

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EPOKSİ İLE YAPIŞTIRILAN VE KARBODUR ELEMANLARI İLE
TAKVİYE EDİLMİŞ KOMPOZİT KİRİŞLERİN NEGATİF MOMENT
BÖLGESİNDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Ercan IŞIK

90948

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

KASIM 1999

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

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EPOKSİ İLE YAPIŞTIRILAN VE KARBODUR ELEMANLARI İLE
TAKVİYE EDİLMİŞ KOMPOZİT KİRİŞLERİN NEGATİF MOMENT
BÖLGESİNDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Ercan IŞIK

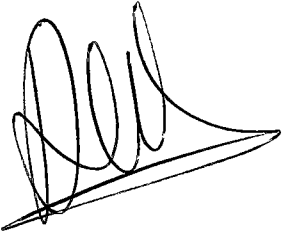
**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

Bu tez 23.10.99 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi



TEŞEKKÜR

Çalışmayı titizlikle yöneten, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim kıymetli hocam ve tez yöneticim; sayın Doç. Dr. Ahmet Necati YELGİN beyefendiye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deney sırasında her türlü yardımı esirgemeyen; Remzi CESURCAN beyefendiye, Levent ÜNAL'a ve çok değerli arkadaşım Rahmi ÇETİN ve Şuayb SÖZBİLİCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerde kullanılan malzemelerin temin edildiği Sika- Deteks firmasına da katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ercan IŞIK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1 . Konunun Tanımı.....	1
1.2 . Çalışmanın Amacı.....	2
1.3 . Konu Üzerine Yapılan Çalışmalara Toplu Bakış.....	3
1.4 . Konuya İlişkin Şartname Değerleri.....	6
1.4.1. Çelik Profiller.....	6
1.4.2. Beton.....	6
1.4.3. Kesme Kuvveti – Eğilme Momenti Arasındaki İlişki.....	6
1.4.4. Kompozit Kirişte Beton ve Çelik Profilin Birlikte Çalışmasını Sağlayan Kayma ve Ayrılma Bağlantıları.....	7
BÖLÜM 2 . DENEYLERİN TANIMI.....	10
2.1 . Epruvetlerin İmalinde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri.....	10
2.1.1 . Çelik I Profiller.....	10
2.1.2 . Çelik U Profiller ve Çelik Levhalar.....	10
2.1.3 . Beton.....	11
2.1.4 . Epoksi Reçinesi.....	11
2.1.5 . Karbodur Elemanlar.....	17
2.2 . Deney Kirişlerinin Hazırlanması.....	22
2.3 . Deney Düzeni.....	23
2.4 . Deneylerde Yapılan Ölçümlerin Tanımı.....	24
BÖLÜM 3. DENEYLERİN YAPILIŞI VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	25
3.1 . 1.Kiriş.....	25
3.2 . 2.Kiriş.....	27
3.3 . 3.Kiriş.....	29
3.4 . 4.Kiriş.....	31
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	34
BÖLÜM 5. ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR.....	40
EK A DENEY ESNASINDA ÇEKİLMİŞ FOTOĞRAFLAR.....	41
EK B DENEYE TABİ TUTULAN KİRİŞ BOYUTLARI.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

f_d	Deneysel sehim (çökme) değeri
F_a	Çelik profil enkesit alanı
F_a'	Betonarme plak mesnet donatısı alanı
h'	Paspayı
h_g	Çelik profil gövde yüksekliği
h_t	Enkesit toplam yüksekliği
h_{ao}	Çelik profili iki eşit alana bölen eksenin üstündeki çelik yüksekliği
h_{au}	Çelik profili iki eşit alana bölen eksenin altındaki çelik yüksekliği
H	Kayma bölgesindeki kayma kuvveti
H_{lu}	Bir kayma elemanın aldığı kayma mukavemeti
m	Kayma bölgesine konulması gereken kayma bağlantı sayısı
M_u	Enkesitin plastikleşme momenti
M_{pa}	Çelik profilin plastik olarak taşıyabileceği moment
$S_{x \text{ alt}}$	Çelik profil enkesitinde tarafsız eksenin altında kalan kısmın statik momenti
$S_{x \text{ üst}}$	Çelik profil enkesitinde tarafsız eksenin üstünde kalan kısmın statik momenti
t_g	Çelik profil gövde kalınlığı
T	Kesite tesir eden ağırlıklı yüke göre hesaplanmış kesme kuvveti
T_{pl}	Kesitin plastik kesme taşıma yükü
y	Tarafsız eksenin yeri
y'	$h_t - (h_{au} + h')$ 'e eşit yükseklik
y''	$Z' / (2 t_g \alpha_a \sigma_F)$ 'e eşit yükseklik
Z	Çelik profil tarafından aktarılabilecek çekme kuvveti
Z'	Betonarme mesnet donatısı tarafından aktarılabilecek çekme kuvveti
W_{pa}	Çelik profil plastikleşme mukavemet momenti
α_a	Çelik için güvenlik katsayısı
α_a'	Çelik için güvenlik katsayısı
α_k	Kayma emniyet katsayısı

