

## Betonarme Plağın Konumuna Göre Karma Kiriş Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi

**M. Hüsem**

Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Trabzon 61080,Türkiye

**S. E. Görkem**

Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Trabzon 61080,Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada, çelik kirişlerde basınç başlığına prefabrike yada yekpare olarak yerleştirilen betonarme plağın, yerleştirilme düzenine göre, eğilme etkisindeki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyselerde çelik kiriş olarak I-profil kullanılmıştır. Deney elemanları, 150 cm uzunluğundaki I-profil üst başlığından sonra ve üst başlığın çeşitli oranlarda beton plak içinde kalacak şekilde yekpare olarak hazırlanmıştır. Deney elemanlarının bazıları, kayma bağlantıların etkisinin araştırılması için kayma bağlantılı ve kayma bağlantısız olarak üretilmiştir. Söz konusu kirişlere iki noktadan tekil yük uygulanarak eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karma kirişler, Kayma bağlantısı, Karma kiriş eğilme davranışı, Betonarme plak.

**ABSTRACT:** Depending on their orientation, the bending behavior of reinforced slabs which are mounted in the compression head of Steel beams as prefabricated or monolithic members was investigated experimentally in this study. To accomplish this, I shape steel elements in 150 cm length were used. The experimental members were designed to be monolithic so that beyond the compression head of the I shape steel element and its various portions were cast in concrete slab. Some of the experimental elements were designed so as to be shear connected and some of them were not, in order to investigate the effect of shear connections. The testing was carried out according to the principles of the two point loading.

### 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. Çelik kirişlere oturan köprü tabliyeleri, binalarda döşemeler, yekpare yada prefabrike plaklardan inşa edilebilirler. Çelik yapılarda çoğu zaman kolonların ve kirişlerin az donatılı bir beton kütleyle gömülmeleri de gerekebilmektedir (Arda, Yardımcı, 2000), (Galambos, 2000).

Çelik yapılarda, betonarme döşeme plakları ile çelik döşeme kirişler, örtü yada iç dolgu niteliğindeki betonla da, çelik kolonlar ortaklaşa çalıştırılabilmektedir (Cook, 1977). 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 bir sistem davranışına sahip olmamaktadır. Yıllarca betonarme döşemeler ve çelik kirişler herhangi bir karma kiriş düşüncesi amaçlanmadan, birlikte kullanılmışlardır (Özgen, 1983). Ancak çeşitli deney sonuçlarından elde edilen veriler, söz konusu iki elemanın birbirlerine, tek bir eleman oluşturacak şekilde bağlandıklarında dayanımlarının büyük miktarlarda arttığını göstermiştir (Gong, Shahrooz, 2001),(McCormac, 1995).

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 çok farklı 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 terimi, çelik kesitler ve beton kullanılarak oluşturulan enkesitlerin, birlikte çalıştırılması anlamına gelmektedir (Cook, 1977). Bu çalışmada da karma yapı elemanı terimi, bu anlamda kullanılmaktadır..

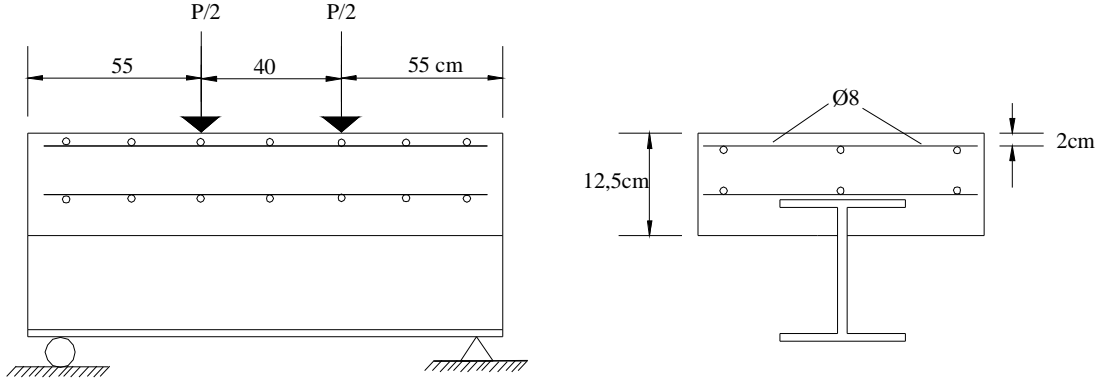
Bu çalışmada, çelik profilin beton içinde farklı konumlarına göre davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, dört seri deney kirişi üretilmiş ve eğilme etkisindeki moment taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.

