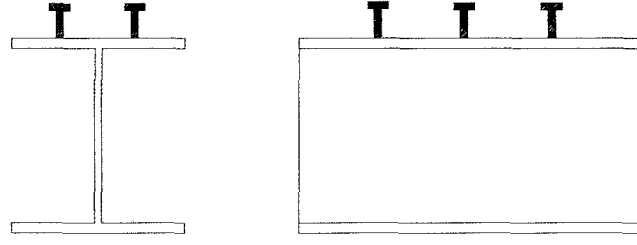
Karma bir enkesitin yekpare olarak davranabilmesi için, yükleme sırasında beton tabla ile çelik kiriş arasında oluşacak yatay kayma etkisinin karşılanması gerekmektedir. Çelik profilin beton içine gömülmesi durumunda, tabla ile kiriş arasında oluşan aderans, çoğu zaman iyi bir değerde olmasına rağmen, gömülme olmadığı durumlarda bu aderansın sağlanabilmesi için kayma bağlantılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca kayma bağlantısı kullanımının diğer bir amacı da tablanın, kirişten ayrılmasını önlemektir.

1.7.3.1. Kullanılan Kayma Bağlantısı Türleri

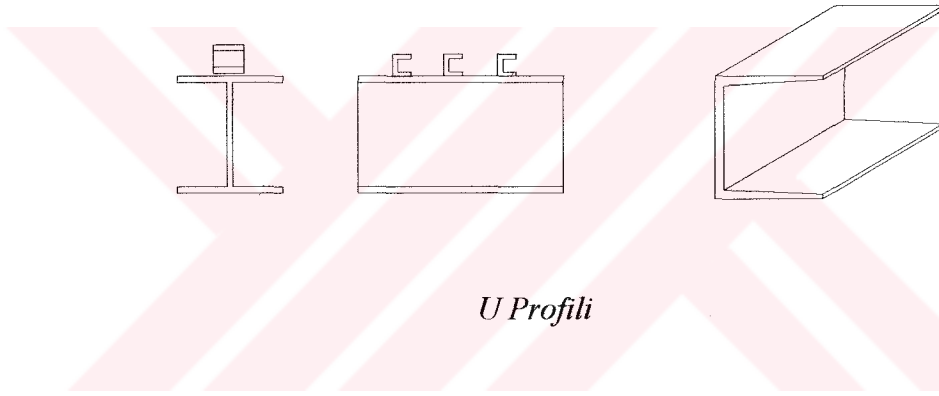
Mekanik kayma bağlantıları genellikle kirişin üst tarafına kaynaklanarak monte edilmektedir. Kayma bağlantılarının günümüze kadar bir çok şekli kullanılmıştır. Bunlar

arasında, çivi ve kıvrık çivi bağlantılar, spiral çubuklar, korniyerler, Z profilleri, U profilleri, prizma kamalar, T profilleri, eğik etriyeler sayılabilir [1,3,7,8,9,10]. Bu kayma bağlantılarının bir kısmı Şekil 28’te gösterilmektedir.

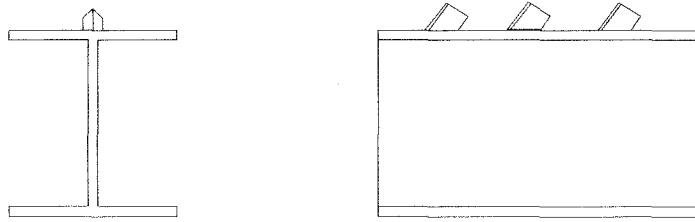




Çivi ve Kıvrık Çivi Şekilli Bağlantı



U Profili



Korniyer

Şekil 28. Çeşitli kayma bağlantısı türleri [3,4,5,8]

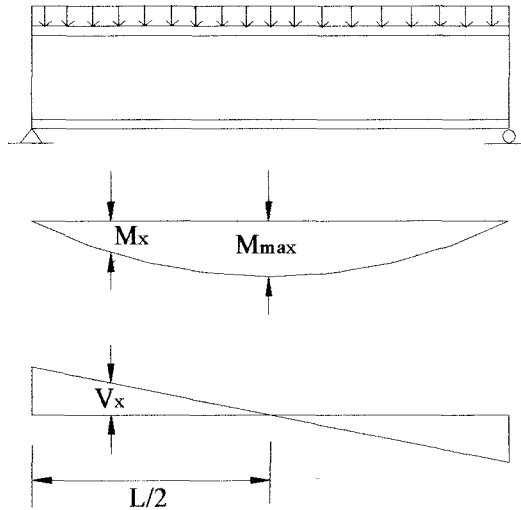
Ekonomik zorunluluklar nedeni ile kayma bağlantısı olarak genellikle yuvarlak başlıklı çiviler çelik kirişin üst başlığına kaynaklanarak kullanılmaktadır. Çivi tarzı kayma bağlantıları genellikle alt tarafından, başlık kısmı yukarıda kalacak şekilde çelik kirişe kaynaklanır. Beton içerisinde gömülü olarak kalan başlık kısmı, etkiyecek kayma kuvvetinin taşınabilmesi için geniş bir kenetlenme alanı sağlamasının yanında, beton tablanın çelik kirişten düşey olarak ayrılmasını ve kalkmasını engeller.

Çiviler, çelik kirişlere, çivi kaynakıcı tabancalar yardımı ile kaynaklanarak, kalifiye elemanlara gerek olmadan kolayca ve çabuk biçimde takılabilmektedir. Bu çivilerin prefabrike olarak, şantiyeden uzakta yerlerine yerleştirilmesi çok daha ekonomiktir. Ancak bu işlemin şantiyede yapılması tercih edilir. Bunun, kayma bağlantıları takılı halde şantiye yerine götürülen kirişlerin, istifleme sırasında ve yolda hasar görmesidir. Ayrıca bunların yerine yerleştirilmesi sırasında oluşabilecek çarpmalardan dolayı bağlantıların hasar görme ihtimali de fazla olmaktadır.

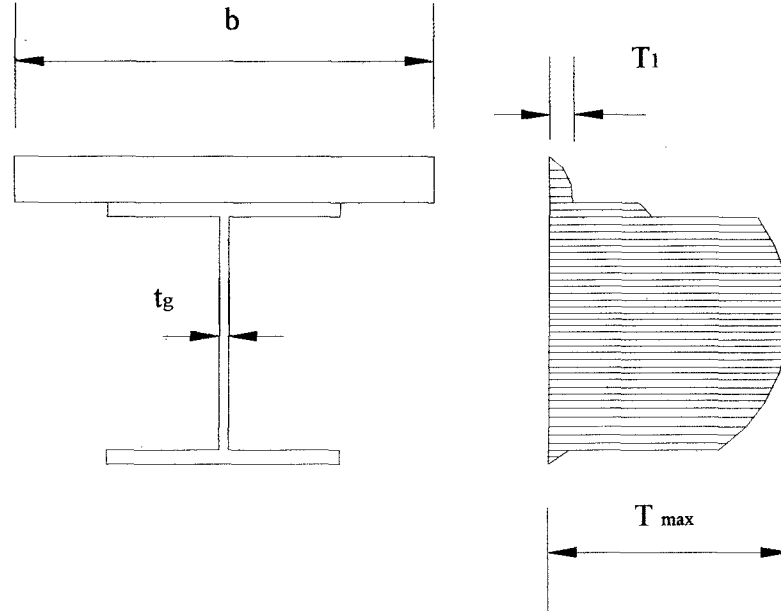
1.7.3.2. Kayma Bağlantılarının Davranışları ve Boyutlandırma Esasları

Teorik olarak kayma bağlantıları, bahsedilen, tam etkileşimli hali sağlayacak şekilde dayanıma sahip olmalıdır [3,5,8,9].

Düzgün yayılı yüke maruz bir basit kirişin, kesme (kayma) kuvveti diyagramı Şekil 29'da verilmektedir. Bu şekilden, açıklığın kenar kısımlarındaki kayma kuvvetinin, orta kısma göre fazla olduğu, dolayısı ile buralarda daha fazla kayma bağlantısına ihtiyaç duyulacağı anlaşılmaktadır. Bir karma kiriş kesitindeki kayma gerilmesi dağılımı dikkate alınır, burada gösterilmekte olan τ_1 gerilmesi, tabla ile kiriş arasındaki bağlantılar tarafından karşılanmalıdır (Şekil 30). Servis yükleri altında Şekil 29'daki kirişte oluşan kayma kuvveti değerleri, açıklık ortasında sıfır değerine kadar düşmekte, mesnetlerde ise maksimum değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 29. Üniorm yayılı yüke maruz bir kirişin moment ve kesme kuvveti diyagramları

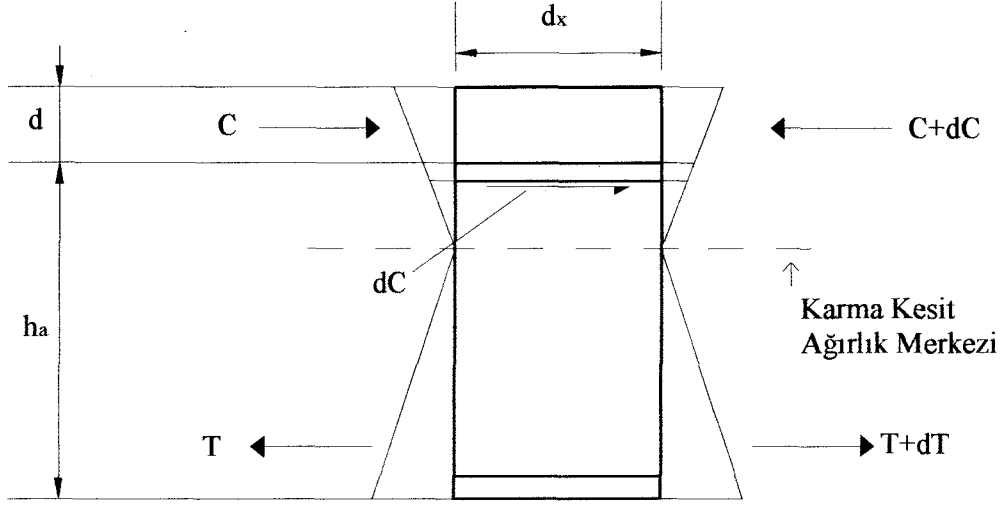


Şekil 30. Üniform yayılı yüke maruz bir kirişin enkesitinin kayma gerilmesi dağılımı diyagramı

Tek açıklıklı bir karma kirişten(bkz. Şekil 29'teki basit kiriş) bir kesit alımp, bu parçanın dengesi incelenecek olursa (Şekil 31), Açıklık boyunca birim uzunluktaki kayma kuvvetinin,

$$\frac{dC}{dx} = T_1 b = VQ/I \quad (36)$$

olduğu görülmektedir.



Şekil 31. Kayma bağlantılarının servis yükleri altındaki kuvvet taşıma şekli [3].

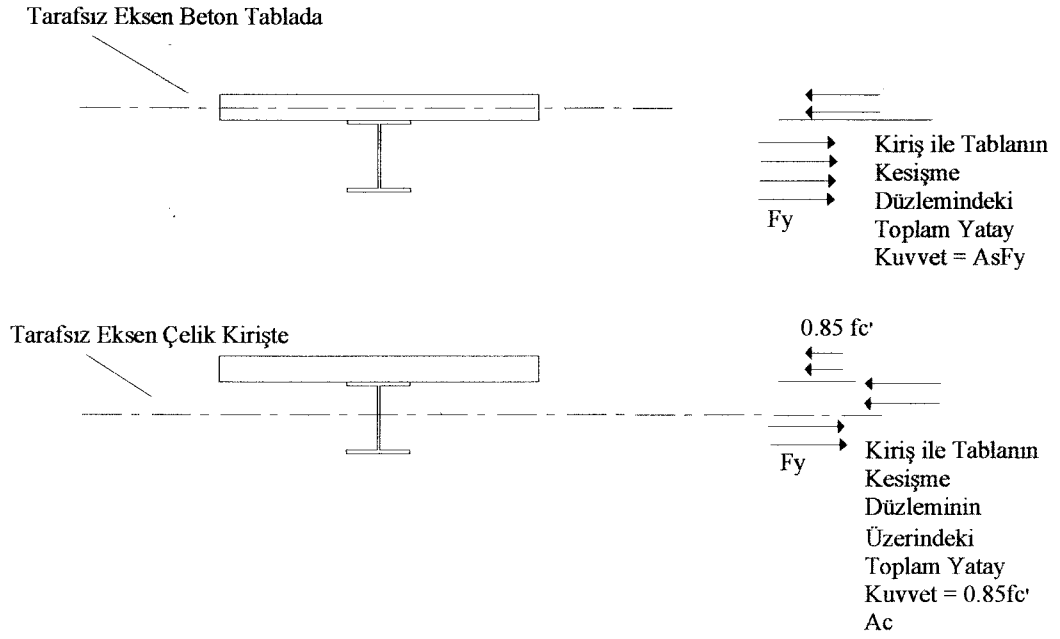
Böylece verilen bir kayma bağlantısının müsaade edilebilir kapasitesi q ise ihtiyaç duyulan etkileşimi sağlamak için gerekli maksimum kayma bağlantısı aralığı, s ,

$$s = \frac{q}{\frac{VQ}{I}} \quad (37)$$

bağlantısı ile hesaplanmaktadır. Burada, yatay kayma kuvvetinin, kayma bağlantılarınca karşılandığına dikkat edilmelidir. VQ/I formülü ile hesaplanan kayma kuvvetinden ziyade, kayma kuvveti, nihai yükleme durumları göz önüne alınarak belirlenebilmektedir.

Kullanılacak kayma bağlantıları, taşıma gücü prensibine göre belirlenebilmektedir. Taşıma gücü prensibine göre kayma bağlantıları, kesitin taşıyabileceği nihai eğilme momenti etkisiyle betonda oluşan maksimum basınç kuvvetinin taşınması sırasında yükü eşit olarak bölüşmelidirler.

Şekil 32'ye göre karma kesitteki tarafsız eksen beton tabla içine olduğu zaman oluşacak maksimum yatay kayma kuvveti $A_s F_y$ olmaktadır. Tarafsız eksen çelik kirişte olduğu zaman ise maksimum yatay kuvvet, $0.85 f'_c A_c$ olmaktadır.



Şekil 32. Tarafsız eksenin konumuna göre çelik ve beton elemanlara etkileyen kuvvetler [3,5]

$$C_{\max} = 0.85 f'_c b d \quad (38)$$

$$b d = A_c \quad (39)$$

Veya, aşırı yükleme durumundaki çekme kuvveti (tablanın en altında) değeri, C_{\max} 'tan az olmalıdır.

$$T_{\max} = A_s F_y \quad (40)$$

Eğer verilen bir bağlantı elemanının nihai taşıma kapasitesi q_{ult} ise, maksimum moment noktası ile moment sıfır noktası arasındaki toplam kayma bağlantısı sayısı (N),

$$N = \frac{C_{\max}}{q_{ult}} \quad (41)$$

veya

$$\frac{T_{\max}}{q_{ult}} \quad (42)$$

olmaktadır. Bunlardan küçük olanı seçilir [4,6,8].