σ_F	Çelik profil akma gerilmesi
σ_F'	Betonarme mesnet donatısı çeliği akma gerilmesi
ΔM_1	Mesnet donatısının yüzey ortalayıcısına göre katkısı
ΔM_2	Eksen farkı dengeleme momenti



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Hazır Betonarme Plaklı Kompozit Kiriş	3
Şekil 1.2. Negatif Moment Bölgesinde Çalışma.....	5
Şekil 2.1. Kirişlerin Yük ve Statik Durumu.....	24
Şekil 2.2. Komparametrenin Kirişlerdeki Yeri.....	24
Şekil 3.1. EPR 1 Kirişinin Deneydeki Durumu.....	25
Şekil 3.2. EPR 2 Kirişinin Deneydeki Durumu.....	27
Şekil 3.3. EPR 3 Kirişinin Deneydeki Durumu.....	29
Şekil 3.4. EPR 4 Kirişinin Deneydeki Durumu.....	32
Şekil A.1. EPR 1 Kirişinin Deney Düzenine Yerleştirilmesi.....	41
Şekil A.2. EPR 2 Kirişinin Deney Düzenine Yerleştirilmesi.....	41
Şekil A.3. EPR 3 Kirişinin Deney Düzenine Yerleştirilmesi.....	42
Şekil A.4. EPR 4 Kirişinin Deney Düzenine Yerleştirilmesi.....	42
Şekil A.5. Komparametrenin Deney Düzenine Yerleştirilmesi.....	43
Şekil A.6. EPR 3 Kirişine Yük Uygulanmasına Başlanması.....	43
Şekil A.7. EPR 4 Kirişine Yük Uygulanmasına Başlanması.....	44
Şekil A.8. Karbodur Elemanlarının Kirişteki Durumu.....	44
Şekil A.9. Karbodur Elemanlarının Kirişteki Durumu.....	45
Şekil A.10. EPR 2 Kirişine Yük Uygulanması.....	45
Şekil A.11. Karbodur Elemanlarının Betonarme Plaktan Ayrılması.....	46
Şekil A.12. Karbodur Elemanlarının Betonarme Plaktan Ayrılması.....	46
Şekil A.13. Karbodur Elemanlarının Plaktan Ayrıldıktan Sonraki Görünümleri.....	47
Şekil A.14. Betonarme Plakın Karbodur Elemanlar Ayrıldıktan Sonraki Görünümü.....	47
Şekil B.1. Deneylerde Kullanılan Eprüvet Boyutları.....	48
Şekil B.2. Kayma Bağlantı Elemanları Detayları.....	49

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Epoksi Reçinelerinin Sıcaklığa Bağlı Olarak Kullanım Zamanları.....	15
Tablo 2.2. Sika Carbodur Şeritlerinin Malzeme Özellikleri.....	21
Tablo 2.3. Sika Carbodur S için Ürün Çeşitleri.....	21
Tablo 2.4. Çelik Levhalarla ve Karbodur Elemanlarla Yapılacak Güçlendirmenin Karşılaştırılması.....	22
Tablo 3.1. EPR 1 Kirişine ait f_d deneysel sehim değerleri.....	26
Tablo 3.2. EPR 2 Kirişine ait f_d deneysel sehim değerleri.....	28
Tablo 3.3. EPR 3 Kirişine ait f_d deneysel sehim değerleri.....	30
Tablo 3.4. EPR 4 Kirişine ait f_d deneysel sehim değerleri.....	32
Tablo 4.1. Deney Kirişleri Kesitleri ve Deney Sonuçları.....	34



ÖZET

EPOKSİ İLE YAPIŞTIRILAN VE KARBODUR ELEMANLARI İLE TAKVİYE EDİLMİŞ KOMPOZİT KİRİŞLERİN NEGATİF MOMENT BÖLGESİNDEKİ TAŞIMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Anahtar kelimeler: Kompozit kiriş, negatif moment, epoksi reçinesi, karbodur elemanlar

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

Bu çalışmada ele alınan kiriş , 3000x800x100 mm boyutlarındaki hazır bir betonarme plak üstünde çelik profilden (I120 profili) oluşmaktadır. Kompozit kiriş hazırlanırken betonarme hazır plağın çelik profil ile bağlantısını sağlamak üzere epoksi reçinesi kullanılmaktadır. Hazır betonarme plak içerisine betonun karşılayamadığı çekme kuvvetlerini karşılamak üzere hesaplanmış çekme donatıları konulmaktadır. Ayrıca negatif moment bölgesinde kompozit kirişin taşıma gücünü arttıracak boyut ve aralıkları değişen karbodur elemanlar kullanılmaktadır. Kompozit kiriş hazırlanırken kullanılan beton, çelik profil, epoksi reçinesi ve karbodur elemanlarının karakteristik değerleri hakkında detaylı bilgiler verilmektedir.

