

ÖN DÖKÜMLÜ BETONARME DÖŞEMENİN EPOKSİ REÇİNESİ YARDIMIYLA ÇELİK PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİNDEN ELDE EDİLEN KOMPOZİT KİRİŞLERDE EPOKSİ REÇİNESİNİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

¹Ahmet Necati YELGİN, ²Özgür ÇETİN

¹ Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, SAKARYA, TÜRKİYE

² Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, SAKARYA, TÜRKİYE

Abstract

In the negative moment region, the influence of the variations of size and dimension of the supplementations, made of steel lamas the concrete slab and steel profile which react together as one element, on the durability and strength behaviour of the composite beam is studied and in the case of composite beam deformation in the negative bending, the amount of preventions of brutal seperation between concrete slab and steel beam is studied.

The beams in this study are formed from the steel profiles (INP 120) on concrete plates that have (3000x800x100 mm) dimensions. Connector welding is used for obtaining the connection between concrete slab and steel profile. Calculated reinforcements are put into concrete slab for blocking up the pulling forces in which concrete cannot resist these forces. In addition, in the negative moment region an amount of various size and dimensions of steel lamas are used to increase the durability of composite beam. The detailed information about the characteristic coefficients of concrete, INP 120 profile, epoxy resin and steel lamas, which are combined for preparation of composite beam, are given.

In the negative region of epoxy bonded composite beams whether if steel beams should be used or not is searched by the discussions and comparisons of theoretical and experimental studies. In case of allowing the knowledge about the epoxy resin, which is a bonding component, and variations of size and dimensions of steel lamas, and how epoxy resin influences the bending behaviours in the negative region is obtained and suggestions are made.

Key Words: Composite beam, negative moment, epoxy resin, steel lamas.

Özet

Karma kirişlerin negatif moment bölgesindeki betonarme plak ve çelik profilin birlikte çalışması durumunda çelik lamalarla yapılan bindirme eklerinin boyut ve aralıklarının değişiminin taşıma gücüne ve karma kirişin taşıma davranışını nasıl etkilediği araştırılmakta ve karma kirişin negatif moment altında şekil değiştirmesi sonucu beton plağın çelik profilden ayrılıp kalkmasını ne ölçüde önleyip önlemediği araştırılmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan kirişler 3000x800x100 mm boyutlarındaki hazır bir betonarme plak üzerinde çelik profilden (INP 120 profili) oluşmaktadır. Karma kiriş hazırlanırken betonarme hazır plağın çelik profil ile bağlantısını sağlamak üzere elektrik kaynağı kullanılmaktadır. Hazır betonarme plak içerisine betonun karşılayamadığı çekme kuvvetlerini karşılamak üzere hesaplanmış çekme donatıları konulmaktadır. Ayrıca negatif moment bölgesinde karma kirişin taşıma gücünü arttıracak boyut ve aralıkları değişen çelik lamalar kullanılmaktadır. Karma kiriş hazırlanırken kullanılan beton, çelik profil, epoksi reçinesi ve çelik lamaların karakteristik değerleri hakkında detaylı bilgiler verilmektedir.

Yapılan bu deneysel çalışma ile epoksi ile yapıştırılan karma kirişlerin negatif moment bölgelerinde çelik lamaların kullanılıp kullanılmaması durumlarında elde edilen değerler teorik ve deneysel çalışmalarla karşılaştırılmaktadır. İnşaat sektöründe yeni bir birleştirme malzemesi olan epoksi reçineleri hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmakta ve çelik lamaların aralık ve boyutlarının

değişiminin ve epoksi reçinelerinin karma kirişin negatif moment bölgesindeki taşıma davranışlarını nasıl etkilediği konusunda bilgi edinilmesi sağlanmakta ve öneriler yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karma kiriş, negatif moment, epoksi reçinesi, çelik lamalar.

1. Giriş

Günümüzde çelik iskeletli yapılar daha çok karma elemanlı (Kompozit) olarak projelendirilmektedir. Bunun başlıca sebebi, çeliğin taşıyıcı sistem malzemesi olarak yalnız başına kullanılması durumunda, maliyetin çoğu zaman diğer malzemeden üretilmiş taşıyıcı sistemlere göre daha yüksek çıkmasıdır. Öte yandan çok katlı çelik iskeletli yapılarda döşeme plaklarının çoğu zaman betonarme olması (yatay yüklere karşı çerçevelerin diyafram etkisinin sağlanması ve çelik kirişlerin düzlemlerine dik doğrultudaki yanal burkulmasına engel olmak amacıyla) ve sistemin yangın mukavemetinin artırılması için tüm çelik elemanların betonla örtülmeleri, çelik yapıda beton kullanımını da mevcut kılmaktadır. Sayılan nedenlerle çeliğin yanında zaten bulunan beton ya da betonarme elemanların basınç mukavemetinden yararlanma fikri karma (Kompozit) sistemlere bizi götürmektedir.