## **Karma Kiriş Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi**

### **Deney Numunelerinin Üretimi**

Deneylerde çelik olarak 150 cm uzunluğunda Fe37(St37) tipi dar başlıklı I-profil kullanılmıştır. Karma kiriş üretiminden önce beton plak alt ve üst yüzüne 8 mm çapında inşaat çeliğinden 10 cm arayla boyuna (3 adet) ve 24 cm arayla da enine donatıdan oluşan bir ağ yerleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında toplam dört seri (12 adet) karma kiriş üretilmiştir. Üretilen karma kirişlere ait tipik bir boy kesit Şekil 1' de, dört seriye ait en kesitler Tablo 1' de verilmektedir. Bu çalışmada dördüncü seri karma kirişler kayma bağlantılı olarak üretilmişlerdir. Bu bağlantılar 10 mm çapında 105 mm

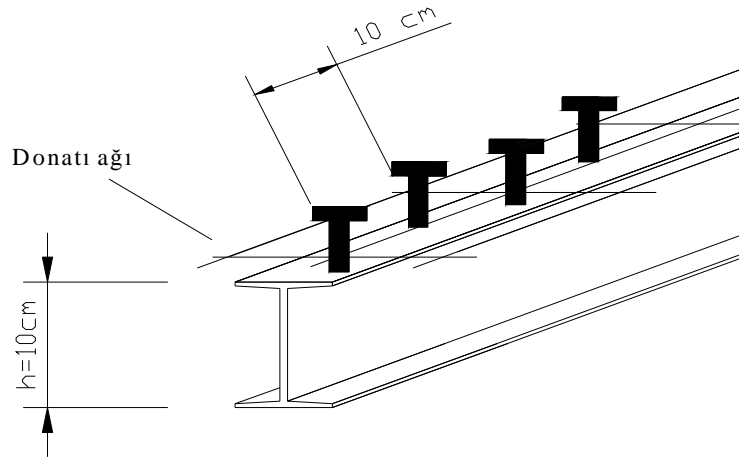
yükseklğinde cıvatalardır. Kayma bağlantıları, çelik profil üst başlığına, toplam 15 adet, 10 cm aralıklarla, 1 sıra halinde ve şaşırtmalı şekilde kaynaklanarak kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Karma Kiriş Deneysel Elemanı Tipik Bir Boy Kesiti ve En Kesiti

Tablo 1. Karma Kiriş Deneysel Elemanlarının Enkesit Tipleri

Karma kiriş serileri	Enkesit tipleri	Çelik profilin beton içindeki konumu
1. Seri Kirişler		5 cm gömülü
2. Seri Kirişler		3 cm gömülü
3. Seri Kirişler		1 cm gömülü
4. Seri Kirişler		1 cm gömülü ve Kayma Bağlantılı