Yapılan bu deneysel çalışma ile epoksi ile yapııştırılan kompozit kirişlerin negatif moment bölgelerinde karbodur elemanlarının kullanılıp kullanılmaması durumlarında elde edilen değerler teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmaktadır. İnşaat sektöründe yeni birer güçlendirme malzemesi olan karbodur elemanlar ve epoksi reçineleri hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmakta ve karbodur elemanlarının aralık ve boyutlarının değişiminin ve epoksi reçinelerinin kompozit kirişin negatif moment bölgesindeki taşıma davranışlarını nasıl etkilediği konusunda bilgi edinilmesi sağlanmakta ve öneriler yapılmaktadır.

SUMMARY

AN INVESTIGATION ON THE BEHAVIOR OF COMPOSITE BEAMS IN NEGATIVE BENDING MOMENT ZONE WHICH WAS STRENGTHENED WITH CFRP STRIPS AND BONDING WITH EPOXY

Key words : Composite beams, negative bending, epoxy resin, carbodur strips

In the state of reinforced concrete slab's and steel profiles working together in negative bending moment zone of composite beam, how the changing size and clearance of lapped joints which were made by Sika Carbodur Strips (Carbon Fibre Reinforced Polymer Strips - CFRP), affects the bearing capacity and behaviour of composite beam is being investigated and how it prevent or doesn't prevent the separation of concrete slab from steel profile, as a result of deformation under negative bending in composite beam is being investigated.

In this experimental study, the beam consists of a ready-mixed reinforced concrete slab which has 3000x800x100 mm size and steel profile (I 120 profile) on the reinforced concrete slab. When the composite beam is prepared an epoxy resin is used to supply the connection between ready-mixed reinforced slab and steel profile. Calculated steel bars put in to the ready-mixed reinforced concrete slab in order to prevent the tensile which cannot be prevented by the concrete. Additionally, in negative bending moment zone, the CFRP strips (Sika Carbodur) whose size and clearance differ and which increase the bearing capacity of composite beam, are used. Detailed information are given about characteristic values of concrete, steel profile, epoxy resin and CFRP strips which is used when the composite beam is prepared.

As a result of this experimental study, theoretical and experimental results are being compared, in situations of the CFRP strips being used or not being used in negative bending moment zone of composite beams which were bonded with epoxy. The purposes of experimental research are first to be informed about CFRP strips and epoxy resin that each was a new strengthening material in building trade and secondly to be informed about behaviour of composite beams in negative bending moment zone according to changing size and clearance of CFRP strips and epoxy resins and suggestions are made.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanımı

Betonarme döşeme plakları ile çelik kirişlerin ortak çalıştırılması ile ortaya çıkan karma kirişler (kompozit kirişler), üzerine serbestçe oturan bir betonarme plağı yalnız başlarına taşımaya çalışan çelik kirişlere göre daha ekonomiktirler. Çünkü kompozit bir kirişte eğilmeden ileri gelen kuvvet çiftinin çekme bileşeni çelik profil tarafından, basınç bileşeni ise yalnızca betonarme plak ile veya betonarme plak, ve çelik profilin bir bölümü tarafından ortak olarak taşınmaktadır. Dolayısıyla çelik profilin çelik profilin 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 iyi bir etken oluşturmaktadır. Yani betonarme tablalı kirişlere benzetilmesi de mümkün olan kompozit kirişler aynı taşıma gücüne sahip çelik kirişlerle mukayese edilirse çelik kirişin aynı konstriksiyon yüksekliği şartı altında çok ağır , bu şart yok ise çok yüksek çıkacağı açıktır. Ayrıca kompozit sistemler sırf çelikten üretilmiş taşıyıcı sistemlere göre daha az çelik tükettiklerinden dolayı önemli bir ekonomi sağlanmaktadır.