Betonarme döşeme plakları ile çelik kirişlerin ortak çalıştırılmasıyla ortaya çıkan karma (kompozit) kirişler, üzerine serbestçe oturan bir betonarme plağı yalnız başına taşımaya çalışan çelik kirişlere oranla daha ekonomiktirler. Çünkü karma bir kirişte eğilmeden ileri gelen kuvvet çiftinin çekme bileşeni çelik profil tarafından, basınç bileşeni ise yalnızca betonarme plak ve çelik profilin bir bölümü tarafından ortak olarak taşınmaktadır. Dolayısıyla çelik profil, eğilmenin basınç bileşenini taşımaktan ya bütünüyle ya da büyük ölçüde kurtulmaktadır. Betonarme plağın bir ölü yük taşımaktan çıkıp basınç bileşenini taşıyan yararlı bir elemana dönüşmesinin yanı sıra, böyle bir ortak çalışmada kuvvet çiftinin manivela kolunun da büyümesi ile iyi bir etki oluşturmaktadır. Yani betonarme tablalı kirişlere benzetilmesi de mümkün olan karma kirişler aynı taşıma gücüne sahip çelik kirişlerle karşılaştırılırsa çelik kirişin aynı konstrüksiyon yüksekliği şartı altında çok ağır, bu koşul yok ise çok yüksek çıkacağı aşikardır. Karma (kompozit) sistemler, yalnız çelikten üretilmiş taşıyıcı sistemlere göre çok daha az çelik tükettiklerinden önemli bir ekonomi de sağlamaktadırlar.

Çelik ve betonarme karma yapı elemanlarında, doğrudan çelik kullanılmasına göre sağlanabilen en büyük ekonomi kirişlerde karşımıza çıkmaktadır. Bu ekonominin seviyesi, pozitif moment ağırlıklı sistemlerde %50 oranına yaklaşabilmektedir. Kiriş boyunca negatif moment bölgelerinin de bulunması durumunda, bir diğer deyişle sürekli (mütemadi) kiriş durumunda kullanılmalarında genelde çelik profilin üst kısmında bulunan betonarme döşemenin, mesnetler bölgesinde karma çalışmaya çok fazla bir katkı sağlamadığı aşikârdır.

Karma kirişlerin negatif momentler bölgesindeki hesabı (davranışı) için iki farklı görüş bulunmaktadır [1]:

a) Birinci görüşte, negatif momentler bölgesinde karma çalışmadan uzaklaşılır ve bu bölgedeki bütün moment, yeri geldiğinde üst başlığı güçlendirilen çelik enkesite taşıttırılır. Bu yöntem negatif momentler bölgesinde karma çalışmayı ortadan kaldıran ve yalnız çelik enkesiti göz önüne alan bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Pratiğin teoriye uyabilmesi amacıyla, yani karma çalışmayı ortadan kaldırabilmek amacıyla, beton dökülmesi esnasında çelik enkesitin üst başlığı ince bir şerit şeklinde yağlanır.

b) İkinci görüşte ise, karma (kompozit) enkesit hesabı negatif moment bölgesinde de devam ettirilir. Bu negatif momentler bölgesinde, üstte bulunan betonarme döşeme içine, kirişin

boyuna doğrultusuna devam eden mesnet donatıları konur ve betonarme döşemenin yalnız bu donatılarla çalışmaya katıldığı kabul edilir. Bu şekildeki düzenlemede, karma çalışma etkisi yine önemli bir ekonomi sağlayabilmektedir. Ancak betonun basınç mukavemetinden yeterince yararlanılmamaktadır.

Yukarıda açıklanan iki görüşten karma kirişleri negatif momentler bölgesinde de dikkate alan ikinci görüş, günümüzde, köprüler dışında, çok rağbet görmektedir.

Karma kirişlerde betonarme tablanın altındaki çelik profilin yangından ve korozyondan korunması amacıyla betona gömülmesi (mantolanması) ve kolonun her iki yanından kesintiye uğramadan geçen ikiz profiller durumunda gövde betonlu karma kirişlerle de karşılaşılmaktadır.

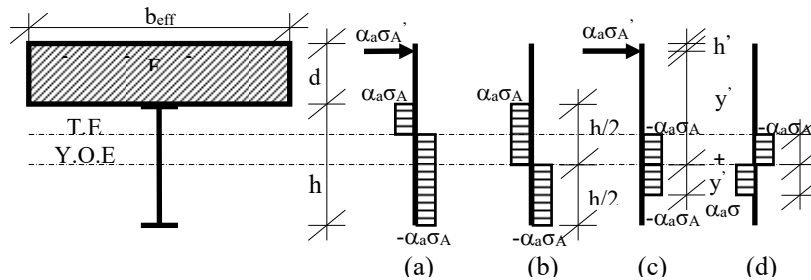
2. Negatif Moment Bölgesinde Karma Kirişler

Kompozit kirişlerin sürekli kiriş olarak kullanılmaları halinde, iç mesnetler bölgesinde negatif moment meydana gelir. Negatif moment etkimesi durumunda, kompozit kirişin kesitinin çekme bölgesinde kalan betonun çatlayacağı ve üzerindeki yükü karşılayamayacağı bellidir.

Bu sebeple, negatif moment bölgesinde kompozit kiriş çalışmasından olanaklar ölçüsünde kaçınılmalıdır. Şayet bu mümkün olmuyorsa, üst başlığı da çelik profillerle veya karbodur elemanlarla takviye edip bütün moment bu elemanlara taşıtılmalıdır.