Şekil 2. Kayma Bağlantılarının Kiriş Üst Başlığına Yerleşimi

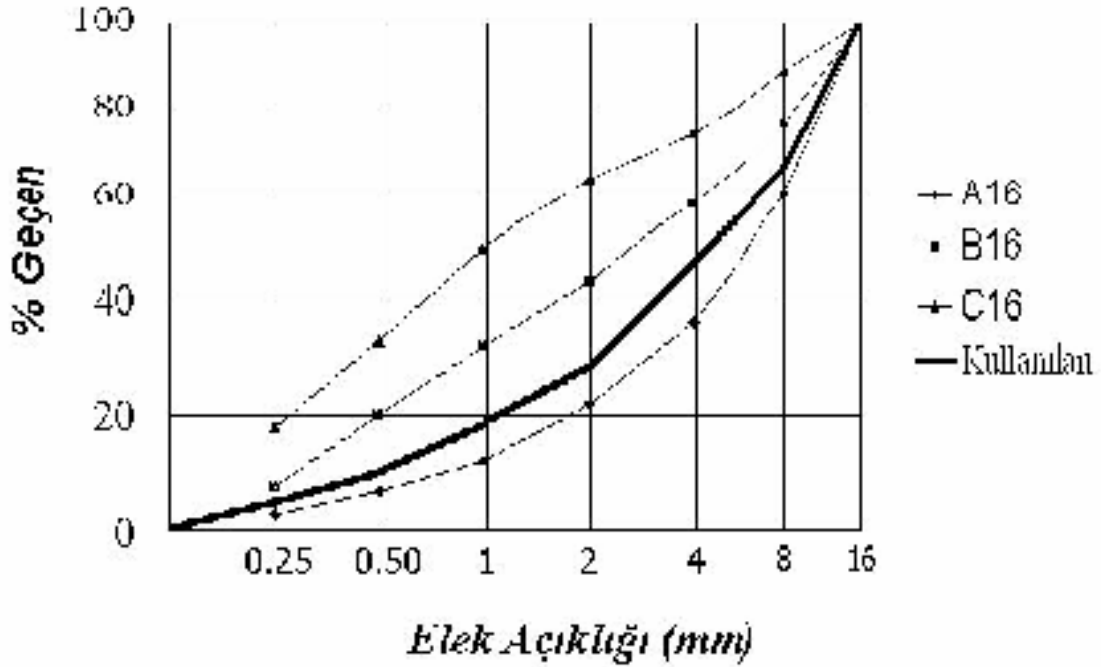
## Karma Kirişlerde Kullanılan Betonun Üretimi

Karma kırış deney numunelerinin üretiminde kullanılan betonlarda, Trabzon ili Maçka ilçesi, Meryemana yöresindeki taş ocaklarından temin edilen kalker kökenli agrega kullanılmıştır. Agregaların ince (<4 mm) ve iri (>4mm) kısımları üzerinde, TS 3526 ve TS 3529 'e göre fiziksel özellikleri belirlenmiş ve Tablo 2' de verilmiştir. Betonların üretiminde kullanılan granülometrik bileşim ise Şekil 3' de sınır eğrileri ile birlikte verilmiştir.

Beton üretiminde Ünye Çimento fabrikası tarafından üretilen PKÇ-32,5R çimentosu kullanılmıştır. Betonların üretiminde katkı maddesi olarak YKS firmasının bir ürünü olan "Glenium 27" süper 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. Üretilen betonların bileşimi mutlak hacim yöntemine (TS 802) göre yapılmış ve Betonun bileşimi Tablo 2'de verilmiştir

**Çizelge 8.** Agregaların Fiziksel Özellikleri

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



Şekil 3. Beton Üretiminde Kullanılan Agrega Granülometrisi

Tablo 3. Betonların Bileşimi (1 m<sup>3</sup>)

Su/Çimento	0,50
Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	350
Karma Suyu (kg/m <sup>3</sup> )	175
Toplam Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	1828.5
Doyma Suyu (kg/m <sup>3</sup> )	4.20

Beton üretilmesi ve karılmasında, 60 litre kapasiteli, eğik eksenli bir betoniyer kullanılmıştır. Her bir sınıf agregası tartılarak önceden nemlendirilen betoniye konulmuş ve doyma suyu ilave edilerek 3 dakika, daha sonra çimento ilavesi ile 3 dakika, bunu takiben betoniyer hiç durdurulmadan karma suyu ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edilerek 3 dakika daha karıştırılarak beton üretilmiştir.

### **Karma Kirişlerin Üretimi**

Bu çalışmada kullanılan karma kirişler, Tablo 1 'deki üretim planı ve en kesit tiplerine göre hazırlanmış ve yukarıda belirtildiği gibi üretilen beton, üç aşamada, her aşamada 15 saniye titreşim uygulanarak kalıplarına dökülmüşlerdir. Bu şekilde üretilen karma kirişler, ortalama sıcaklığı 22 m<sup>3</sup>°C ve bağıl nemi de %65 m<sup>5</sup> olan laboratuvar ortamında ilk 1 hafta kalıp içerisinde, sonraki 2 hafta da üzerilerine sürekli ıslak kalacak şekilde çuvallar örtülerek bekletilmişlerdir. Deney kirişleri üzerindeki ıslak çuvallar 21.gün sonunda, deney anında çelik ve beton üzerine birim şekildeğiştirme ölçerleri(strain-gauge) yapıştırmak amacıyla, kaldırılmıştır. Kirişler 28. günde deneye tabi tutulmuşlardır. Ayrıca her bir seri kiriş üretiminde kullanılan betonların yeniden üretilebilirliğini kontrol etmek için 3 er adet 15 cm x30 cm boyutlarında standart silindirik beton şahit numuneler alınmış ve 28 gün sonunda merkezi basınç altında dayanımları belirlenmiştir. Bu numunelerin ortalama basınç dayanımları Tablo 4' de verilmektedir.