Taşıma gücüne göre kayma bağlantısı sayısının hesaplanmasında, kayma bağlantısına isabet eden nihai yük değerleri bir katsayı ile oranlanarak problem, taşıma gücü koşullarından normal çalışma koşullarına indirgenmektedir. Katsayı olarak genelde 2 seçilmektedir. Boyutlamaya esas olan (37) ve (39)'da hesaplanan kuvvetler 2'ye bölünürse

$$V_h = \frac{C_{\max}}{2} = \frac{0.85 f_c' A_c}{2} \quad (43)$$

$$V_h = \frac{T_{\max}}{2} = \frac{A_s F_y}{2} \quad (44)$$

denklemleri elde edilecektir. Yine bu iki V_h ifadesinin küçük değerde olanı seçilerek,

$$N = \frac{V_h}{q} \quad (45)$$

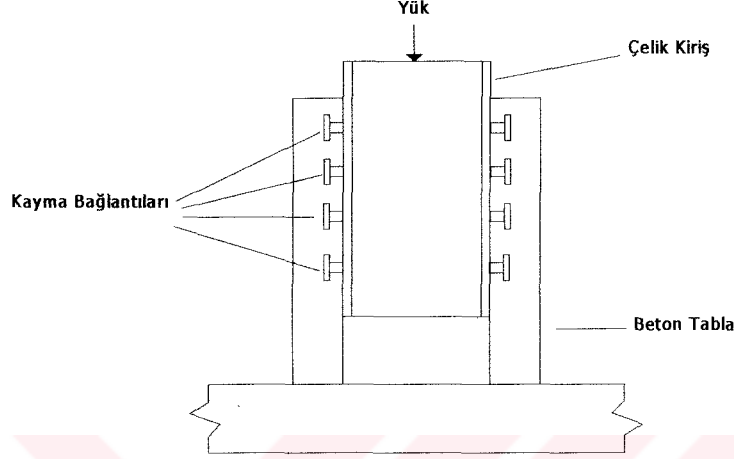
denkleminde yerine yazılırsa kesitin kayma bağlantısı ihtiyacı hesaplanmış olur. Bu formüldeki q , kayma bağlantısının emniyetle taşıyabileceği yükü göstermektedir.

Taşıma gücü yaklaşımına göre, toplam ihtiyaç duyulan kayma bağlantısı sayısı, kirişteki maksimum moment ile moment sıfır noktaları arasında sabit aralıklı olarak yerleştirilmiş olmalıdır.

Bir kayma bağlantısının yapabileceği şekil değiştirme miktarı, kendi boyutları ve şekline, kiriş üzerindeki konumuna, maksimum momentin yerine, ve çelik kiriş üst başlığına nasıl montajlandığı gibi faktörlere bağlıdır [8].

1.7.3.3. Kayma Bağlantılarının Dayanımlarının Deneysel Olarak Belirlenmesi

Kayma bağlantılarının davranışları, basınç deneyi yapılarak daha kesin belirlenebilmektedir. Kayma bağlantılı sistemler üzerinde gerçekleştirilen basıp çıkarma deneyine, tipik bir örnek Şekil 28'de verilmektedir.



Şekil 33. Tipik Bir Basıp Çıkarma Deneyi

Statik ve dinamik yükler altında deneneyen kayma bağlantılarında, her bir bağlantıya düşen ortalama sınır yük değerine ulaşılmadan, bağlantılar yerlerinden sökülmemektedir. Bu sınır yük, 0.003 inç kayma oluşturan yük, olarak tanımlanmaktadır [3,5,7].

1.8. Karma Kirişler Üzerinde Yapılan Bazı Araştırmalar

Almanya'daki Darmstadt Üniversitesinde, çelik profil enkesitlerinin boşluklu yerlerinin betonla doldurması sonucu oluşturulan karma enkesit tipleri, deneysel ve teorik metotlarla 1970 ve 1980 yılları arasında araştırılmıştır. Bu çalışmalarda, çelik profil alt ve üst başlığının arasında kalan bölgeler betonla doldurulmuş ve tasarım şekline göre gerektiğinde beton içerisinden, toplam karma kesitte simetrik olacak şekilde demir donatılar yerleştirilmiştir. Kesiti yangından koruma amacıyla da çelik elemanın alt ve üst başlıkları yaklaşık 2cm betona gömülmüştür [11].

Amadio C. ve Fragiaco M [12], çelik-beton karma kirişlerde etkili genişlik değerinin değişimini, yapının kullanılabilirlik ve taşıma gücü prensiplerini temel alarak

incelemişlerdir. Şartnamelerin tamamen sağlamadığı durumları, Abaqus programı yardımıyla, sonlu elemanlar metoduna göre modelleyerek elastik ve limit durumlara göre kontroller yapmaya çalışmışlardır ve etkili başlık genişliği değerini etkileyen en önemli parametreler üzerinde durmuşlardır.

Betti R. ve Gjelsvik A. [13], basit mesnetli ve üniform yüklü bir karma kirişle arasında analogi bulunan bir kirişin modellemesini yapmışlardır. Üzerinde çalıştıkları idealleştirilmiş kirişler, aynı gerçek karma kirişler gibi, üstte bir tabla ve altta da bir çelik kirişten oluşmaktadır ve kayma kuvvetinin aktarımı için kayma bağlantılarının da sistemde bulunduğunu belirtmektedirler. Adı geçen yazarlar, koşullar altında ortaya çıkan 6. dereceden diferansiyel bir denklem olan denge denklemine, kiriş uçlarının kaymaya göre ankastre, ve kiriş uçlarının tamamen serbest olmaları sınır şartlarına göre çözümler aramışlardır. Elde ettikleri sonuçları ise, model kirişe eşdeğer klasik Navier kirişi ile karşılaştırmalı bir biçimde incelemişlerdir ve beton tabla ile kiriş arasındaki etkileşimin önemini vurgulamışlardır.

Uy B. ve Sloane R.J. [14], çelik beton karma kirişlerin bina ve köprülerdeki davranış esasları ile ilgilenmişlerdir. Yalnız buradaki çelik kiriş, yüksek dayanımlı çelik plakaların birbirine kaynaklanması ile oluşturulan I enkesitli bir profildir. Adı geçen yazarlar, yüksek dayanımlı çeliklerin, binalarda ve köprülerde kullanımını tartışmış, bu durumun avantajları ve dezavantajları üzerinde durmuşlardır. Çalışmada, yüksek mukavemetli çelikler, beton tablaya, çivi tarzı kayma bağlantıları ile bağlanmış ve kayma bağlantılarının tabla ile etkileşimleri, tam etkileşim ile kısmi etkileşim değerleri arasında değiştirilerek denenmiştir.

Gattesco N. [15], şekil değiştirebilen bağlantılara sahip karma kirişlerin nonlineer davranışının analitik olarak modellemesini ve nümerik analizini yapmıştır. Dört çeşit karma kirişin göçmeye kadar yüklenmesini göz önüne alarak, izlediği programın güvenilirliğini ve gerçeklik yüzdesini de test etmiştir. Analitik sonuçların, bunlara karşılık gelen deney numunelerinden elde edilen sonuçlarla uyumluluğuna değinmiş, ayrıca tam veya kısmi etkileşime sahip karma kirişler için belirtilen modellemeler ve nümerik yaklaşımların geçerli olabileceğini de savunmuştur.

Hanaor A [16], karma kirişlerin, soğukta şekil verilmiş çelik elemanlar kullanılarak oluşturulmasını tartışmıştır. Soğukta şekil verilen çelik elemanların karma kirişlerde karma döşeme sistemlerinde kullanımı, tasarım için yüksek oranda süneklik ve bir çok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar arasında, daha ince tabla kullanımı, yapıda zorluk yaratan ve uygun olmayan geometrik durumlarda kolay adaptasyon ve karma enkesitlerin tasarımında daha serbestçe davranılabileceğini belirtmektedir. Yazar, karma elemanların yapımında, soğukta şekil verilmiş çelik enkesitler kullanımı durumunda, beton tabla ile çelik kiriş arasındaki kayma kuvveti etkileşimine dikkat çekmiş, bu durumda klasik kayma bağlantılarının kalınlığının kaynaklama yapıldığı için azaldığını, bunların yerine, soğukta şekillendirilmiş vida şekilli ve çelik kiriş üst başlığına geçmeli kayma bağlantısı kullanımını savunmuş ve bu konuda tasarım fikirleri sunmuştur. Bir çok kayma bağlantısı türünü, basıp çıkarma (push-out) deneyine tabi tutmuş, bunlarla eş zamanlı olarak bunların kullanıldığı karma kirişleri de deneye tabi tutarak değerlendirmiştir. Yazar, deneyler sonucu elde ettiği verilerle şartnamelerdeki sınırlandırmaları karşılaştırarak, soğukta şekil verilmiş çelik elemanlar için şartnamelerde belirtilen sınırlandırmaların aşırı güvenli tarafta kaldığını, soğukta şekillendirilen elemanlarla oluşturulan karma elemanların çok daha yüksek oranda taşıma gücüne sahip olabildiğini vurgulamıştır.

Galambos T.V.[17], çelik-beton karma yapılarda, A.B.D.'de yapılan son araştırmalar ve tasarım usullerindeki gelişmeleri anlatan bir derleme çalışması gerçekleştirmiştir. Karma yapı elemanlarının binalarda, köprülerde, çelik yapılarda kullanımı ile ilgili gelişmeleri aktarmış, karma yapıların sismik davranışlarına ve yüksek performanslı malzemelerin yapılarda kullanımına da değinmiştir. Ayrıca çalışmasında, yeni yapı metotları ve yapıda kullanılan ürünler, yeni materyaller, ekonomik düşünceler ve doğal felaketler konularına da değinmiş, bu konudaki son bakış açılarını da aktarmıştır.

Fabbrocino G., Manfredi G. ve Cosenza E. [18], pozitif momentler bölgesindeki karma kirişlerin nonlinear analizi ile ilgilenmişlerdir. Yazarlar, çelik-beton karma kirişlerde, kayma kuvveti aktarımının, kiriş performansını doğrudan etkilediği ve bu aktarımı sağlayan bağlantıların, bu tip yapıların analizi yapılırken çok dikkatli olarak incelenmesi ve boyutlandırılması gerektiğini söylemektedirler. Konu ile ilgili etkili bir modellemenin, oluşacak kayma ile etkileşim kuvvetinin ilişkisine bağlı olduğunu, ve bu modellemenin ısrarla nonlinear olması gerektiğini vurgulamaktadırlar. Yayınlarında, kısa

vadeli yükler etkisi ile oluşacak eğilme momenti etkisindeki karma kirişlerin yapısal davranışının, güvenilir bir analizi sayılabilecek bir nümerik prosedür takip etmişlerdir. Bu prosedürü takip ederken, uygulanabilirlik ve taşıma gücü durumlarını da göz önüne almışlardır.

Fahmy E.H. [19], gövdesinde dikdörtgen boşluklar bulunan karma kirişlerin hesabı ile ilgilenmiştir. Bu yayında, taşıma gücü prensibine göre gövdesinde ağ oluşturmak için dikdörtgen boşluklar bulunan ancak buralardan herhangi bir kiriş geçirilmeyen bir sistemi temel olarak hesap metodu önerilmektedir. Ayrıca, hesap metodunda, beton tablanın karma kirişin kayma mukavemetine katkısından da bahsedilmektedir. Boşluklar, merkezi veya eksantrik seçilmiştir. Hesap sonuçları, daha önce yapılmış bazı çalışmalar ve araştırmalar karşılaştırılmış ve uyumluluk gözlenmiştir. Aynı zamanda yazarın bu yayında, boşlukların eksantrikliğine ve boşluk boyutlarının, karma kiriş taşıma gücüne etkileri de sunulmaktadır.

Oven V.A. ve diğerleri [20], kısmi etkileşimli durumda karma kirişlerin hesabı için bir analitik modeli tartışmışlardır. Yayınlarında, esnek bağlantılara sahip çelik beton karma kirişlerin iki boyutlu nonlineer elastik olmayan sonlu eleman modelinin çözümlerini aramışlardır. Beton tabla ile çelik kiriş arasındaki kayma etkisi ile kayma bağlantılarının nonlineer yük-kayma karakteristiklerini de bu yayında bulmak mümkündür. Yazarlar, oluşturdukları modelin kiriş açıklığı boyunca yük kayma davranışının tahmininde kullanılabileceğini savunmaktadırlar.

Lebet J.P. ve Ducret J.M. [21] karma yapı elemanları ile oluşturulan köprülerin, inşaa sırasındaki davranışlarını deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir.

Fang L.X. ve diğerleri [22], kayma koşulu kısmi olarak çivi tarzı bağlantılarla sağlanan karma çerçeve sistemleri incelemişlerdir.

Thevendran V. ve diğerleri [23], otoyol köprülerindeki yatay kurbalarda kullanılan karma kirişlerin nonlineer hesabı ile ilgilenmişlerdir. Elemanların nonlineer davranış ve taşıma gücü değerlerinin belirlenmesinde Abaqus programından faydalanarak üç boyutlu bir sonlu eleman modeli oluşturmuşlardır. Bu modelleme işlemini yaparlarken çelik kiriş

ve beton tablaları Shell eleman ile modellemiştir. Sonlu eleman modellemesi sonucu bulunan değerleri, deneysel verilerle karşılaştırarak doğrulamış ve bu değerler arasında kabul edilebilir bir uyum olduğunu savunmuşlardır.

Lindler J. [24] karma kirişlerin yanal burkulma sonucu göçme modellerini incelemiştir. Karma kirişlerde yanal burkulma sonucu göçmelerin, sürekli kirişler durumunda iç mesnetler yöresinde meydana gelmesinden yola çıkarak denge için iki diferansiyel denklem olduğunu söylemektedir ve çözümlerin tartışmıştır.

Roberts T.M. ve Doğan O. [25], çelik-beton-çelik karma sandviç kirişlerde, kaynaklanarak tutturulmuş çivi tarzı bağlantıların yorulma davranışını incelemiştir.

Dissanayake U.I. ve diğerleri [26], karma kat döşemesine sahip çelik taşıyıcı sistemli binaların, hem geometrik hem de malzeme düzensizliklerini de göz önüne alarak hesaplayan bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Karma kat döşemeli çelik çerçeve sistemin gerçek fiziksel davranışını canlandırabilmek için programın, iki boyutlu alt çerçevelerin davranışını hem yapım esnasında hem de karma etkileşim başladıktan sonra yaklaşık olarak tahmin edebilme özelliği olduğu yazarlar tarafından savunulmaktadır. Yapılan analize, çelik kiriş ile beton tabla arasındaki kısmi etkileşim durumu, negatif momentler bölgesindeki ek donatı gibi özellikler de eklenmiştir. Programın verileri ile yapılan çeşitli deneyler karşılaştırılarak yapılan işin gerçek davranış ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Ghawami K. [27], karma kirişlerde kullanılan esnek ve rijit kayma bağlantılarının taşıma gücü davranışları hakkında bir çalışma yapmıştır. Karma kirişlerin, kayma bağlantısı kullanılmadığı ve gömülü olarak tasarlanmadığı durumlarda, yük altında birbirlerinden bağımsız olarak hareket edeceklerini belirtmiş ve bu konuda geniş bir bilgi verdikten sonra, çeşitli deneysel ve teorik çalışmalarla farklı türdeki kayma bağlantılarının taşıma gücü değerlerini belirlemeye çalışmıştır.

Makelainen P. ve Ma Z. [28], ince ve karma döşeme kirişlerinden oluşan sistemlerin yangından korunması hakkında bir çalışma yapmışlardır. İnce karma döşeme kirişlerinin betona kısmen dahil oldukları durumda yangına karşı performanslarının üstün

olduğunu ve Finlandiya'da henüz geliştirilme aşamasında olan yeni tip bir ince döşeme kirişinin sıcaklık etkisi ve yapısal etkilere göre performansını, nümerik analiz metodu ile yangın koşulları altında test etmişlerdir. Ayrıca yangın koşulları altında adı geçen yapı elemanının yük taşıma davranışı ile de ilgilenmişlerdir.

Jasim N.A. [29], kısmi etkileşimli karma kirişlerde kayma bağlantılarının lineer yerleştirilmesinin, kirişin sehim davranışına etkilerini incelemiştir. Söz konusu yayın, kısmi etkileşimli, uçlarından basit mesnetli bir karma kirişin sehimlerinin lineer kısmi etkileşim teorisine göre incelenmesini içermektedir. Bulunan çözüme göre, kısmi etkileşimli karma kirişteki sehim değerleri, aynı enkesitli tam etkileşimli karma kirişteki sehim değerlerine verilen bazı katsayılar yardımı ile oranlanarak elde edilebilmektedir.