Diğer bir çözüm ise, kompozit kiriş hesabı negatif momentler bölgesinde de devam ettirilir. Negatif moment bölgesinde betonarme kesitin boyuna doğrultusunda giden mesnet donatıları betonarme kesitin üst tarafına konularak, söz konusu bu momentin oluşturduğu çekme kuvvetinin donatılar tarafından karşılanması istenir. Böyle bir kompozit kiriş çalışmasında kaymayı ve kalkmayı önleyici bağlantı elemanlarının bu bölgede kullanılması gereklidir.

Negatif moment bölgesinde çalışan kompozit kirişin gerilme diyagramları (Şekil 2.1)' de görülmektedir. Bu diyagramlar dikkatlice incelenirse üç ayrı durumun bileşkesi olarak kabul edilebilir (a) : (b) yalnız çelik enkesitin taşıyabileceği Plastikleşme Momenti (M_{pl}) belirlenir. Daha sonra mesnet donatılarının yüzey yarılmalı eksenin ortasında diyagram işaret değiştirmektedir. (c) mesnet donatısının yüzey yarılmalı eksenine göre ΔM_1 momentine katkısı ve (d) ΔM_2 eksen farkı dengeleme momentidir (Şekil 2.1)..



Şekil 2.1. Negatif Moment Bölgesinde Davranış

Kesitin plastik mukavemet momenti $W_{pl} = \int_{Alan} |y| dF = S_{x_o} + S_{x_u}$ olur. Kesitin plastik

moment kapasitesi $M_{pl} = \alpha \cdot \sigma_A \cdot W_{pl}$ olarak hesaplanır. Burada, α Güvenlik derecesini göstermektedir ve σ_A Akma gerilmesidir. Betonun çekme bölgesindeki donatı tarafından taşınacak kuvvet $Z = \alpha \cdot \sigma'_A \cdot F'_A$ bulunur. Burada, σ'_A Yapı çeliğinin akma gerilmesi ve F'_A Donatı kesit alanıdır.

Beton çekme bölgesindeki donatı tarafından alınacak moment $\Delta M_D = Z \cdot y'$ aşırı derecede engel olarak plastik sistem hesabını geçersiz kılmamaları için F_A' donatısı fazla arttırılmamalıdır.

3. Çelik Lamalar ve Betonarme Plağın Birleştirilmesinde Kullanılan Epoksi Reçineleri (Yapı Kimyasalları)

Karma kirişin negatif momentlerinin karşılanmasında gerilme ve momentlerin karşılanması aynı zamanda bu kuvvetlerin çelik plakalara güvenli olarak aktarılmasıyla da ilişkilidir. Kirişte oluşan sıyrılmaya ve kayma kuvvetlerinin aktarımını gerçekleştirmek için iki bileşenli bir epoksi reçine yapıştırma malzemesi olan ASTM C 881-78 tip II sınıfına giren Sikadur32 kullanılmıştır. Karma kirişler, yapı güçlendirme ve onarım işlerinde yaygın olarak kullanılan epoksi reçineleri 1938 yılında İsviçreli P.Castan ve Amerikalı S.Greenlee tarafından keşfedilen bir sentetik grubudur.

Yapı elemanlarında kullanımda, epoksi malzemelerinin karıştırılmasında düşük hızlı mekanik karıştırıcılar kullanılmasına dikkat edilmelidir. Karışım oranları asla göz kararı ile değil ölçülerek ayarlanmalıdır. Epoksi tamir harçları iki yada üç bileşenli (epoksi reçine, sertleştirici, özel gradasyonlu kuvars kumu) malzemelerdir. Çelik levhaların yada FRP elemanlarının yapıştırılmasında, çatlak enjeksiyonunda tamirde grout harcı olarak kullanılan tipleri mevcuttur. Epoksi reçinelerde aranan şartlar betona, kâgire, çeliğe mükemmel yapışması, kür gerektirmemesi, rutubete maruz kalınca özelliklerinden bir şey yitirmemesi, rötrenin ihmal edilebilecek düzeyde olması, yüksek mekanik mukavemetlere sahip olması gibi özelliklerdir.

Çelik ve FRP elemanları yapıştırmak için kullanılan epoksi reçine malzemeleri daha çok iki bileşenli iken, kalın tamir harçları büzülme, sünme ve sıcaklık etkileri nedeniyle filler katkılıdır. Birçok kimyasal reaksiyon gibi epoksi ve sertleştiricinin reaksiyonu yüksek sıcaklıklarda daha hızlıdır. Epoksi reçine üreticileri malzemenin kullanım süresi ASTM C 881 "Betonla birlikte kullanılacak epoksi reçine bazlı yapıştırıcı sistemleri standart spesifikasyonuna göre belirlenir.

Enjekte edilebilen reçineler bazen viskozitelerini düşürmek ve daha az basınçla daha hızlı penetrasyon sağlayabilmek amacıyla ısıtılırlar. Fakat burada malzemeyi fazla ısıtmak reçine ve sertleştiriciyi etkileyip bileşenlerin ayrışmasına sebep olabilir. Reçineyi ısıtmanın en iyi yöntemi malzeme ambalajlarını ısıtılmış bir odaya yerleştirip, sıcaklığın aniden artmasını önlemektir. Bu ısıtma işleminin reaksiyon hızını arttıracığı da unutulmamalıdır.