Tablo 4. 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

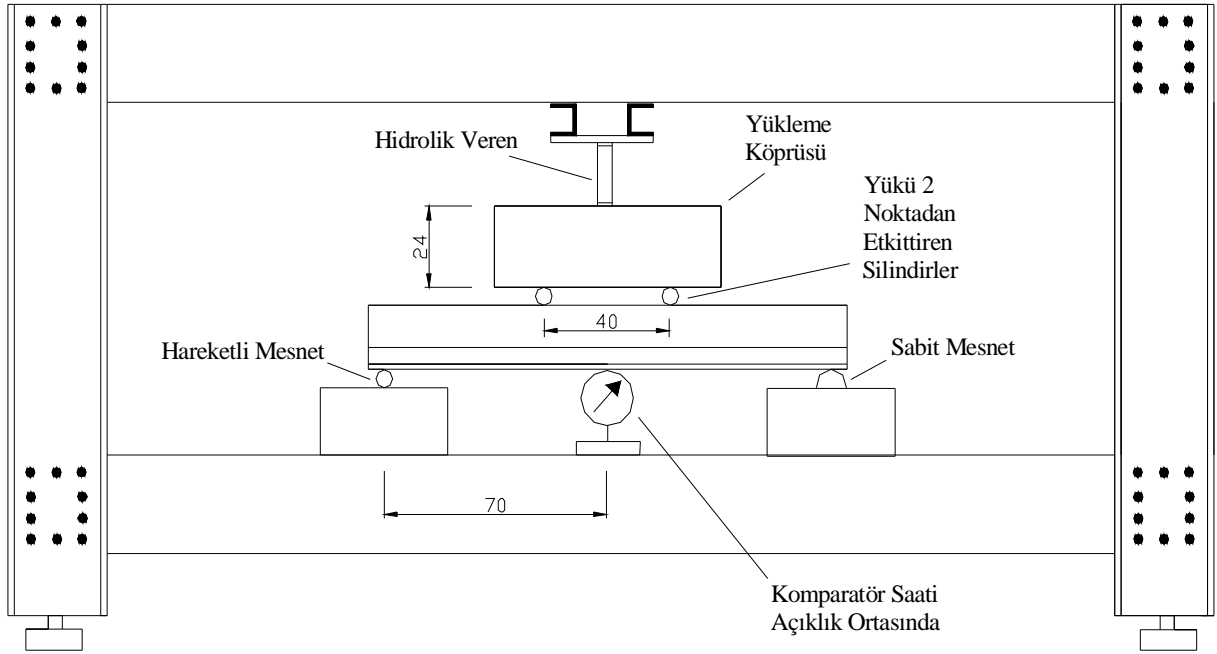
Tablo 4'ten görüldüğü gibi her bir kiriş serisi için üretilen betonların ortalama basınç dayanımları arasında büyük bir farklılık gözlenmemektedir. Bu da betonların yeniden üretilebilirliğini sağladığını göstermektedir.

### **Karma Kirişler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Bulgular**

Karma kirişler 28. sonunda, sabit moment bölgesinde betonun üst yüzüne aktif boyu 90 mm olan TML-PL90 tipi, çeliğin çekme bölgesine ise aktif boyu 20 mm olan TML-YL20 tipi birim şekildeğiştirme ölçerleri yapıştırılmıştır (Durmuş ve Hüsem, 2000). Bu şekilde deney hazırlanan karma kirişler üzerinde Hi-Tech Magnus marka yükleme çerçevesi kullanılarak iki noktadan yüklenmek suretiyle eğilme deneyine tabi

tutulmuştur. Yükleme çerçevesinin maksimum kapasitesi 200 kN'dur. Deney düzeneği Şekil 4'de verilmektedir.