Oehlers D.J. ve diğerleri [30], çelik beton karma kirişlerde, kirişteki kayma bağlantısı sayısının tam kullanılması halinde oluşabilecek kısmi etkileşim durumunu incelemiştir. Çelik-beton karma kirişlerde, mekanik kayma bağlantılarının sayısının belirlenmesi, kayma etkileşiminin tam olduğunu kabul eden rijit plastik hesaba dayanmaktadır. Bu analiz türünde, etkileşimin tam olduğu ve çeliğin, akma kapasitesine tam olarak ulaşabildiği kabul edilmektedir. Gerçekte, çelikte kısmi etkileşim ve elastik bölgelerin her ikisinin de bulunduğu ve bu durumun çeliğin öngörülen mukavemet değerinde azalmalara sebep olduğunu belirtmektedir. Yazar ayrıca, uygulamadaki tasarım şartnamelerinin genellikle aşırı olmayan boyutlardaki çelik profile sahip basit mesnetli karma kirişler için son derece güvenli olduğunu, ancak yük taşıma kapasitesi fazla olan büyük çelik profiller kullanıldığında çeliğin taşıma kapasitesinin ($A_s F_y$), betonunkinden ($A_c f_c$) daha büyük çıkacağını ve dolayısı ile bu durumun uyumsuzluk yaratabileceğini belirtmektedir.

Megharief J. ve Redwood R. [31], karma petek kirişler üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, eğilme davranışını test etmek için 5.9m uzunluğunda iki kiriş, kayma davranışını test etmek için de 2.2m açıklığında üç kiriş kullanmışlardır. Uzun kirişlerinin göçmesinin orta açıklığa yakın yerdeki gövde boşlukları civarında kesitin çekme bölgesindeki çeliğin akması ile olduğunu, bunu açıklık uzunluğunun yarısında yayılı olarak bulunan bütün kayma bağlantılarının kırılmasının takip ettiğini, sonuç olarak kirişlerin tabladan bağımsız olarak yanal burkulmaya uğradıklarını belirtmişlerdir. Kısa olan

kirişlerin hepsinde de gövde boşlukları civarında yanal göçmeler olduğunu söylemektedirler.

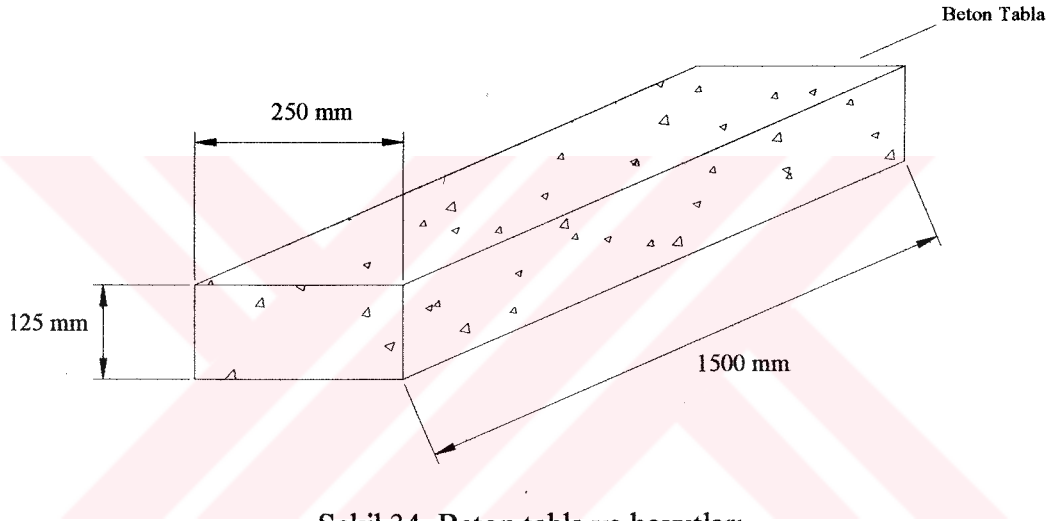
Sapountzakis E.J. ve Katsikadelis J.T. [32], çalışmalarında çelik-beton karma yapılarıdaki iç kuvvetlerden bahsetmektedirler. Sünme ve rötre etkilerini göz önüne alarak çelik kirişler tarafından rijitleştirilen betonarme tablaların eğilmeli haldeki problemlerine çözümler önermişlerdir.

Dall'Asta A. [33], karma kirişlerin, zayıf kayma etkileşimli hali ile ilgilenmiştir. Önceleri zayıf kayma etkileşimli karma kirişlerle ilgili teorilerin simetri düzlemindeki eğilme ile olduğunu, yaptığı çalışmada ise bu konuya burulmadan dolayı oluşan gerilmeleri ve bağlantılara paralel düzlemdeki gerilmeleri de kattığını belirtmektedir. Ayrıca kinematik olarak enkesitin her bir elemanının, kendi düzlemlerinde rijit olduğunu, elemanlar arasında bağlantı durumu devam ettiği zaman sadece bir miktar rölatif kayma mevcut olduğunu söylemektedir. Sistem denge denklemlerini ve sınır şartlarını, virtüel iş prensibine göre oluşturup, kapalı kutu kesitli bir sistemin burulması ile ilgili nümerik sonuçları, dikdörtgen kesitli bir kutu kesiti temel alarak ortaya koymuştur.

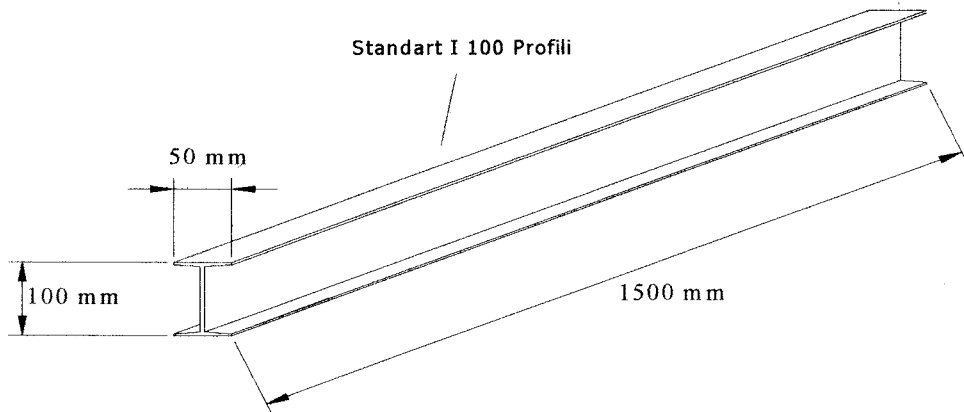
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Karma Kiriş Deney Elemanları

Eğilme etkisindeki karma kiriş davranışlarının incelenmesi için gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan beton tablanın boyutları Şekil 34'te, çelik kirişinki ise Şekil 35'da verilmiştir. Karma kirişlerin üretiminde kullanılan çelik profil, standart I 100 (mm) profilidir. Bu profiller 1.5m uzunluğunda kesilerek kullanılmıştır (Şekil 35).

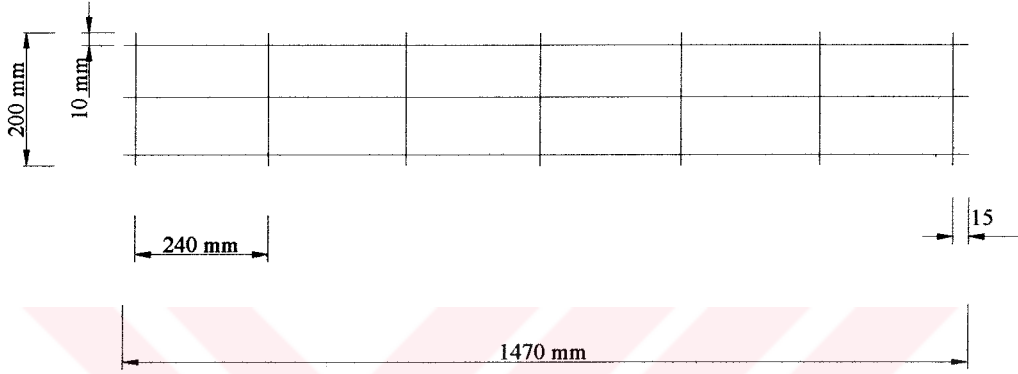


Şekil 34. Beton tabla ve boyutları

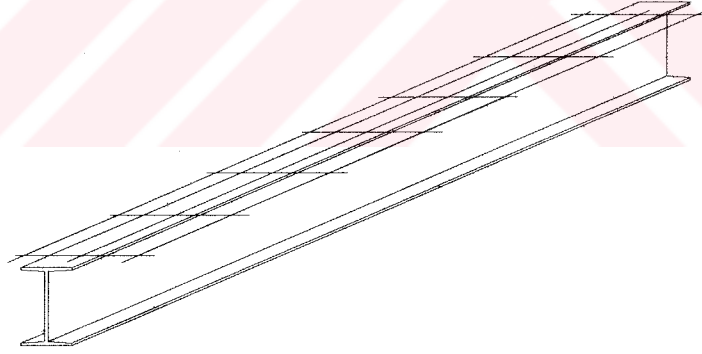


Şekil 35. Çelik kiriş ve boyutları

Karma kiriş üretiminde, beton tablanın üst kısmı ile profilin başlığına, aralarında 10'ar cm mesafe bulunan 147 cm uzunluğunda birbirine paralel 3 tane nervürlü $\phi 8$ 'lik donatı çubuğu üzerine, kısa doğrultuda, önceden kesilmiş olan 20 cm uzunluğundaki aynı çaplı donatı çubukları, 24 cm aralıklarla bağlanarak bir ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ağ, Şekil 36'da boyutları ile birlikte görülmektedir. Ağın çelik profil üzerine yerleştirilmesi ise Şekil 37'de verilmektedir.

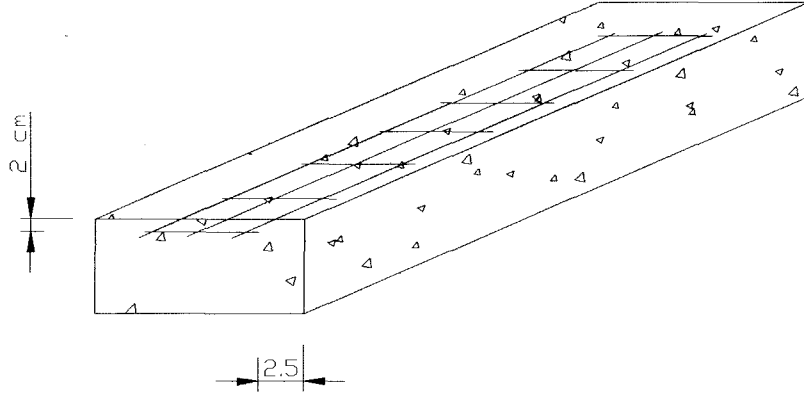


Şekil 36. Çelik profil üst başlığı ile beton tabla üst yüzüne yerleştirilen donatı detayı



Şekil 37. Demir donatı ile oluşturulan ağın çelik kiriş üzerindeki görünümü

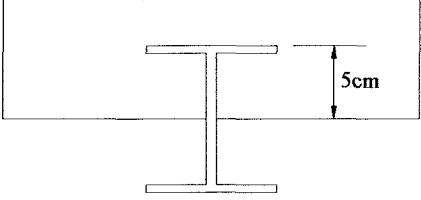
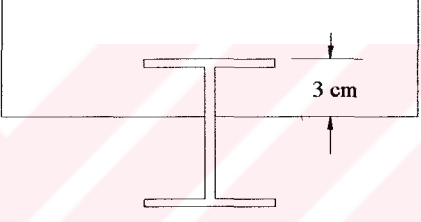
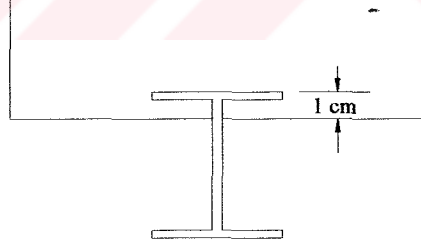
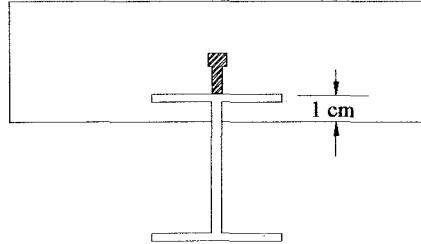
Donatının beton tabla içerisindeki konumu ise Şekil 38'de verilmektedir.



Şekil 38. Demir donatı ile oluşturulan ağır beton içindeki konumu

Karma kiriş deney numuneleri, beton tabla boyutları sabit tutulup, çelik kiriş beton tablaya kısmen gömülerek ve gömülme oranları adım adım değiştirilerek oluşturulmuştur. Deney numunelerinin enkesit tipleri, Çizelge 1'de verilmektedir.

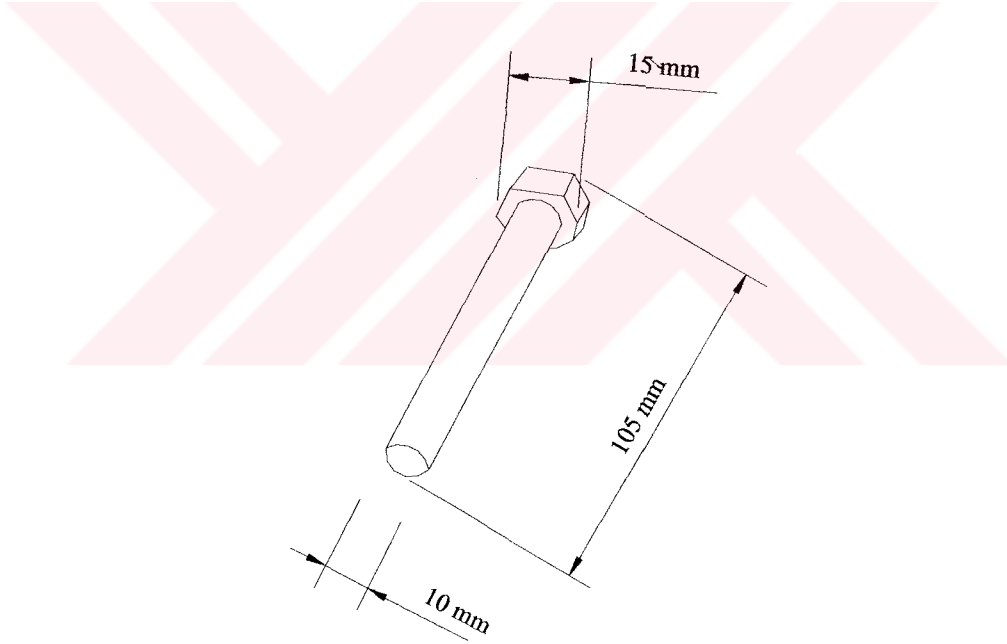
Çizelge 1. Üretilen karma kirişlerin enkesit tipleri

Üretim Tipleri	Enkesit Tipi	Açıklamalar
1. Seri Kirişler		Çelik Profil, Beton Tablaya 5 cm Gömülü Olacak Şekilde Hazırlanmıştır.
2. Seri Kirişler		Çelik Profil, Beton Tablaya 3 cm Gömülü Olacak Şekilde Hazırlanmıştır
3. Seri Kirişler		Çelik Profil, Beton Tablaya 1 cm Gömülü Olacak Şekilde Hazırlanmıştır
4. Seri Deney Kirişleri		Çelik Profil, Beton Tablaya 1 cm Gömülü ve Kayma Bağlantılı Olarak Hazırlanmıştır

Her enkesit tipinden ikişer tane olmak üzere toplam 4 tip karma kiriş üretilmiştir. 1. seri kirişlerde (K1) çelik profil, beton tablaya, yüksekliğinin yarısı (5 cm) gömülmüştür. 2. seri kirişlerde (K3), çelik profil, beton tablaya 3 cm, 3. seri kirişlerde (K4) 1 cm gömülü olacak şekilde kayma bağlantıları kullanılmadan üretilmiştir. 4. seri kirişler (K4) ise, 3. seridekilerle aynı enkesit ölçülerinde yapılmış, ek olarak bunlarda kayma bağlantıları kullanılmıştır.