Epoksi ve sertleştirici reaksiyona girdiklerinde ısı açığa çıkar. Malzeme ufak miktarlarda karıştırılmışsa bu bir problem yaratmaz ama bir kap içinde karıştırılmış büyük miktarda malzeme önemli miktarda ısı açığa çıkarır. Epoksinin yüzeye aderansı hem fiziksel hem kimyasaldır. Kimyasal bağ, malzemenin mükemmel ıslatma özelliğini sağlayan hidrojen bağıdır. Bu ıslatma özelliği epoksinin beton içindeki mikro boşluklara nüfuz etmesini sağlar ve efektif temas alanını artırır. Bu mikroskobik seviyede bir fiziksel bağ etkisi oluşturur. ıslatma etkisinin tam sağlanabilmesi için epoksinin sıvı halde olması, jel başlangıcında olmaması gerekir. Epoksinin yüksek yapışma sağlayabilmesi için uygulama yüzeyinin temiz olması şarttır. Enjeksiyon işlemi gerektiren birleşimlerde ortamda hareketli su akışı yoksa günümüzde pek çok mükemmel aderans ve mekanik özellikler sağlayan epoksi reçineler kullanılarak yapılır. Akrilik köpürmeyen poliüretanlar meta akrilatlar bazen kullanılsa bile bunlar daha çok istisnai durumlardır. 0.3 - 5.0 mm arasındaki çatlaklara akitme yapılmadan önce çatlaklar yüzeyden kapatılarak, reçinenin akması engellenir. Bunun yanında akitme plakaları nipel veya ağızlar kullanılarak reçinenin çatlaklara nüfuz etmesi sağlanır.

Enjeksiyonun çatlağın en alt kısmından başlanması şart değildir. Çatlağın geniş kısmından başlanarak dar kısmına doğru akan reçine daha kolay ilerler. Dar kısmından başlayan enjeksiyon ise bir boğaz oluşturup, geniş boşluklara doğru akmayı engelleyebilir. Enjeksiyon ile ilgili çeşitli teknikler uygulanabilir, çok ince çatlaklarda yüksek basınç enjeksiyonu uygulanırken, daha geniş çatlaklarda düşük basınç enjeksiyonu uygulanır. El enjeksiyon pompaları mekanik elektrikli yüksek basınç uygulayabilen enjeksiyon makineleri de kullanılır. ASTM C 881 epoksileri kullanım yerleri viskozite ve sıcaklık limitleri ile tanımlar. Yedi tip epoksi için fiziksel olarak sağlaması gereken şartlar da burada belirtilmiştir.

Karma kırışte kesitin beraber çalışmasını sağlayacak birleşimi sağlayacak epoksi yapıştırıcının bu noktada köprü görevini görür. Kullanılan yapı kimyasalı çelik plakalar ve beton plak arasında betonun kendi çekme mukavemetinden çok daha büyük bir güçle yapışmayı sağlar. Yapıştırma malzemesi iki ayrı sertleşme süresinde üretilmektedir. Slovensizdir ve nemden etkilenmez. Nemli yüzeylerde de kullanılabilen bu malzeme düşük sıcaklıklarda da çalıştırılabilmektedir. Malzeme yüksek çekme mukavemetine sahiptir.

Tablo 3.1 Epoksi Yapıştırma Malzemesinin Özellikleri

Epoksi Yapıştırma Malzemesinin Özellikleri			
Renk	Açık Gri		
Depolama Koşulları	Kuru, 0 °C' nin üstünde ve + 25 °C' tın altında		
Depolama Ömrü	Doğru depolandığı ve açılmadığı takdirde 12 ay		
Yoğunluk	1.4 kg / litre		
Bileşen Karışım Oranı	A / B – 2 / 1 (Ağırlıkça)		
Kullanma Süresi	Sıcaklık °C	Normal Tip	Yavaş Tip
	40	-	20 Dakika
	30	15 Dakika	40 Dakika
	20	25 Dakika	90 Dakika
	10	1 Saat	-
Yapışkanlık Süresi	Sıcaklık °C	Normal Tip	Yavaş Tip
	40	-	4 Saat
	30	1 Saat	8 Saat
	20	1 Saat	-
	5	2 Saat	-
Basınç Mukavemeti	70 N / mm ²		
Eğilme Mukavemeti	35 N / mm ²		
Çekme Mukavemeti	22 N / mm ²		
Betona Yapışma Mukavemeti	3 N / mm ² (beton kırılır)		
Çeliğe Yapışma Mukavemeti	70 N / mm ² (20 °C, 65 %, r.H. 10 gün)		

4. Deneysel Kirişlerin Hazırlanması

Deneylerde kullanılacak 4 adet kirişin açıklığı 3 metredir. Bu deney kirişlerinden 4 adedi de çelik levhalarla takviye edilmektedir. Deney numunelerinde beton elemanın alt bölümüne birleştirilecek olan çelik elemanlar yağ ve pastan arındırılmak için önce metal kesici spiral motorla fırçalanmıştır. Çelik lamaların yapıştırılacağı beton yüzey de aynı biçimde fırçalanmış ve toz kalmayacak şekilde temizlenmiştir.