Yükleme süresince karma kiriş deney numunesinin, açıklık ortası sehim değerlerinin belirlenmesi amacıyla ELE marka komparatör saati kullanılmıştır. Kullanılan bu komparatör saati, 0.01 mm hassasiyet dereceli olup, ölçme kapasitesi 60mm'dir. Karma kiriş eğilme deneyinden elde edilen kırılma momentleri ve kırılma anındaki maksimum sehimleri Tablo 5'de verilmektedir. Ayrıca beton ve çelik üzerine yapıştırılan birim şekildeğiştirme ölçerleri yardımıyla belirlenen yük-birim şekildeğiştirme eğrileri de 1., 2., 3., ve 4. seri karma kirişler için Şekil 5' de verilmektedir. Deneylerde çelik profilin akmasından sonra beton basınç bloğunun ezildiği anda deneye son verilmiş kirişin taşıma gücünü kaybettiği kabul edilmiştir.



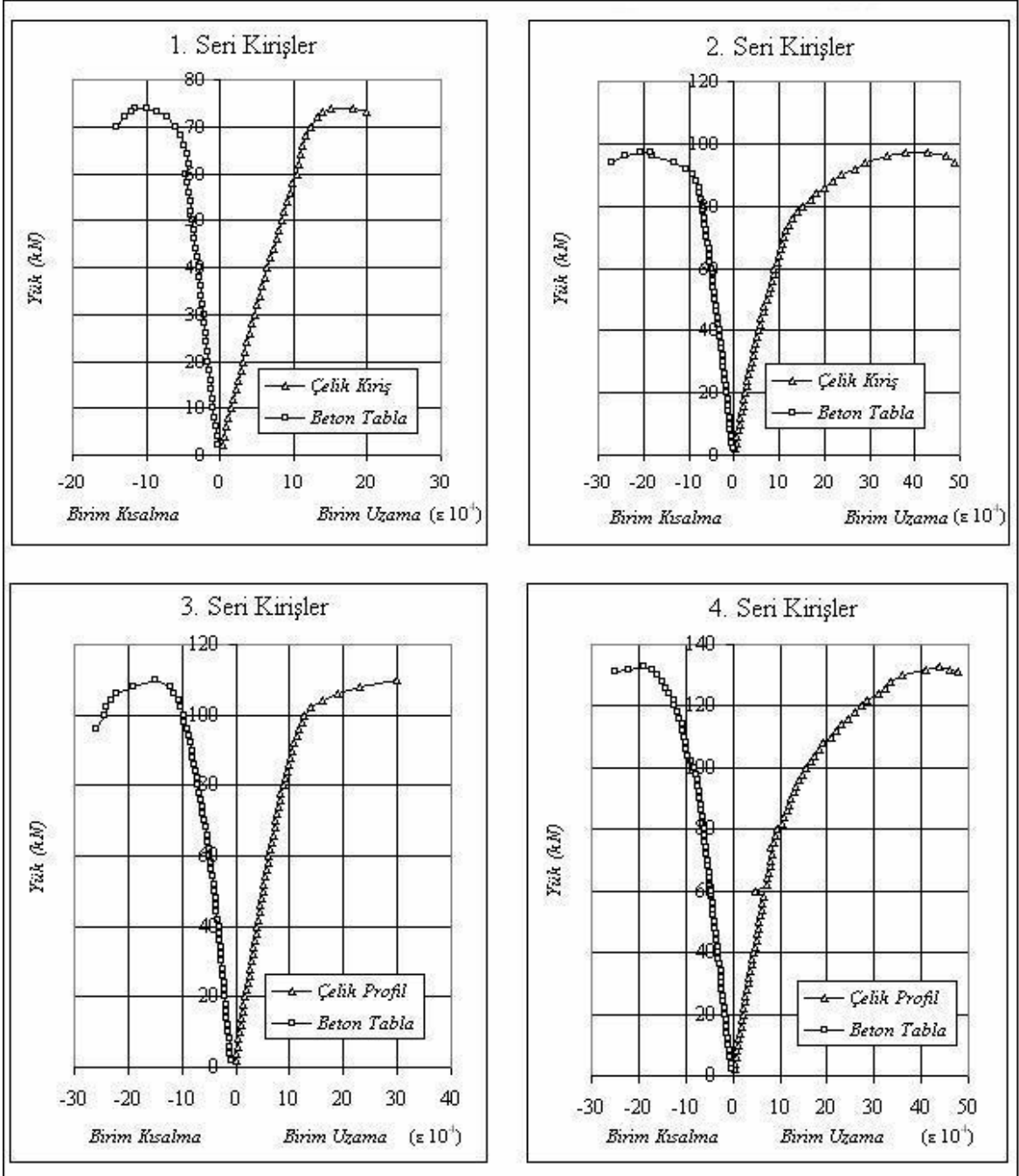
Şekil 4. Deney Düzeneği

Tablo 5. Karma Kirişler Üzerinde Yapılan Eğilme Deneyi Sonuçları

Seri No	Ortalama Kırılma Yüğü (kN)	Ortalama Moment (kN.m)	Ortalama Sehım (mm)
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

Bu tablodan görüldüğü gibi, çelik profilin üstten 5 cm beton içine gömülü olması (1. seri) durumunda taşıyabildiği moment 1 cm gömülü olan kirişlere göre (3.seri) %25 oranında daha azdır. Aynı şekilde kirişin orta noktasında yaptığı sehım ise %34 oranında daha azdır. Bu da beton gömme derinliğinin artırılmasının moment taşıma gücünü azaltığını, ancak kesiti daha rijit hale getirdiğini göstermektedir. Karma

kirişlerden 3. ve 4. seri olanlar beton için 1 cm gömülü olarak üretilmiş, 4. seri kirişlerde bildiri metninde belirtilen kayma bağlantıları kullanılmıştır. Kayma bağlantılarının etkisinin Tablo 5’ de verilen sonuçlara göre, kayma bağlantısı kullanılmayanlara göre %17 oranında artırdığı, sehimi ise %2 oranında azalttığı görülmüştür.



Şekil 5. Karma Kirişlerin Yük-Birim Şekildeğiştirme Eğrileri