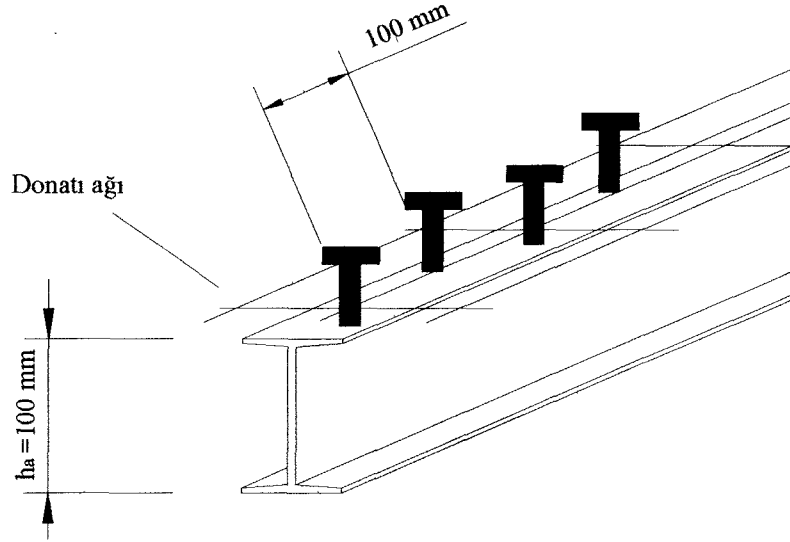
2.1.1. Karma Kiriş Üretiminde Kullanılan Kayma Bağlantıları

Karma kirişlerde kayma bağlantısı olarak, 10mm çapında, 105 mm yüksekliğinde altıgen başlıklı cıvata kullanılmıştır (Şekil 39)



Şekil 39. Deneyleerde kullanılan kayma bağlantısının boyutları

Kayma bağlantıları, çelik profil üst başlığına, toplam 15 tane, 10 cm aralıklarla, 1 sıra halinde ve şaşırtmalı (zik-zak) şekilde kaynaklanarak kullanılmıştır (Şekil 40).



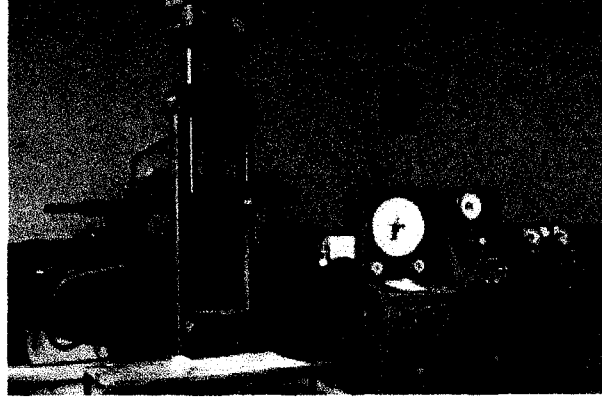
Şekil 40. Kayma bağlantılarının kiriş üst başlığında yerleşimi

2.1.2. Karma Kirişlerin Üretiminde Kullanılan Kalıplar

Karma kirişlerin tabla betonlarının üretiminde ahşap, sarıçam kalıplardan faydalanılmıştır ve bu kalıpların boyutları, yanlarda 1500x150x25 mm olarak 2 adet, altta da 1500x250x25 mm olup parçalar, birbirine çivi ile çakılarak tutturulmuştur ve kalıp başı ile sonuna da 150x300 mm boyutlarında kesilmiş tahta kapaklar çivilenerek kalıp oluşturulmuştur.

2.1.3. Karma Kirişlerin Üretiminde Kullanılan Çelik Profil

Karma kirişlerin üretiminde kullanılan çelik profiller, standart I 100 enkesitli olarak seçilmiştir. 6 metre uzunluğundaki I 100 profili, 1.5 metrede kesilerek hazırlanmıştır. 1.5 m uzunluğunda kesilen profillerden ikisi tekrar kesilmiş ve üniversal deney aletinde (Şekil 41) çekme deneyine tabi tutularak akma dayanımı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 2'de görülmektedir.



Şekil 41. Üniversal deney aleti

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan profilin ortalama akma dayanımı

Profil	Ortalama Akma Dayanımı (Mpa)
I 100	246,1

Çelik profillerden ikisi ise eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deneyde açıklık ortasına gelecek şekilde iki adet birim şekil değiştirme ölçeri (TML-PL20), profilin alt ve üst başlığına yapıştırılmıştır. Deneyler sonucu, profillerin eğilmedeki davranışları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, karma kirişlerle birlikte verilmektedir.

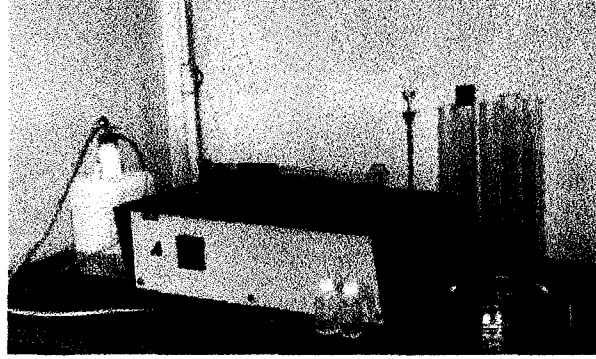
2.2. Betonların Üretiminde Kullanılan Malzemenin Özellikleri

2.2.1. Agregaların Özellikleri

Karma kirişlerin üretiminde kullanılan betonlarda, Trabzon ili Maçka ilçesi, Meryemana yöresindeki taş ocaklarından temin edilen kalker agregası kullanılmıştır. TS 1226 [34] ve TS 1227 [35]'de özellikleri verilen, elek sistemi ile, en büyük tane çapı 16 mm olacak şekilde TS706 [36]'ya göre sınıflandırılmıştır.

Agregaların ince (<4 mm) ve iri (>4mm) kısımları üzerinde, TS 3526 [37] ve TS 3529 [38]'a uygun olarak fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu fiziksel

özellikler, su emme, doymun ve kuru özgül kütle ve gevşek birim kütle özellikleridir. Agregaların kirlilik deneyi ise Labotest marka cihazla yapılmıştır (Şekil 42). Deney sonuçları ise Çizelge 3’te gösterilmiştir.

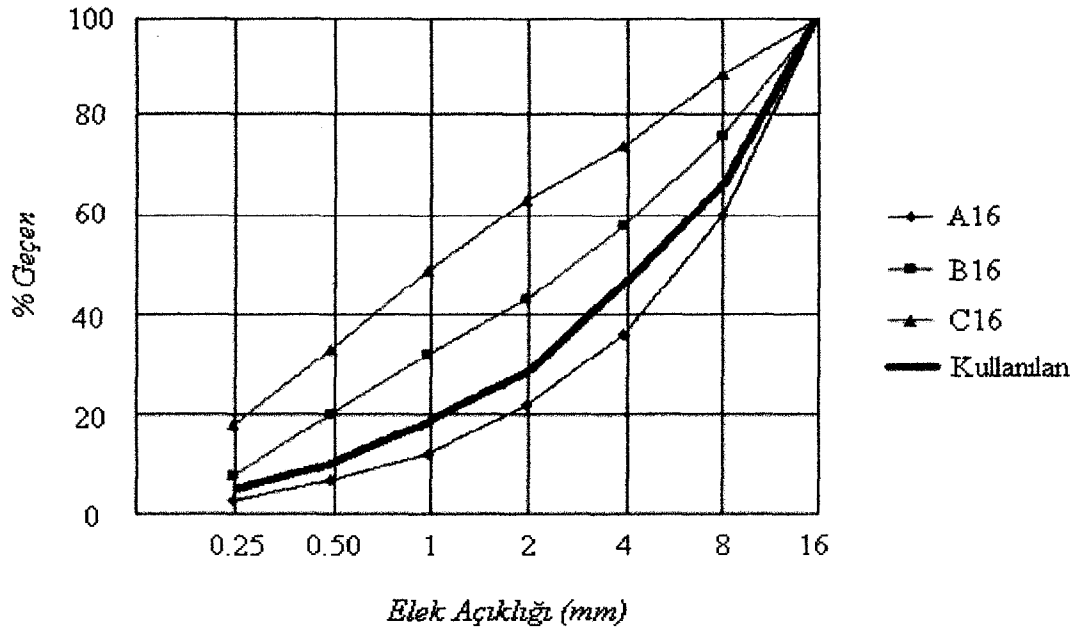


Şekil 42. Kum eşdeğerliği deney düzeneği

Çizelge 3. Agregaların fiziksel özellikleri ve ESV değeri

Agrega Tane Boyutu	Gevşek Birim Kütle (kg/m ³)	Özgül Kütle (kg/m ³)		Su Emme (%)
		Kuru	Doymun	
İri (>4mm)	1400	2658	2670	0.42
İnce (<4mm)	1450	2626	2640	0.52
ESV	88			

Karma kırışlar için üretilen betonda kullanılan agregaların granülometrisi, Şekil 43’te sınır eğrileri ile birlikte verilmiştir.



Şekil 43. Seçilen agrega granülometrisi

2.2.2. Betonların Üretiminde Kullanılan Çimentonun Özellikleri

Beton üretiminde, Ünye Çimento Fabrikası tarafından üretilen PKÇ/B-32,5R kullanılmıştır. Bu çimento ile ilgili olan ve fabrika tarafından sağlanan bazı özellikler Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 4. Beton üretiminde kullanılan çimentonun özellikleri

Bileşenler	PKÇ/B 32,5 R (%m/m)
Kükürt Trioksit (SO ₃)	3,5
Magnezyum Oksit (MgO)	-
Kızdırma Kaybı (K.K.)	-
Çözünmeyen Kalıntı (Ç.K.)	-
Klorür (Cl-)	0,10
Basınç Dayanım : N/mm ²	
2 Gün	≥ 10
7 Gün	-
28 Gün	≥ 32,5 ≤ 52,5
Katkı Miktarı, %	21-35

2.2.3. Beton Üretiminde Kullanılan Katkı Maddesinin Özellikleri

Betonların üretiminde katkı maddesi olarak YKS firmasının bir ürünü olan Glenium 27 isimli hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Bu katkı maddesi, erken yüksek mukavemet, işlenebilirlik ve düzgün yüzeyler istenen betonların üretiminde kullanılmaktadır. Katkının, betonda kullanılma oranı, firma tarafından da tavsiye edildiği gibi, çimento ağırlığının %1.2'si kadardır.

2.3. Deney Numunelerinin Üretimi Yerleştirilmesi ve Bakımı

2.3.1. Betonların Bileşimi

Üretilen betonların bileşim hesabının yapılmasında mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılırken konu ile ilgili standart olan TS 802 “Beton Karışım Hesapları” [39] baz alınmıştır. Buna göre, W_c, W_a, V_w, V_h sırasıyla, yerine yerleştirilmiş 1 m³ betondaki çimento miktarını (kg/m³), agrega miktarını (kg/m³), su hacmini (dm³), hava miktarını (dm³) göstermektedir. γ_c ve γ_a ise sırasıyla çimento ve agreganın doygun kuru

yüzeyle özgül kütlelerini göstermektedir (kg/dm^3). Bu bilgiler ışığında mutlak hacim,

$$\frac{W_a}{\gamma_a} = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (46)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu agreganın gerçekte i adet ayrı agrega tane sınıfını içerdiği dikkate alınır, bu durumda, β_i ve γ_{ai} , her bir tane sınıfının kütlece oranı ile birim kütlelerini göstermek üzere, gerçek durumdaki agrega miktarı,

$$\sum \left(\frac{\beta_i W_a}{\gamma_{ai}} \right) = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right). \quad (47)$$

bağıntısı ile belirlenebilmektedir. Burada söz edilen agrega miktarı, doymun kuru yüzeyle agrega miktarıdır. Buradan, doğal nem durumundaki agrega miktarına geçmek için, SE ve DN sırasıyla, agreganın su emme ve doğal nem oranlarını göstermek üzere,

$$DS = (SE - DN)W_a \quad (48)$$

bağıntısı ile hesaplanan doyma suyu miktarını (kg/m^3), yukarıdaki (46) no'lu bağıntı ile belirlenen W_a değerinden eksiltmek gerekmektedir. Agrega miktarı (47) bağıntısı ile hesaplandığı takdirde, doyma suyunun da buna bağılı olarak, her bir agrega tane sınıfı için hesaplanması, dolayısı ile doyma suyu miktarının,

$$DS = \sum [(SE)_i - (DN)_i] W_{ai} \quad (49)$$

olması gerekmektedir. Üretimlerde çimento dozajı $350 \text{ kg}/\text{m}^3$, su/çimento oranı ise 0.50 olarak seçilmiştir. Hesaplanan beton bileşimi değerleri Çizelge 5'te verilmektedir. Karma kırıların davranışlarının deneysel olarak incelenmesinde betonun mümkün olduğunca sabit kalması, dolayısı ile derinlik değişimi ve kayma bağlantısı kullanımı etkilerinin belirlenmesi esas amaç olduğu için, su/çimento oranı ile çimento dozajı sabit tutulmuştur.

Çizelge 5. Beton karışım hesabı

Beton Bileşimleri (1m ³ Beton İçin)	
Su/Çimento	0,50
Çimento (kg/m ³)	350
Karma Suyu (kg/m ³)	175
Toplam Agregası (kg/m ³)	1828.5
Doyma Suyu (kg/m ³)	4.20

2.3.2. Numune Betonlarının Üretimi Yerleştirilmesi ve Bakımı

Beton üretilmesi ve karılmasında, 60 litre kapasiteli, eğik eksenli, betoniyer kullanılmıştır (Şekil 44).



Şekil 44. Betonların üretiminde kullanılan betonyer

Önceden sınıflandırılıp istiflenen agregalar, bileşimde bulunmaları gereken ağırlıkça % miktarına göre tartılarak, önceden nemlendirilmiş betonyere yerleştirilmiş ve 2-3 dakika kadar herhangi bir şey ilave edilmeden karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken agrega karışımına doyma suyu ilave edilmiş ve 3 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra, çimento ilavesi yapıp 3 dakika karıştırılmıştır. En son olarak akışkanlaştırıcı katılmış beton karma suyu ilave edilmiş ve beton, son bir 3 dakika daha karıldıktan sonra, önce karma kiriş kalıbının, sonra da standart silindir kalıpların betonla doldurulması işlemi yapılmıştır. Bu şekilde hazırlanan betonlar, üç aşamada karma kiriş kalıplarına doldurulmuş, her aşamada Losenhausenwerk marka, 2800 d/dk frekanslı sarsma tablası üzerinde yaklaşık 15 saniye titreşime tabi tutularak betonun yerleşmesi sağlanmıştır. Aynı şekilde, kirişlerin üretiminde kullanılan betonların dayanımlarının, üretimden üretime değişiminin belirlenmesi için 3'er adet standart silindir numune de üretilmiştir.

Döküldükten 1 gün sonra kalıplarından çıkarılan silindir numuneler, 21 gün boyunca sıcaklığı $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$ olan suda , bu sürenin sonunda ise, deneylerin yapıldığı gün olan 28. güne kadar olan süre içerisinde bağıl nemi $\%70 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ve sıcaklığı, $22 \pm 3^{\circ}\text{C}$ olan laboratuvar ortamında saklanmıştır.