Bu deney numunelerinden 2 adedi 6 adet çelik lama ile takviye edilecektir. Diğer 2 adedi ise 8 adet çelik lama ile takviye edilecektir. Söz konusu bu çelik lamalar hazır betonarme plağa epoksi reçinesi marifeti ile yapıştırılacaktır.

Epoksi reçinesi hazırlama kurallarına uygun olarak A ve B komponentlerinden oluşan iki bileşen A / B = 1 / 3 oranı dikkate alınarak elektronik tartı marifetiyle hazırlanıp homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışım hem temiz ve kuru olan çelik lamalara ve hem de beton yüzeye sürülmüştür. Sonra hava boşluğu kalmayacak şekilde

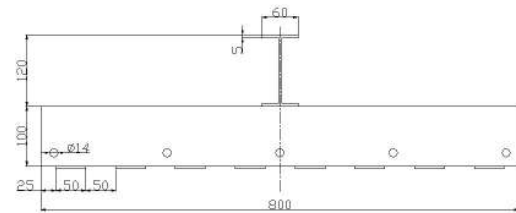
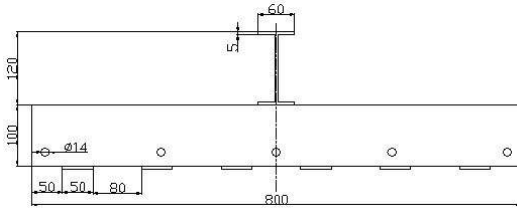
birleştirilmiş ve üzerlerine koyulan ağırlıklarla 24 saat süre ile yapışmanın sağlanması için beklenmiştir. Kompozit kirişi oluşturacak bir diğer eleman olan çelik I 120 profil ile betonarme plak arasındaki kompozit çalışmayı sağlamak üzere betonarme plaklar içerisindeki 6 adet U 80 profile $a = 4$ mm. kalınlığında ve $L = 20$ cm. uzunluğunda çift taraflı karşılıklı köşe kaynağı uygulanmıştır. Kirişler hazırlandıktan sonra epoksi reçinesiyle yapıştırılan bölümlerin mukavemetlerini tamamen kazanmaları için 10 gün süre ile beklenilmiştir.

5. Deneyleerde Elde Edilen Sonuçlar

Çelik levhalarla takviye edilmiş kompozit kirişlerin negatif moment bölgesindeki davranışı ve taşıma gücünün incelenmesi için yapılan deneyler, dört deney numunesinden oluşan bir deneysel araştırmayı oluşturmaktadır. Bu bölümde deneylerin yapılışı ve ölçümler ayrıntılarıyla verilecektir.

a) Deneyle Numuneleri (DN1 ve DN3 Kirişleri)

DN1 ve DN3 kirişleri hazır betonarme plak içerisindeki 6 adet U 80 profiline ve $L = 300$ cm uzunluğundaki INP 120 profiline $a = 4$ mm kaynak kalınlığında ve $L = 20$ cm kaynak boyunda olan çift taraflı köşe kaynak dikişleri ile 6 adet kayma bağlantısı oluşturularak şekilde birleştirilmiştir. Daha sonra hazır betonarme plak alt yüzeyine 8 cm aralıklı olacak şekilde 6 adet $L = 300$ cm uzunluğundaki çelik plaka elemanları yapıştırılmıştır.



Şekil 5.1. DN1 ve DN3 Kirişlerinin Kesit Görünümü

Şekil 5.2. DN2 ve DN4 Kirişlerinin Kesit Görünümü

DN1 Kirişi:

Hazırlanan bu kiriş 50 kN kapasiteli forklift marifetiyle deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Daha sonra statik karakterli yük uygulanmaya başlanmış ve her 2 kN luk yük kademesindeki sehim değeri deformasyon ölçerden okunmuştur.

122 kN 'dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice arttığından, alet güvenliği bakımından sehimi belirleyen deformasyon ölçerler yerlerinden alınmıştır. Daha sonra kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir. $P = 156$ kN' a ulaştığında, deney numunesinin ek bir yük taşıyamadığı görülmüştür.

Deneyle sonunda, kompozit kirişin tam orta noktasında yükün uygulandığı ekseninde hazır betonarme plakta eğilme çatlaklarının oluştuğu tespit edilmiştir. Kırılma anında kayma elemanları ve hazır betonarme plak arasında kullanılan kaynak bağlantılarında herhangi bir kopma görülmemiştir. Hazır betonarme plak ile çelik levhalar arasında bağlayıcılık özelliği olan epoksi reçinesinde kopmanın oluşmadığı, çelik levhaların beton plakla aynı sehimi gerçekleştirerek hiçbir noktada ayrılmanın oluşmadığı gözlenmiştir. Kompozit kirişin mesnetlere yakın bölgelerinde kesme çatlaklarının oluşmadığı ve çelik profil ile beton plakta aynı sehimlerin meydana geldiği gözlenmiştir.

DN3 Kirişi:

Hazırlanan bu kiriş 50 kN kapasiteli forklift marifetiyle deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Daha sonra statik karakterli yük uygulanmaya başlanmış ve her 2 kN'luk yük kademesindeki sehimi değeri deformasyon ölçerlerden okunmuştur.