Bu şekillerden de görüldüğü gibi, karma kirişlerde çelik profil akma birim uzamasına ulaştıktan sonra beton 1.seri kirişlerde nihai birim kısalmaya ulaşmadan taşıma gücünü kaybetmektedir. Bu da, betonun çelik profilinin yarısına kadar gömülü olmasının, beton ve çeliğin üstün yönlerinden yararlanma isteğine ters düşmektedir.

## Sonuçlar

Karma kirişleri oluşturan profil üst başlığının beton içindeki konumuna göre eğilme etkisindeki davranışlarının deneysel olarak incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmadan çıkartılabilecek sonuçlar aşağıda verilmektedir.

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

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

Özetle, yapılan çalışma çelik profilin beton içine gömülme oranının artmasıyla moment taşıma kapasitesinin azaldığını, bunun birlikte şekildeğiştirme kapasitesinin de azaldığını göstermektedir. Bu sonuçlar yürütülmekte olan bir çalışmanın sınırlı sayıda verilerini içermektedir. Bu nedenle, sonuçların genellenebilmesi için, farklı yükseklikteki I profili ve beton plaka kalınlıkları dikkate alınarak çok sayıda deney yapılması gerekmektedir. Bu konudaki deneyler ve teorik incelemeler devam etmektedir.

## Referanslar

Arda, T.S., Yardımcı, N., 2000, *Çelik Yapılarda Karma Elemanların Plastik Hesabı*, Birsen Yayınevi, İstanbul,

Cook, J.P., 1977, *Composite Construction Methods*, John Wiley & Sons, New York.

Durmuş, A., Hüsem, M., 2000, *Birim Şekildeğiştirme Ölçerleri*, KTÜ Matbaası, Trabzon

Galambos, T.V., 2000, Recent Research and Design Developments in Steel and Composite Steel-Concrete Structural in USA, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 55, pp289-303.

Gong, B., Shahrooz, B.M., 2001, Steel-Concrete Composite Coupling Beams Behavior and Design, *Engineering Structures*, Vol 23, pp1480-1490.

McCormac, J.C., 1995, *Steel Structural Design*, Harper Collins College Publishers, New York.

Özgen, A, 1983, *I. Çelik Yapılar Seminer Notları*, İTÜ, s85-140.