Karma kirişler ise, kalıplarında 7 gün boyunca üzerileri sürekli ıslak kalacak şekilde örtülerek bekletilmiş, bu süre sonunda kalıplarından çıkartılarak 21. güne kadar sürekli ıslak tutulmuştur. Bu günden sonra numuneler, 28. güne kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

2.3.3. Beton Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Karma kirişlerde kullanılan betonlar için alınan şahit numunelerin birim ağırlıkları ve basınç dayanımları, üretimlerinden 28 gün sonra belirlenmiştir.

Çizelge 6. Betonların kuru ve doymun birim kütleleri

Beton	Birim Kütle (kg/m^3)
Doymun	2395
Kuru	2372

Standart silindir (15x30) beton numunelerin basınç dayanımı, pratik olarak 0.15 Mpa/sn yükleme hızı ile, LosenhausenWerk marka UHP-60 tipi 600 kN kapasiteli, 5 skalalı üniversal deney aleti ile yapılmıştır (Şekil 41). Numuneler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik özellik deneylerinden elde edilen ortalama değerler, Çizelge 7'de verilmektedir.

Çizelge 7. Şahit numunelerin ortalama basınç dayanımı

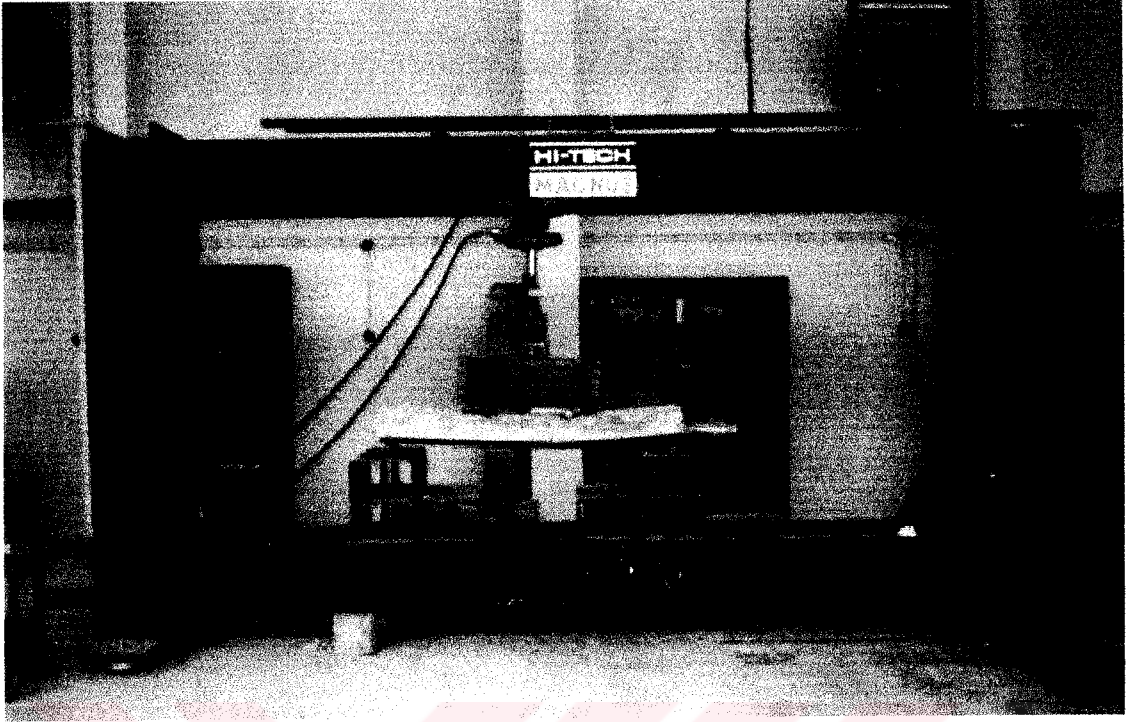
Seri No	Notasyon	Ortalama basınç dayanımı (MPa)
1.	K1	37
2.	K2	38
3.	K3	39
4.	K4	37.5

Çizelgeden de görüldüğü gibi, üretimden üretime betonların basınç dayanımları arasındaki fark, en fazla %8 civarında olmaktadır. Bu da betonların yeniden üretilebilir olduğunu ortaya koymaktadır.

2.4. Karma Kirişler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Bulgular

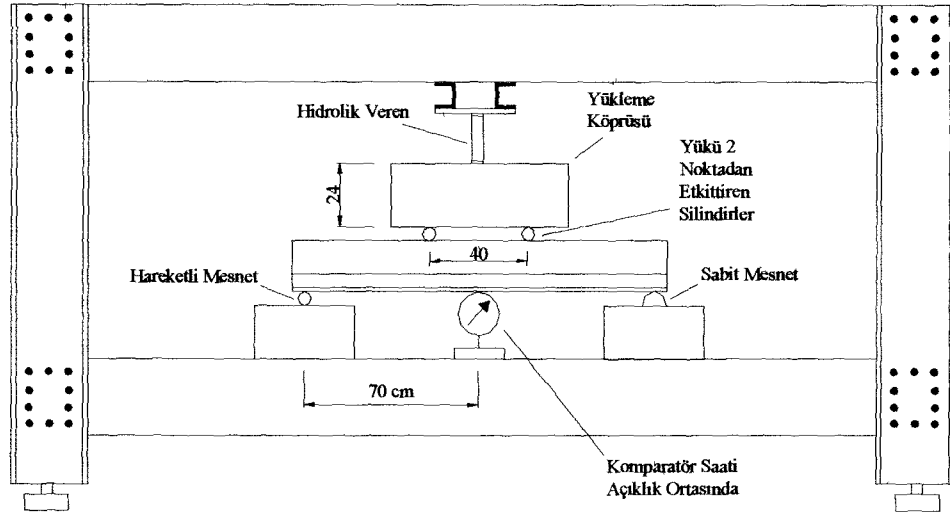
2.4.1. Deney Düzenegi

Üretilen karma kirişler, eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Kullanılan deney düzenegi, Hi-Tech Magnus marka yükleme çerçevesidir. Yükleme çerçevesinin maksimum kapasitesi 200 kN'dur (Şekil 45).



Şekil 45. Eğilme deneylerinin yapıldığı yükleme çerçevesi

İki noktadan simetrik olarak yükleme yapılması amacıyla 71x24x11 boyutlarında ve 0.5cm et kalınlığına sahip, çelik, yük dağıtma köprüsünden faydalanılmıştır. Deney numunesi olan karma kiriş ile yükleme köprüsü arasında, yükün kirişe iki noktadan uygulanması amacıyla iki adet 4.5 cm çapında çelik silindirler, yatırılarak yerleştirilmiştir. Yükü karma kirişe ileten bu çelik silindirler, aralarında 40 cm mesafe olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca bu çelik silindirlerin, hem karma kiriş simetri eksenine hem de yük dağıtma köprüsünün simetri eksenine göre simetriklikleri sağlanmıştır. Eğilme deneylerinde, kiriş, basit kiriş kabulüyle, kiriş uçlarından 5 cm içerde, çelik profil alt başlığından, sağda sabit ve solda hareketli mesnet kabulü ile mesnetlenmiştir (Şekil 46).



Şekil 46. Deney düzeneği

2.4.1.1. Ölçüm Aygıtları ve Ölçüm Yerleri

2.4.1.1.1. Şehim Ölçeri

Yükleme süresince karma kiriş deney numunesinin, açıklık ortası şehim değerlerinin belirlenmesi amacıyla ELE marka komparatör saati kullanılmıştır. Kullanılan bu komparatör saati, 0.01 mm hassasiyet dereceli olup, ölçme kapasitesi 60 mm'dir. Komparatör saati, BATY marka manyetik temele oturmaktadır ve takılı bulunduğu düzenek, kirişin alt başlığının altında ve açıklık ortasında bulunan bir çelik levhaya manyetik olarak sabitlenerek kullanılmıştır.

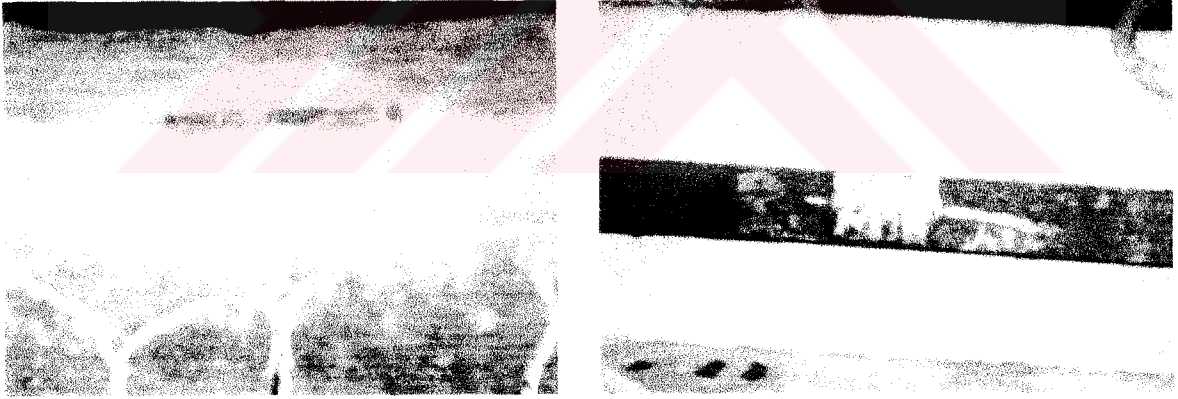
2.4.1.1.2. Birim Şekil Değişirme Ölçerleri

Deneye tabi tutulan her bir karma kirişte, ikişer tane birim şekil değişirme ölçeri kullanılmıştır. Deneyde, açıklık ortasına göre simetrik, iki noktadan eğilme etkisine maruz bırakılan karma kirişlerin, kiriş ortasındaki (sabit moment bölgesindeki) birim uzama ve kısalmaları, çelik kiriş alt başlığına ve beton tablanın üst yüzüne yapıştırılan bu birim şekil değişirme ölçerleri vasıtası ile ölçülmüştür.

Beton, süreksiz ve heterojen bir malzeme olduğu için, beton tabla üst yüzüne yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçeri ile belirlenen birim boy değişimlerinin anlamlı olabilmesi için, bu birim şekil değiştirme ölçerlerinin aktif boylarının, beton içerisinde yer alan en büyük agrega boyutundan yeterince büyük olması gerekmektedir [40]. Bu yüzden betonda oluşan birim kısalma miktarının daha hassas ölçülebilmesi için, aktif boyu 90 mm olan TML-PL90 tipi şekil değiştirme ölçeri kullanılmıştır.

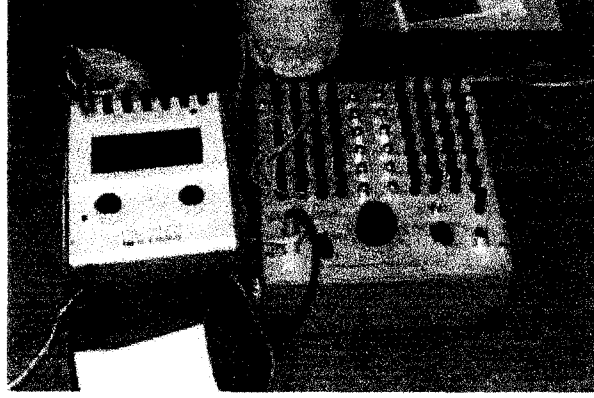
Hadde ürünü çelik profiller, hemen hemen homojen malzemeler olarak kabul edildikleri için, karma kirişlerdeki çelik profillerde daha küçük aktif boy değerine sahip (20 mm) TML-YL20 tipi birim şekil değiştirme ölçerleri kullanılmıştır.

Şekil değiştirme ölçerlerinin yerlerine yapıştırılmasından önce, betondaki kir, pürüzlülük ve bunlara ek olarak çelikteki pas lekeleri spiral taş ve zımpara kağıdıyla düzgün hale getirilmiştir. Beton ve çeliğe yapıştırılan birim şekil değiştirme ölçerlerinin (strain-gage) görünümü Şekil 47’de verilmektedir.



Şekil 47. Birim şekil değiştirme ölçerlerinin numuneler üzerindeki görünümü

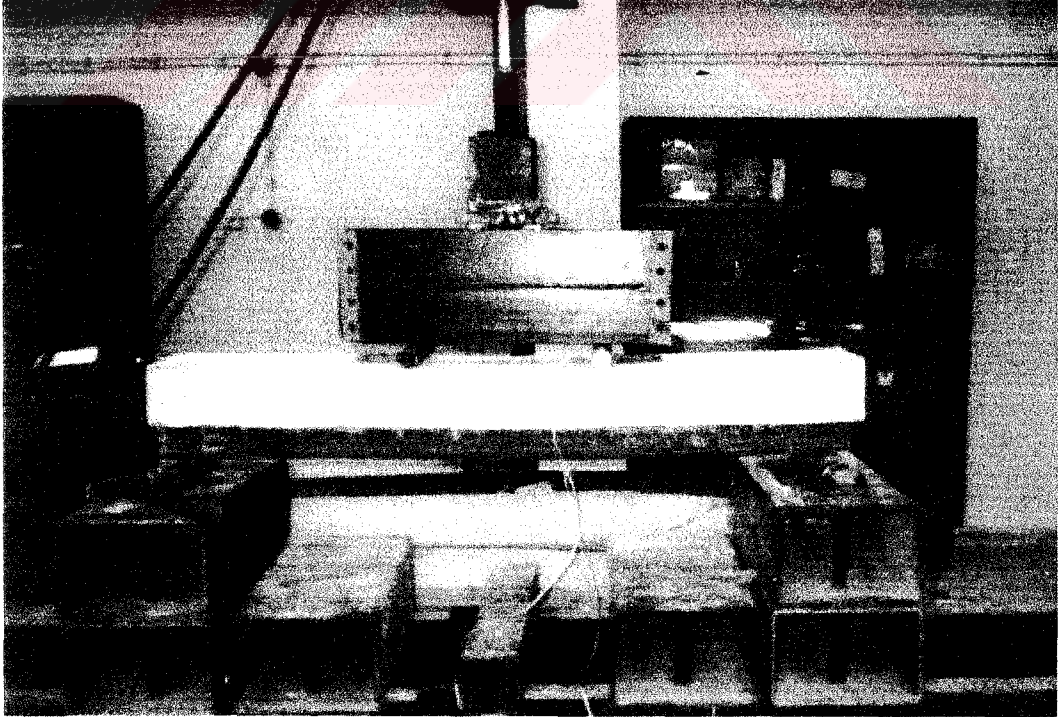
Yapıştırılan bu birim şekil değiştirme ölçerlerindeki birim boy değişimi değerleri, Kyowa marka (Şekil 48) 12 kanallı $30500 \cdot 10^{-6}$ birim uzama, $29500 \cdot 10^{-6}$ birim kısalma ölçme kapasiteli ve $5 \cdot 10^{-6}$ değerinin üzerindeki boy değişimini ölçebilen Wheatstone köprüsü (Şekil 48) yardımı ile okunmuştur.