114 kN ' dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice arttığından, alet güvenliği bakımından sehimi belirleyen deformasyon ölçerler yerlerinden alınmıştır. Daha sonra kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir. $P = 150$ kN'a ulaştığında, deney numunesi ek bir yük taşıyamadığı görülmüştür.

Deney sonunda, kompozit kirişin tam orta noktasında yükün uygulandığı ekseninde hazır betonarme plakta eğilme çatlaklarının oluştuğu tespit edilmiştir. Kırılma anında kayma elemanları ve hazır betonarme plak arasında kullanılan kaynak bağlantılarında herhangi bir kopma görülmemiştir. Hazır betonarme plak ile çelik levhalar arasında bağlayıcılık özelliği olan epoksi reçinesinde kopmanın oluşmadığı, çelik levhaların beton plakla aynı sehimi gerçekleştirerek hiçbir noktada ayrılmanın oluşmadığı gözlenmiştir. Kompozit kirişin mesnetlere yakın bölgelerinde kesme çatlaklarının oluşmadığı ve çelik profil ile beton plakta aynı sehimlerin meydana geldiği gözlenmiştir.

b) Deney Numuneleri (DN2 ve DN4 Kirişleri)

DN2 ve DN4 kirişleri hazır betonarme plak içerisindeki 6 adet U 80 profiline ve $L = 300$ cm uzunluğundaki INP 120 profiline $a = 4$ mm kaynak kalınlığında ve $L = 20$ cm kaynak boyunda olan çift taraflı köşe kaynak dikişleri ile 6 adet kayma bağlantısı oluşturularak şekilde birleştirilmiştir. Daha sonra hazır betonarme plak alt yüzeyine 5 cm aralıklı olacak şekilde 8 adet $L = 300$ cm uzunluğundaki çelik plaka elemanları yapıştırılmıştır.

DN2 Kirişi:

Hazırlanan bu kiriş 5 ton kapasiteli forklift marifetiyle deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Daha sonra statik karakterli yük uygulanmaya başlanmış ve her 2 kN' luk yük kademesindeki sehimi değeri deformasyon ölçerler tarafından okunmuştur.

122 kN ' dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice arttığından, alet güvenliği bakımından sehimi belirleyen deformasyon ölçerler yerlerinden alınmıştır. Daha sonra kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir. $P = 188$ kN' a ulaştığında, deney numunesi ek bir yük taşıyamadığı görülmüştür.

Deney sonunda, kompozit kirişin tam orta noktasında yükün uygulandığı ekseninde dahi hazır betonarme plakta eğilme çatlaklarının oluşmadığı tespit edilmiştir. Kırılma anında kayma elemanları ve hazır betonarme plak arasında kullanılan kaynak bağlantılarında herhangi bir kopma görülmemiştir. Hazır betonarme plak ile çelik levhalar arasında bağlayıcılık özelliği olan epoksi reçinesinde akmaların oluşmadığı, çelik levhaların beton plakla aynı sehimi gerçekleştirerek hiçbir noktada ayrılmanın oluşmadığı gözlenmiştir. Kompozit kirişin mesnetlere yakın bölgelerinde kesme çatlaklarının oluşmadığı ve çelik profil ile beton plakta aynı sehimlerin meydana geldiği gözlenmiştir.

DN4 kirişi:

Hazırlanan bu kiriş 5 ton kapasiteli forklift marifetiyle deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Daha sonra statik karakterli yük uygulanmaya başlanmış ve her 2 kN 'luk yük kademesindeki sehimi değeri deformasyon ölçerler tarafından okunmuştur.

122 kN' dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice arttığından, alet güvenliği bakımından sehimi belirleyen deformasyon ölçerler yerlerinden

alınmıştır. Daha sonra kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir. $P = 192$ kN'a ulaştığında, deney numunesi ek bir yük taşıyamadığı görülmüştür.

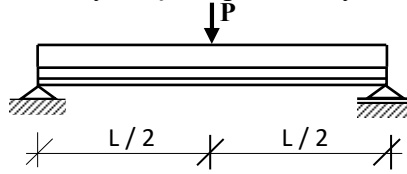
Deney sonunda, kompozit kirişin tam orta noktasında yükün uygulandığı ekseninde dahi hazır betonarme plakta eğilme çatlaklarının oluşmadığı tespit edilmiştir. Kırılma anında kayma elemanları ve hazır betonarme plak arasında kullanılan kaynak bağlantılarında herhangi bir kopma görülmemiştir. Hazır betonarme plak ile çelik levhalar arasında bağlayıcılık özelliği olan epoksi reçinesinde akmaların oluşmadığı, çelik levhaların beton plakla aynı sehimi gerçekleştirerek hiçbir noktada ayrılmanın oluşmadığı gözlenmiştir. Kompozit kirişin mesnetlere yakın bölgelerinde kesme çatlaklarının oluşmadığı ve çelik profil ile beton plakta aynı sehimlerin meydana geldiği gözlenmiştir.

6. Deney Düzeni

Deneyler, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirilmesi için HI-TECH MAGNUS marka deney makinesi kullanılmıştır. Bu makine hidrolik pres ile donatılmış ve 200 kN basınç yükü verebilme kapasitesine sahiptir.