Şekil 48. Birim şekil değiştirme ölçeri (eksantrometre) ve 12 kanallı Wheatstone köprüsü

2.4.2. Karma Kirişler Üzerinde Yapılan Deneyler

Daha önce de belirtildiği gibi, üretilen karma kirişler, basit kiriş prensibine göre hazırlanmış deney düzeneğinde, iki noktadan tekil yük etkisine maruz bırakılmıştır.(Şekil 49. deney anından bir görünüm)



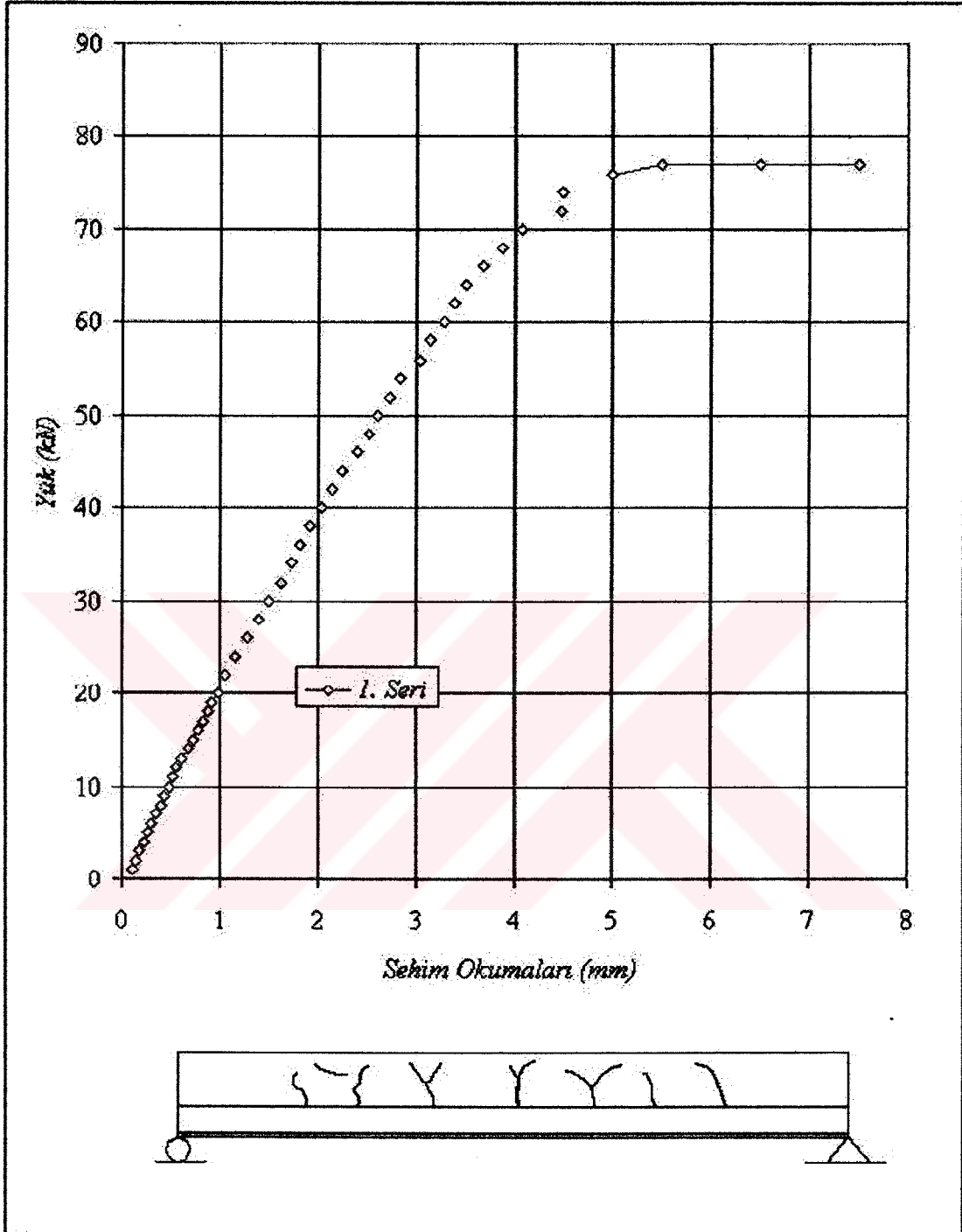
Şekil 49. Deney anından bir görünüm

Açıklık ortasına yerleştirilen komparatör saati yardımı ile, yüke maruz bırakılan karma kirişlerin, yük-sehim değerleri belirlenmiştir. Karma kirişler üzerinde yapılan eğilme deneylerinden elde edilen ortalama kırılma yükü, ortalama moment ve ortalama sehim değerleri, Çizelge 8'de verilmektedir.

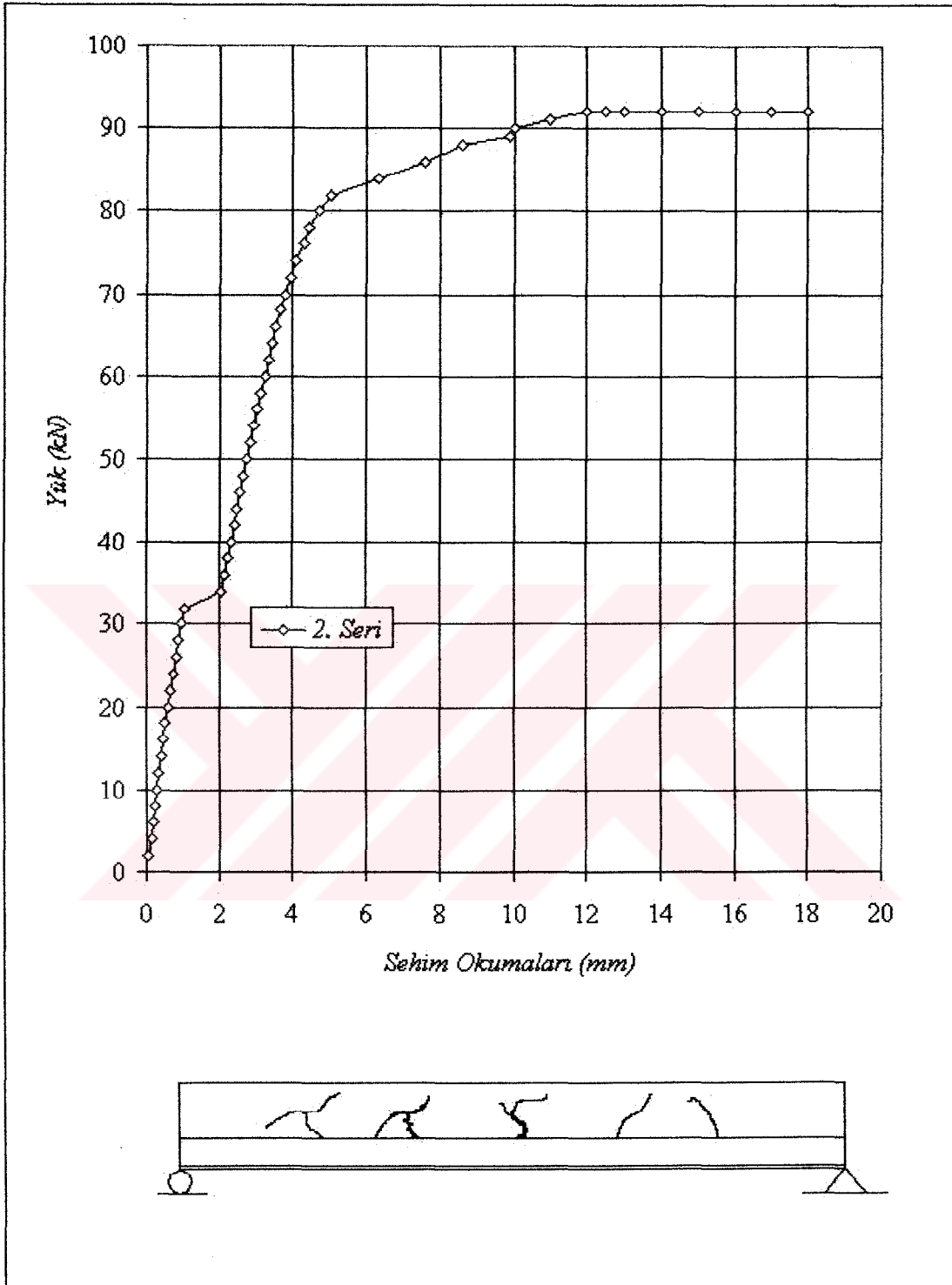
Çizelge 8. Karma kirişler üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları

Seri No	Ortalama Kırılma Yüğü (kN)	Ortalama Moment (kN.m)	Ortalama Sehim (mm)
Çelik Profil	50	13.75	15
1.Seri (K1)	75	18.75	7
2.Seri (K2)	100	25	8.1
3.Seri (K3)	110	27.5	10.6
4.Seri (K4)	129	32.25	10.4

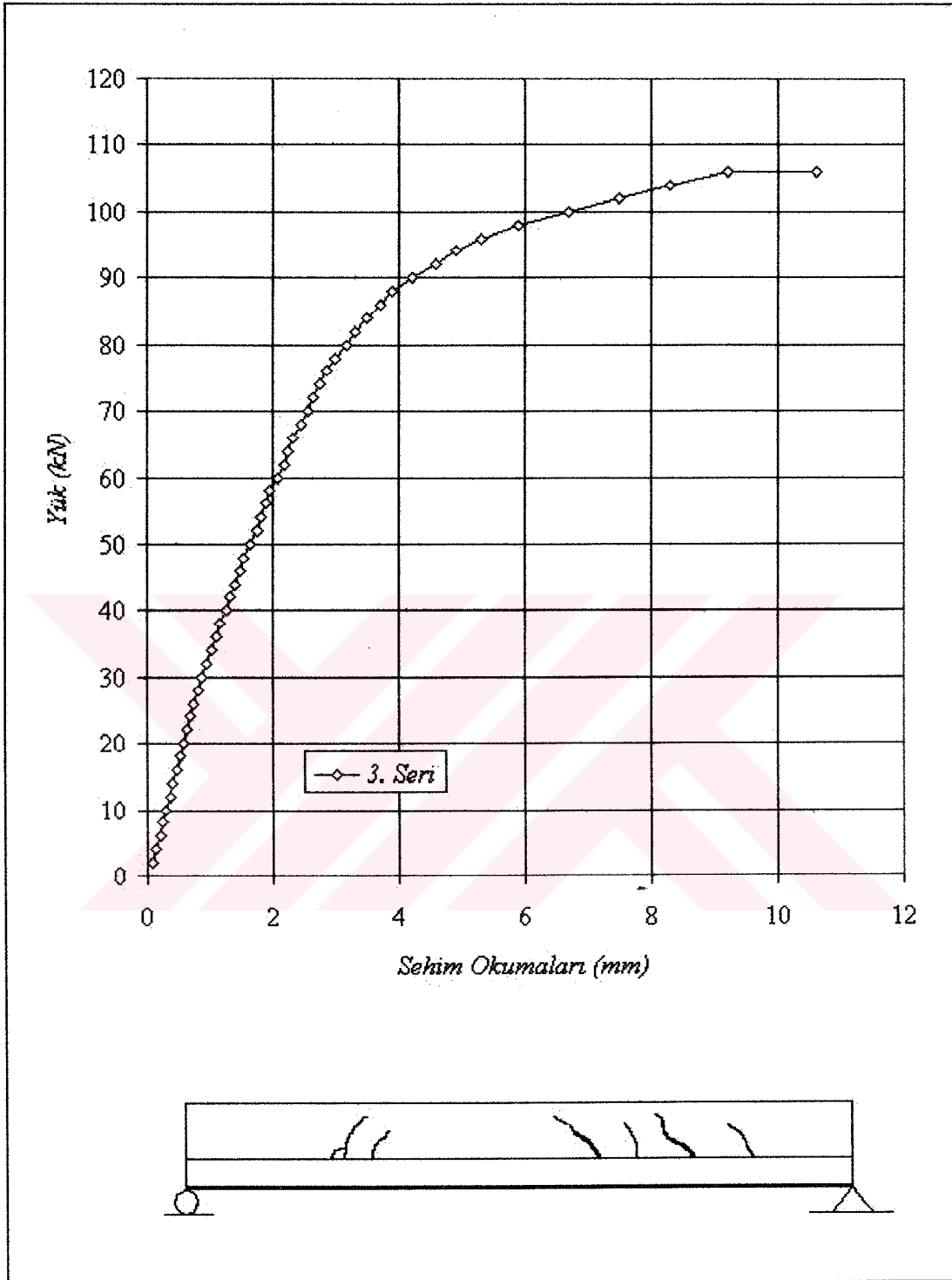
Çizelge 8'de görüldüğü gibi, çelik profilin üstten 5 cm beton içine gömülü olması durumunda (1.seri), taşıyabildiği moment, 1cm gömülü olan kirişlere (3.seri) göre %25 oranında daha azdır. Aynı şekilde, kirişin açıklık ortasındaki sehim ise %34 oranında daha azdır. Bu da beton gömme derinliğinin artırılmasının, moment taşıma gücünü azalttığını, ancak kesiti daha rijit hale getirdiğini göstermektedir. karma kirişlerden 3. ve 4. seri olanlar, beton içine 1 cm gömülü olarak üretilmiş, 4. seri kirişlerde ise kayma bağlantıları kullanılmıştır. Kayma bağlantılarının etkisinin, moment taşıma kapasitesini, Çizelge 8'de verilen sonuçlara göre, kayma bağlantısı kullanılmayanlara oranla %17 oranında artırdığı, sehimini ise %2 oranında azalttığı görülmüştür. Ayrıca yük-sehim eğrileri, her bir seri kiriş için çizilmiştir, 1. seri kirişler için Şekil 50, 2. seri kirişler için Şekil 51, 3. seri kirişler için Şekil 52, 4. seri kirişler için de Şekil 53'te kırılma şekilleri ile birlikte verilmişlerdir.



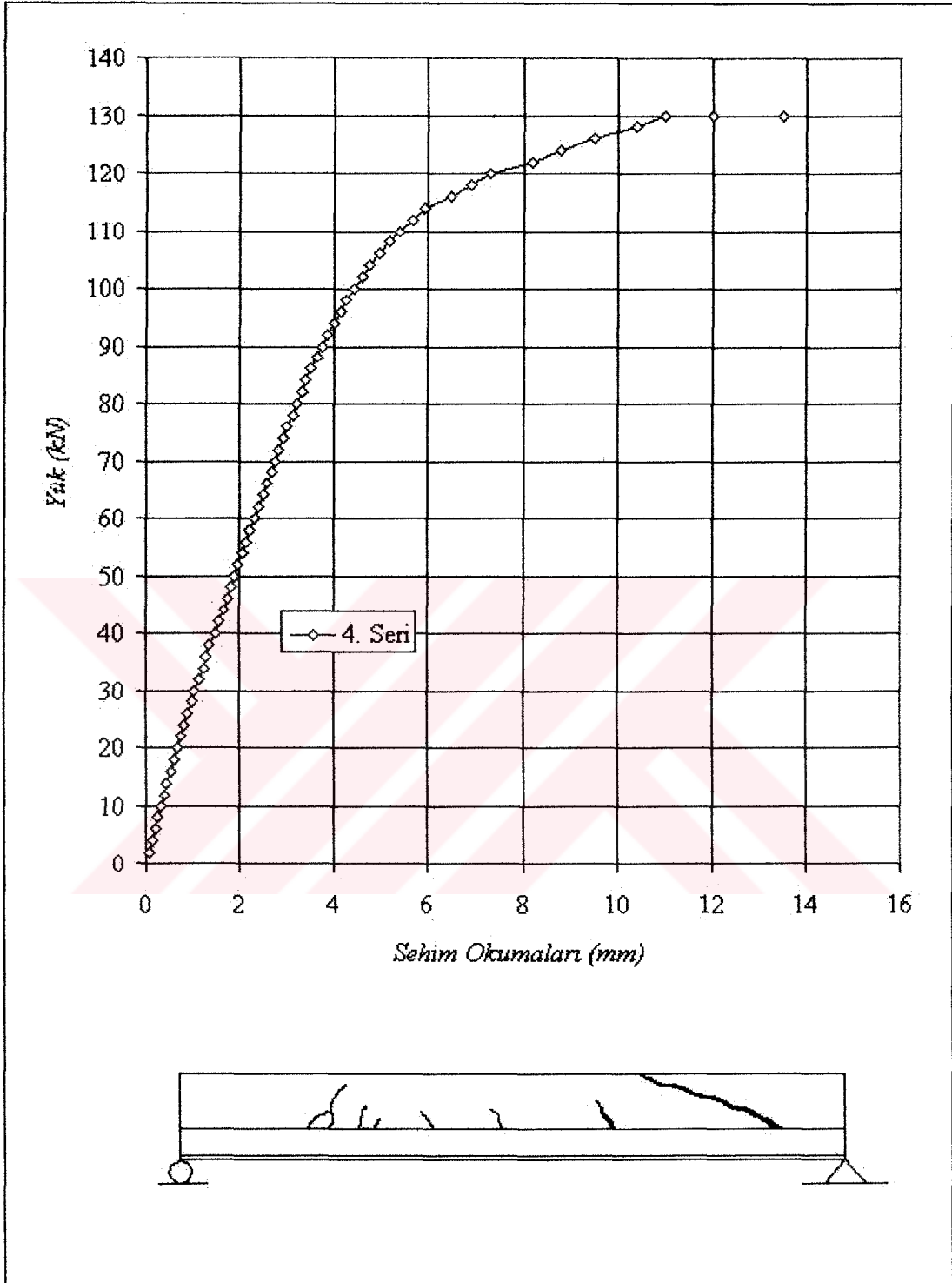
Şekil 50. 1. seri kirişler için yük-sehim eğrisi ve tipik kırılma örneği