Kirişler buldukları yerlerden, 30 kN kapasiteli forklift tarafından kaldırılarak deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deney düzeneğine yerleştirilen kirişler, hidrolik pres ile donatılmış ve 200 kN basınç yükü verebilme kapasitesine sahip makine ile yüklenmeye başlanmıştır. Kirişte kırılma anına kadar ve kırılmadan sonraki davranışlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çelik levhalarla takviye edilmiş ve kaynakla birleştirilmiş kompozit kirişlerin negatif moment bölgesindeki davranışlarını incelemek için söz konusu kompozit kirişlerde negatif moment etkisini vermek üzere hazır betonarme plak altta, çelik profil üstte kalacak şekilde ve mafsallı mesnetli olarak deney çerçevesine yerleştirilip P tekil yükü ile yüklenmiştir. Bu da, Şekil 6.2' de verilmiştir.



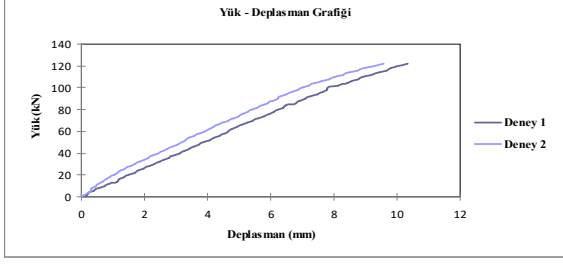
Şekil 6.1. Kirişlerin Yüklenmesi ve Taşıyıcı Sistem Şeması

7. Deneylerde Yapılan Ölçümlerin Tanımı

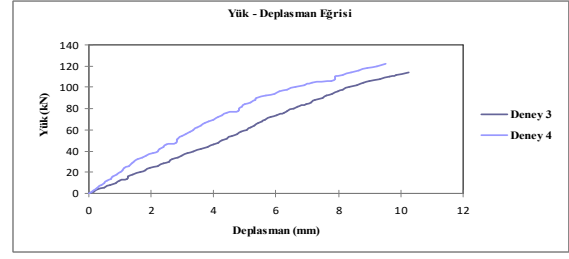
Deneylerde deney numunelerinin kırılma anında taşıyacakları yükler yanında her 2 kN' luk yük kademelerinde açıklık ortasındaki düşey deplasmanlar da ölçülmüştür. Kiriş ortasının yük altında yapmış olduğu çökme (sehim) miktarları deformasyon ölçerler yardımıyla ölçülmüş olup bunların deney düzenindeki konumları kiriş Ortası olarak verilmektedir. Kuvvet altında şekil değiştirmeler hızla arttığı andan itibaren, alet güvenliği açısından sehimi belirleyen deformasyon ölçerler yerlerinden alınmıştır.

7. Sonuçlar ve Genel Değerlendirme

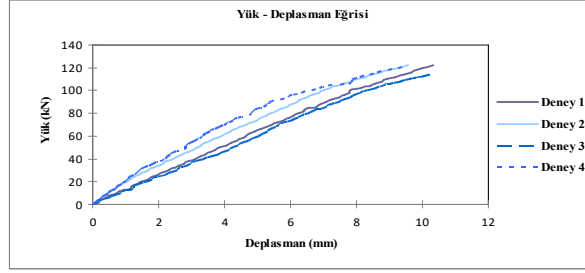
Deneyisel çalışmada kullanılan hazır betonarme plaklı kompozit kirişlerin kesitleri, deney sonuçları ve teorik taşıma yükleri (P_t) (Tablo 7.1.)' de verilmiştir.



Şekil 7.1. Yük - Deformasyon Eğrileri



Şekil 7.2. Yük – Deplasman Eğrileri



Şekil 7.3. Yük – Deplasman Eğrileri

Tablo 7.1. Deneysel Kirişleri Kesitleri ve Deneysel Sonuçları

Kiriş No	Beton Boyutu (cm)	Çelik Profil	Çelik Levha (5.50.3000)	Kayma Bağlantı Sayısı	Deneysel Taşıma Yüğü (kN)	Teorik Taşıma Yüğü (kN)
DN1	300.80.10	I 120	6 adet	6 adet	150	149
DN2	300.80.10	I 120	6adet	6 adet	153	149
DN3	300.80.10	I 120	8 adet	6 adet	188	179
DN4	300.80.10	I 120	8 adet	6 adet	192	179
DN5	300.80.10	I 120	0	0	62	62

Yapılan bu deneysel çalışma sonucu çelik levha takviyeli kompozit kirişlerin negatif momentler bölgesindeki taşıma güçlerinin, genelde herhangi bir deneysel araştırmaya dayanmadan önerilmiş bulunan mevcut teorik hesap yöntemleriyle bulunabileceği görülmektedir. Deneysel taşıma yüklerinin teorik taşıma yüklerinden çok fazla miktarda fazla çıkması bağıntılarda kullanılan α_a katsayısının 1'e eşit alınabileceğini de göstermektedir.