Şekil 51. 2. seri kirişler için yük-sehim eğrisi ve tipik kırılma örneği



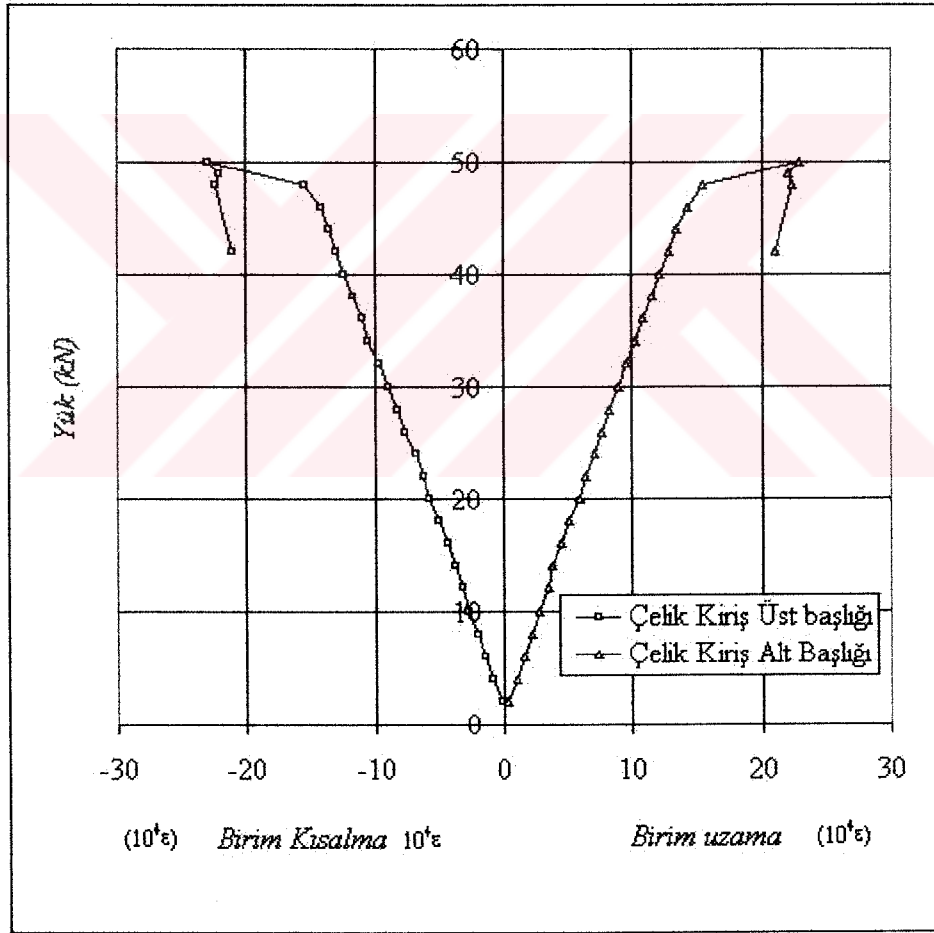
Şekil 52. 3. seri kirişler için yük-sehim eğrisi ve tipik kırılma örneği



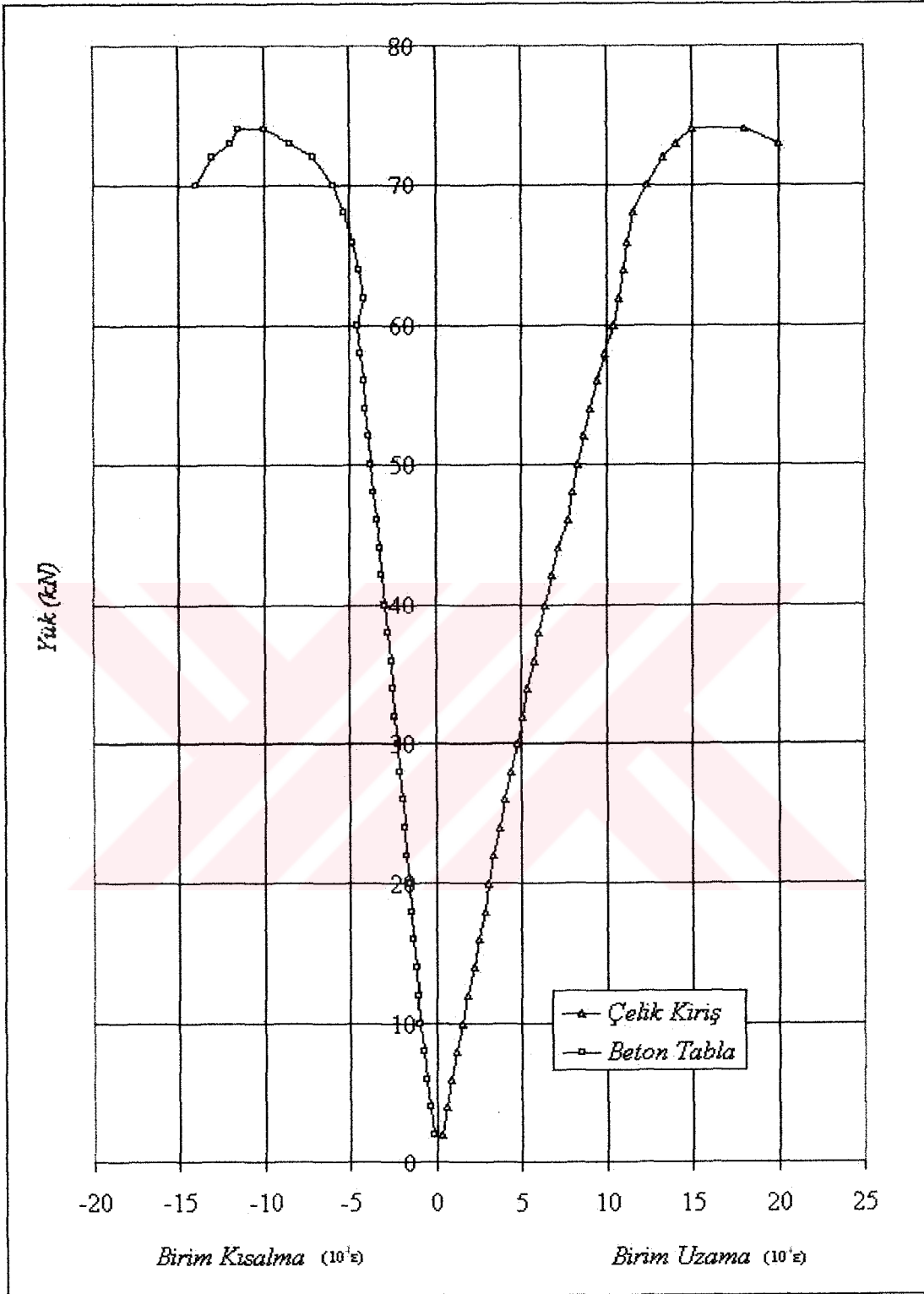
Şekil 53. 4. seri kirişler için yük-sehim eğrisi ve tipik kırılma örneği

Bu şekillerde görüldüğü gibi 1.seri karma kirişlerin orta noktasındaki sehimleri, diğer serilere göre daha düşüktür. Bu da, çelik profilin beton içine gömülme oranı arttıkça şekil değiştirme yeteneğinin azaldığını göstermektedir.

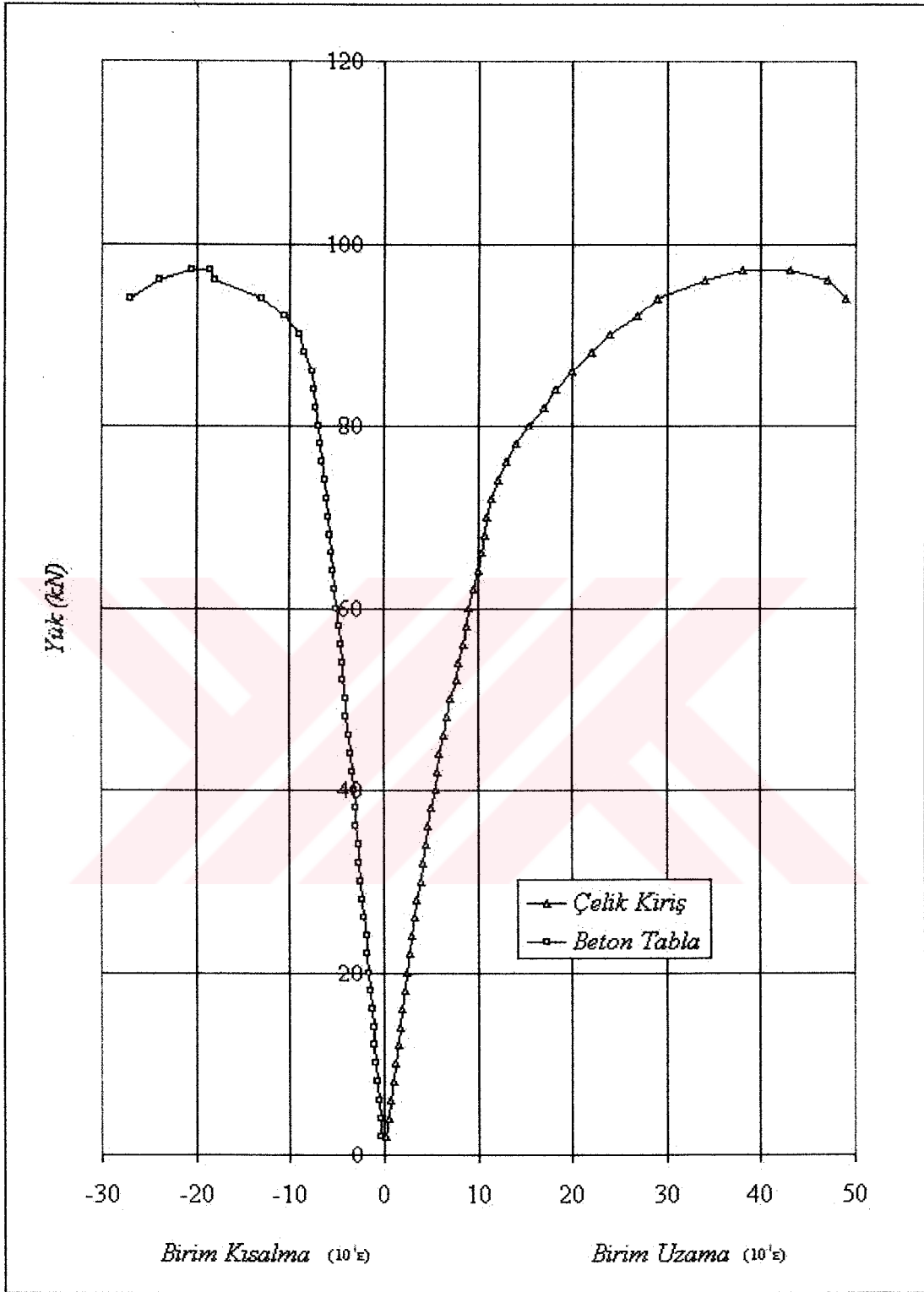
Karma kirişlerin eğilmedeki davranışlarının belirlenmesi için gerçekleştirilen deneylerde, beton ve çelik üzerine yerleştirilen birim şekil değiştirme ölçerleri yardımıyla yük-birim şekil değişimi eğrileri belirlenmiştir. Bu eğriler, çelik profil için Şekil 54, 1.seri kirişler için Şekil 55, 2.seri kirişler için Şekil 56, 3.seri kirişler için Şekil 57ve 4.seri kirişler için Şekil 58'de verilmektedir.



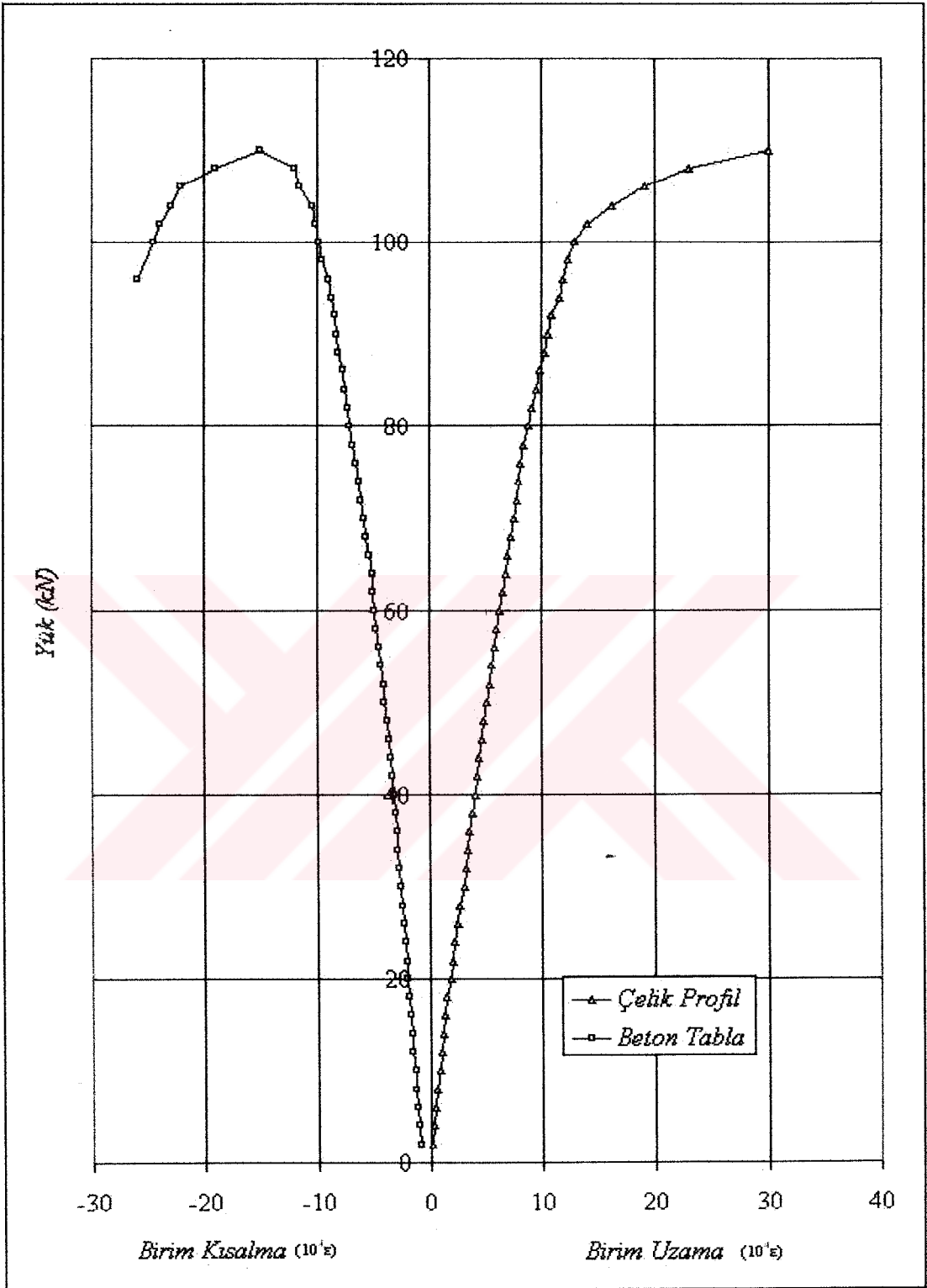
Şekil 54. Çelik profillerin ortalama yük-birim şekil değiştirme eğrisi



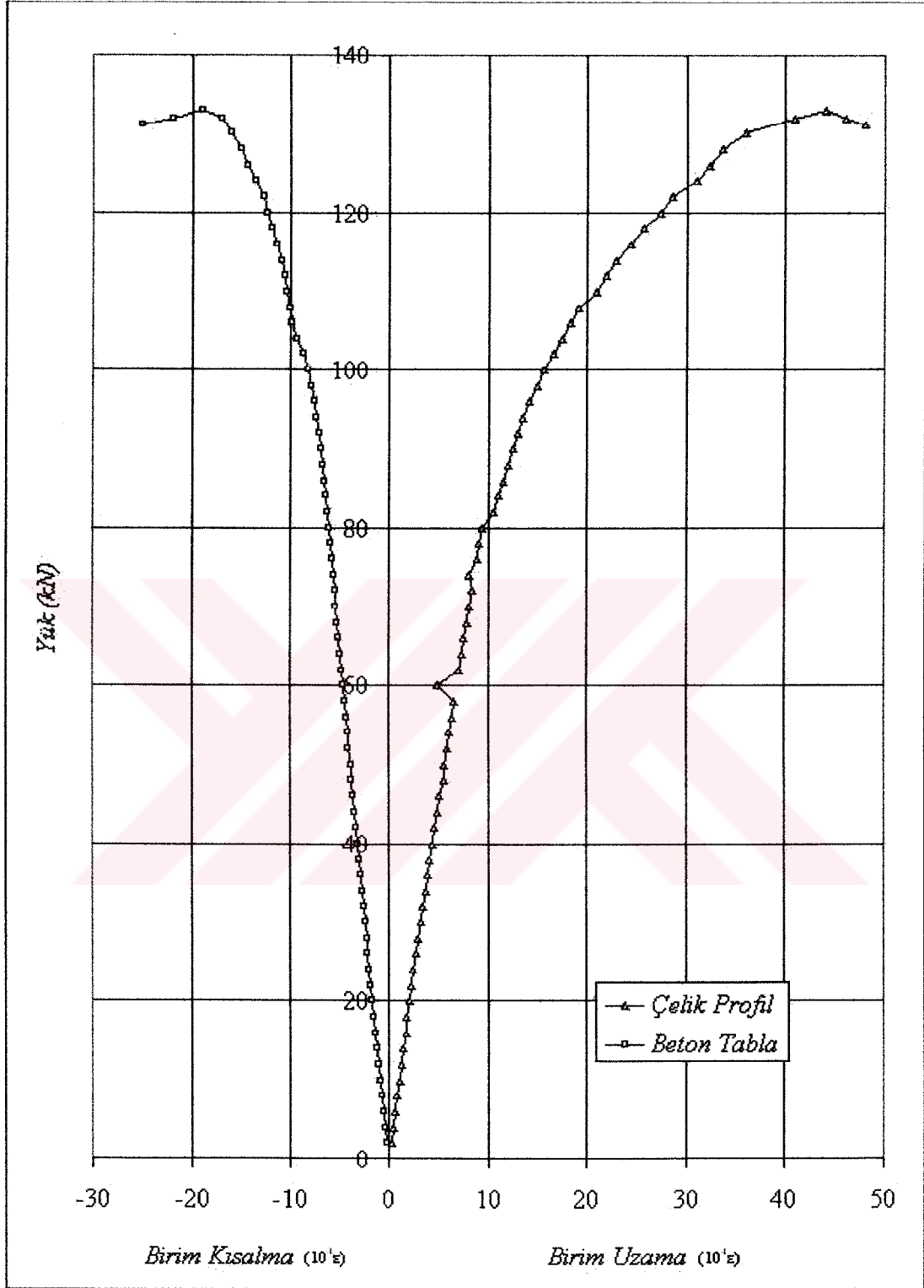
Şekil 55. 1. seri (K1) kirişlerinin yük altında ortalama birim şekil değişimleri



Şekil 56. 2. seri (K2) kirişlerinin yük altında ortalama birim şekil değişimleri



Şekil 57. 3. seri (K3) kirişlerinin yük altında ortalama birim şekil değişimleri



Şekil 58. 4. seri (K4) kirişlerinin yük altında ortalama birim şekil değişimleri

Yük-birim şekil değiştirme eğrilerinden görölmektedir ki, karma kirişlerde, elik profil akma birim uzamasına ulaştıktan sonra beton, 1.seri kirişlerde nihai birim kısalmaya ulaşmadan taşıma gúcünü kaybetmektedir. Bu da betonun, elik profilin yarısına kadar gömülü olmasının, beton ve çeliğin üstün yönlerinden yararlanılması isteğine ters düşmektedir.



3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, karma kirişlerde, çelik kirişin beton tablaya gömülme oranlarındaki değişimin, karma kiriş davranışına etkilerini incelemektir. Bu amaçla, beton tabla ve kullanılan çelik kirişin boyutları değiştirilmeden, çelik kirişin, beton tabla içerisine gömülme oranı değiştirilerek, 4 seri olmak üzere, toplam 8 adet kiriş numune üretilmiştir. 1. seri karma kirişler, çelik kirişin beton tablaya 5 cm gömülmesi ile oluşturulmuş (K1) ve her üretim aşamasında gömülme oranı, 2 cm azaltılarak çelik kiriş, önce 3cm (K2) ve sonra da 1 cm (K3) gömülü kalacak şekilde yapılmıştır. 4. seri kirişler ise kayma bağlantılı ve 3. seri kirişlerle aynı enkesit özelliklerine sahip olarak üretilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan çıkarılacak sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

1. Karma kirişlerin oluşturulmasında kullanılan çelik profiller, eğilme rijitliklidir. Betonarme kirişlerde kullanılan demir donatılar ise uzama rijitliklidir. Bu nedenle eğilme etkisinde, karma kirişler, betonarme kirişlere göre çok daha avantajlı olabilmekte ve çok daha yüksek taşıma gücü değerleri verebilmektedir. Ayrıca çelik kiriş nedeni ile karma kirişlerin gevrek olarak kırılmadıkları gözlenmiştir.

2. Çelik profilin yüksek oranda gömülü olduğu karma kirişlerde (1. seri) sürtünme yüzeyi fazla olduğu için elemanlar arasındaki kenetlenme ve sürtünme kuvveti de bunun bir sonucu olarak fazla olmaktadır.

3. Bu çalışma kapsamında profil başlığı 5cm, 3cm, 1cm, 1cm ve kayma bağlantısı kullanılarak, beton içine gömülü olarak deney elemanları üretilmiştir. Bu elemanlardan, 5cm gömülü olan 1. seri kirişlerin moment taşıma kapasiteleri 3cm gömülü olanlara göre (2. seri) %25, 1 cm gömülü olanlara göre (3. seri) %32 ve yine 1cm gömülü ama kayma bağlantılı olanlara göre (4. seri) %42 oranında küçüktür.

4. Kayma bağlantılı olarak üretilen (4. seri) deney elemanlarının moment taşıma kapasitesi, kayma bağlantısı kullanılmadan üretilen (3. seri) deney elemanlarından %17 daha büyüktür.

Özetle, yapılan bu çalışma, çelik profilin beton içine gömülme oranının artmasıyla moment taşıma kapasitesinin azaldığını, bununla birlikte şekil değiştirme kapasitesinin de azaldığını göstermektedir. Ancak bu sonuçların, çalışmaya konu olan profil ve betonlar için geçerli olduğu, farklı en kesitlere ve boy kesitlere sahip karma kirişler için bunların ihtiyatla kullanılması gerektiği, ayrıca bu deneylerin farklı en kesit ve boy kesite sahip profiller ve betonlar için de yapılması gerektiğini belirtmek yerinde olacaktır.



4. KAYNAKLAR

1. Arda, T.S., Yardımcı, N., Çelik Yapılarda Karma Elemanların Plastik Hesabı, Birsen Yayınevi, İstanbul 2000
2. Cook, J.P., Composite Construction Methods, John Wiley&Sons, Canada, 1977
3. McCormac, J.C., Structural Steel Design LRFD Method, Second Edition, Harper Collins College Publishers, USA, 1995
4. Knowles, P.R., Composite Steel and Concrete Construction, John Wiley&Sons, New York, 1973
5. McCormac, J.C., Structural Steel Design ASD Method, 4th Edition, Harper Collins College Publishers, USA, 1997
6. Tall, L., Structural Steel Design, Second Edition, John Wiley&Sons, New York, 1974
7. Johnson, R.P., Composite Structures of Steel and Concrete, Volume 1, John Wiley&Sons, New York 1975
8. Salmon, C.G., Johnson, J.E., Steel Structures Design and Behaviour, Intext Educational Publishers, San Francisco, 1971
9. Viest, I.M., Colaco, J.P., Furlong, R.W., Griffis, L.G., Leon, R.T., Wyllie, L.A. Jr., Composite Construction Design For Buildings, McGraw-Hill, New York, 1996
10. Özgen, A., Kompozit Kirişler, I. Çelik Yapılar Seminer Notları, s. 116-140, İstanbul 1983
11. Mergulhao, A.J.R., Freitas, A.M.S., Machado, R.M., Composite Steel Beams Strength Evaluation Constituted of Steel Profiles Filled with Reinforced Concrete, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 46, Nos 1-3 , pp. 223-224, 1998

12. Amadio, C., Fragiacomio, M., Effective Width Evaluation for Steel-Concrete Composite Beams, Journal of Constructional Steel Research, Volume 58, Issue 3, pp 373-388, 2002
13. Betti, R., Gjelsvik, A., Elastic Composite Beams, Computers&Structures, Vol. 59, No 3, pp 437-451, 1996
14. Uy, B., Sloane, R.J., Behaviour of Composite Tee Beams Constructed with High Strength Steel, Journal of Constructional Steel Research, Nos. 1-3, pp.203-204, 198
15. Gattesco, N., Analytical Modeling of Nonlinear Behaviour of Composite Beams with Deformable Connection, Journal of Constructional Steel Research, Volume 52, Issue 2, pp. 195-218, 1999
16. Hanaor, A., Tests of Composite Beams with Cold Formed Sections, Journal of Constructional Steel Research, Volume 54, Issue 2, pp. 245-264, 2000
17. Galambos, T.V., Recent Research and Design Developments in Steel and Composite Steel-Concrete Structures in USA, Journal of Constructional Steel Research, Volume 55, Issues 1-3, pp. 289-303, 2000
18. Fabbrocino, G., Manfredi, G., Cosenza, E., Non-linear Analysis of Composite Beams under Positive Bending, Pergamon Press, Computers&Structures, Volume 70, pp. 77-89, 1999
19. Fahmy, E.H., Analysis of Composite Beams with Rectangular Web Openings, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 37, No 1, pp. 47-62, 1996
20. Oven, V.A. Burgless, I.W., Plank, R.J., Wall, A., An Analytical Model for the Analysis of Composite Beams with Partial Interaction, Pergamon Press, Computers&Structures, Volume 62, No 3, pp. 493-504, 1997
21. Lebet, J.P., Ducret, J.M., Experimental and Theoretical Study of the Behaviour of Composite Bridges During Construction, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 46, Nos 1-3, pp. 69-70, 1998
22. Fang, X.L., Chan, S.L., Wong, Y.L., Numerical Analysis of Composite Frames with Partial Shear-Stud Interaction by one Element per Member, Elsevier, Engineering Structures, Volume 22, pp. 1285-1300, 2000

23. Thevendran, V., Chen, S., Shanmugam, N.E., Richard Liew, J.Y., Nonlinear Analysis of Steel-Concrete Composite Beams Curved in Plan, Elsevier, Finite Elements in Analysis and Design, Volume 32, pp. 125-139, 1999
24. Lindler, J., Lateral Torsional Buckling of Composite Beams, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 46, Nos 1-3, pp. 222, 1998
25. Roberts, T.M., Doğan, O., Fatigue of Welded Stud Shear Connectors in Steel-Concrete-Steel Sandwich Beams, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 45, No3, pp. 301-320, 1998
26. Dissanayake, U.I., Burgess, I.W., Davison, J.B., Modelling of Plane Frames in Unpropped Construction, Elsevier, Engineering Structures, Volume 22, pp. 287-303, 2000
27. Ghawami, K., Ultimate Load Behaviour of Flexible and Rigid Connectors in Composite Beams, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 46, Nos 1-3, pp.208-210, 1998
28. Makelainen, P., Ma, Z., Fire Resistance of Composite Slim Floor Beams, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 54, pp. 345-363, 2000
29. Jasim, N.A., Deflections of Partially Composite Beams with Linear Connector Density, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 49, pp. 241-254, 1999
30. Oehlers, D.J., Nguyen, N.T., Ahmed, M., Bradford, M., Partial Interaction in Composite Steel and Concrete Beams with Full Shear Connection, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 41, No 2/3, pp. 235-248, 1997
31. Megharief, J., Redwood, R., Behaviour of Composite Castellated Beams, Elsevier, Journal of Constructional Steel Research, Volume 46, Nos 1-3, pp. 199-200, 1998
32. Sapountzakis, E.J., Katsikadelis, J.T., Interface Forces in Composite Steel-Concrete Structure, Pergamon Press, International Journal of Solids and Structures, Volume 37, pp. 4445-4472, 2000
33. Dall'Asta, A., Composite Beams with weak Shear Connection, Pergamon Press, International Journal of Solids and Structures, Volume 38, pp. 5605-5624, 2001

34. Türk Standartları, Deney Elekleri-Metal Levhalı, Yuvarlak veya Kare Delikli, TS 1226, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985
35. Türk Standartları, Deney Elekleri-Tel Kafesli, Kare Göz Açıklıklı, TS 1227, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985
36. Türk Standartları, Beton Agregaları, TS 706, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Aralık 1980
37. Türk Standartları, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su emme Oranı Tayini, TS 3526, Türk Standartları Enstitüsü, Aralık 1980
38. Türk Standartları, Beton Agregalarında Birim Ağırlıkların Tayini, TS 3529, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Aralık 1980
39. Türk Standartları, Beton Karışım Hesapları, TS 706, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 1985
40. Durmuş, A., Hüsem, M., Birim Şekildeğiştirme Ölçerleri, KTÜ Matbaası, Trabzon 2000
41. Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design, 9th edition, American Institute of Steel Construction (AISC), 1989
42. Manual of Steel Construction, Load&Resistance Factor Design, Volume I, Structural Members, Specifications&Codes, 2nd edition, American Institute of Steel Construction (AISC), 1998

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1978 tarihinde, Adana'nın Bahçe ilçesinde doğan Selçuk Emre GÖRKEM, 1994 yılında Elazığ M. Akif Ersoy Lisesi'nden mezun olduğu yıl girdiği üniversite sınavında başarılı olarak Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. Bu bölümden mezun olduktan sonra aynı yıl (1999 yılında) Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda açmış olduğu yüksek lisans sınavına girerek başarılı olup, yüksek lisans öğrenimine başladı. 2001 yılında Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nce ilan edilen Araştırma Görevliliği sınavına girerek başarılı oldu ve burada bir yıl görev yaptıktan sonra 2002 yılında, lisansüstü öğrenimini sürdürmek üzere Karadeniz Teknik Üniversitesi'ne, 2547 sayılı kanununun 35. maddesi uyarınca ataması yapılarak görevlendirildi.

Selçuk Emre GÖRKEM, İngilizce bilmekte ve halen Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görevine devam etmektedir.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**