Benzer şekilde yapılmış olan Işık E. , Epoksi ile Yapıştırılan ve Karbodür Elemanlarıyla takviye Edilmiş Kompozit Kirişlerin Negatif Moment Bölgesindeki Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , (1999). Çalışmasında kullanılan karbodür elemanlar da beton plağa epoksiyle yapıştırılmış ancak deney sonunda karbodür elemanlar BS25 kalitesindeki beton plaktan epoksi reçinelerinin kopması suretiyle ayrılmıştır. Bu deneysel çalışmada kullanılan beton kalitesinin BS35 olması ve epoksi reçinelerinde herhangi bir kopmanın görülmemiş olması beton kalitesinin ve uygulamadaki işçiliğin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Deneysel sonunda yapılan hesaplamalarda çekme bölgesinde kullanılan çelik levhaların bu kesit için taşıma gücünü % 250 oranında arttırdığı yapılan araştırmada görülmektedir. DN2 ve DN4 numunelerinde DN1 ve DN3 numunelerinde kullanılanlardan 5 cm² (% 33) daha fazla çelik levha kullanılması taşıma gücünü 153 kN'dan 190 kN'a çıkarmış taşıma gücünde % 25 oranında bir artış sağlamıştır.

Her kompozit kiriş için uygulanan statik karakterli yükün artışına göre elde edilen değerler incelendiğinde deney esnasında numunelerde deplasmanlar orantılı olarak artmakta ve benzer

kesitli numunelerin benzer deplasmanları göstermiş olması deneyin sağlıklı şartlarda yapılmış olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] ÇETİN, Ö., “Çelik Levhalarla Takviye Edilmiş Hazır Betonarme Plaklı Kirişlerin Negatif Moment Bölgesindeki Yapısal Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
- [2] BOUAZAOUIA, L., PERRENOT, G., DELMAS, Y., LI, A. “Static Behaviour of a Full-Scale Steel–Concrete Beam with Epoxy-Bonding Connection”, Engineering Structures, Vol.30, pp. 1981-1990, 2008.
- [3] BOUAZAOUIA, L., JURKIEWIEZ, B., DELMAS, Y., LI, A. “ Experimental Study of Bonded Steel Concrete Composite Structures”, Journal of Constructional Steel Researach, Vol.63, pp. 1268-1278, 2007.
- [4] LARBI, A.S., FERRIER, E., JURKIEWIEZ, B., HAMELIN, P. “Static Behaviour of Steel Concrete Beam Connected by Bonding”, Engineering Structures, Vol.29, pp. 1034-1042, 2007.
- [5] FABBROCINO, G., MANFREDI, G., COSENZA, E. “Modelling of Continuous Steel–Concrete Composite Beams: Computational Aspects”, Computers & Structures, Vol.80, pp.2241-2251, 2002.
- [6] OEHLERS, J.D., SVED, G., “Composite Beams With Limited Slip Capacity Shear Connectors”, Journal of Structural Engineering , Vol 121, pp.932-938, 1995.
- [7] COLOTTI, V., SPADEA, G., ” Shear Strength of RC Beams Strengthened with Bonded Steel or FRP Plates”, Journal of Structural Engineering, Vol.127, pp. 367-373, 2001.
- [8] YELGİN, A.N., KASAP, H., ÖZYURT, M.Z., “Strengthening of Reinforced Concrete Slabs by Thin Steel Plates Glued with Epoxy”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, s.25-34, 1999. .
- [9] ARDA, T.S., YARDIMCI, N., “Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı”, İstanbul, 1991.
- [10] GAETANO, M., GIOVANNİ, F., EDOARDO, C., “Modeling of Steel Concrete Composite Beams Under Negative Bending” , Journal of Structural Engineering, Vol 125, pp. 554-560,1999.
- [11] GİLBERT, I., BRADFORD, M.A., “Time Dependent Behaviour of Continous Composite Beams at Service Loads”, Journal of Structural Engineering, Vol.121, pp. 319-327, 1995.
- [12] HAMADA, S., LONGWORTH, J., “Ultimate Strength of Continous Composite Beams”, Journal of Structural Division , pp. 445-459, July 1976.
- [13] IŞIK, E., “Epoksi ile Yapıştırılan ve Karbodur Elemanlarıyla takviye Edilmiş Kompozit Kirişlerin Negatif Moment Bölgesindeki Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, 1999.
- [14] JOHNSON, R.P., “Research on Steel-Concrete Composite Beams”, Journal of Structural Division , Proc., pp. 445-459, March 1970.
- [15] LEONHADTH, F., ANDREA, W., SAUL, R., HARRE, W., “Zur Bemessung Durchlaufender Verbundtraegger Bei Dynamischer Belastung”, Bauingenieur 62, pp.311-324 , 1987.
- [16] YELGİN, A.N., YELGİN, H., “Eğilme Çubuklarının Epoksi ile Yapıştırılmış Bindirme Levhalı Eklerinin Yapısal Davranışı”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt2, Sayı 2 , s. 171–180, 1998.
- [17] YELGİN, A.N., KASAP, H., ÖZYURT, M.Z., “Negatif Moment Bölgesinde Hazır Betonarme Plaklı Kompozit Kirişlerin Yapısal Davranışı”, 9.Prefabrikasyon Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.137-150, 1998.
- [18] TSE, “TS 4561 Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları”, Ankara, Ekim, 1985.
- [19] Eurocode No.4., “Design of Composite Steel and Concrete Structures”, Part 1.1: General Rules and Rules for Building, March, 1992.