Çelik-betonarme kompozit yapı elemanlarında doğrudan çelik kullanılmasına göre sağlanabilen en büyük ekonomi kirişlerde karşımıza çıkar. Bu ekonominin mertebesi pozitif moment ağırlıklı sistemlerde %50'ye yaklaşmaktadır. Kiriş boyunca negatif moment bölgelerinin de bulunması durumunda, bir başka deyişle sürekli kiriş

durumunda kullanılmalarında genelde çelik profilin üstünde bulunan betonarme tablanın kompozit çalışmaya fazla bir katkı sağlamadığı açıktır. Kompozit kirişlerin negatif momentler bölgesindeki hesabı için iki görüş mevcuttur :

a) Birinci görüşte negatif moment bölgesinde kompozit çalışmadan kaçınılır ve bu bölgedeki bütün moment, gerekirse üst başlığı takviye edilen çelik enkesitlere taşıtılır. Bu ele alış negatif momentler bölgesinde karma çalışmayı reddeden ve yalnız çelik enkesiti göz önüne alan bir yaklaşımdır. Pratiğin teoriye uyabilmesi için yani karma çalışmayı önleyebilmek için betonlama sırasında çelik enkesit başlığı hafifçe ziftlenebilir.

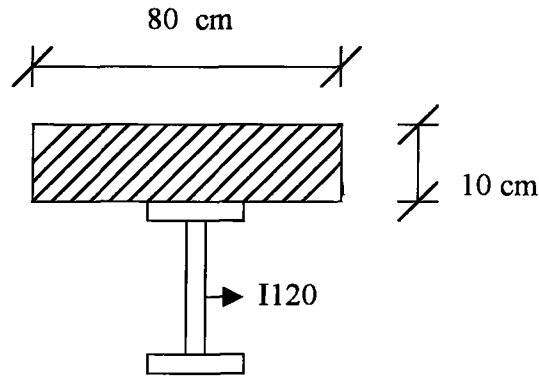
b) İkinci görüşte karma enkesit hesabı negatif moment bölgesinde de sürdürülür. Bu bölgede üstteki betonarme plak içerisine kirişin boyuna doğrultusunda uzanan mesnet donatıları konur ve betonarme plağın yalnız bu donatılarla çalışmaya katıldığı kabul edilir. Bu şekildeki ele alışta karma çalışma etkisi yine önemli bir ekonomi sağlayabilmektedir. Ancak betonun basınç mukavemeti kullanılmamaktadır.

Yukarıda açıklanan iki görüşten karma çalışmayı negatif momentler bölgesinde de göz önüne alan ikinci görüş, günümüzde köprüler dışında daha çok rağbet görmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu deneysel çalışmanın amacı, negatif moment bölgesinde hazır betonarme plak ve çelik profilin birlikte çalışması konusunda ve karbodur elemanlar ile yapılan bindirme eklerinin boyut ve aralıklarının değişiminin taşıma davranışını nasıl etkilediği ve kompozit kirişin yük altında şekil değiştirmesi sonucu beton plağın çelik profilden ayrılıp kalkmasını ne ölçüde önleyip önlenmediğinin araştırılmasıdır.

Bu amaçla, Şekil1-1'deki hazır betonarme plak (80 x 300 x 10 cm) ve I profilinden (I 120) oluşan karma kiriş (kompozit kiriş) deneye tabi tutulmaktadır.



Şekil 1.1. Hazır betonarme plaklı kompozit kiriş

Ayrıca bu deneysel çalışmanın diğer bir amacı ise kompozit kirişin negatif moment bölgesindeki taşıma gücünü arttırıcı karbodur elemanları ve çelik profil ile betonarme plak arasında bağlantıyı sağlayacak olan epoksi reçinelerinin karakteristik değerlerinin saptanması ve inşaat sektöründe yeni birer güçlendirme malzemesi olan karbodur elemanları ve epoksi reçineleri hakkında detaylı bilgilere sahip olabilmektir.

Karbodur elemanlar ve epoksi reçinelerinin kompozit kirişin negatif moment bölgesindeki taşıma gücünün ve taşıma davranışının nasıl etkilendiğinin araştırılmasıdır.

1.3. Konu Üzerine Yapılan Çalışmalara Toplu Bakış

Konu ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Genelde yapılan çalışmalar teorik ağırlıklı olmaktadır. Epoksi reçinesi ve karbodur elemanlarının kullanılmaları durumunda kompozit kirişlerin negatif momentler bölgesindeki davranışlarını inceleyen teorik ve deneysel çalışmalar incelenirken; takviye edilmiş veya takviye edilmemiş kompozit kirişlerin negatif moment bölgesindeki taşıma davranışlarını inceleyen kaynaklar incelenecektir.

R.Ian Gilbert ve Mark Andrew Bradford'un yapmış oldukları çalışmada [1], servis yükleri altındaki sürekli kompozit kirişlerin davranışlarını inceleyen analitik bir model tanımlanmıştır. Her kiriş kompozit davranış gösteren I profili ve üzerinde

betonarme plak bulunan kesitlerden oluşmaktadır. Bu örneklerde negatif moment bölgesindeki betonarme plakta meydana gelen çatlamlar analitik olarak tarif edilmiştir. Yük altında kompozit kirişin zamana bağlı davranışları incelenmiş ve yapılan bu deneylerle analitik ve deneysel sonuçların birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

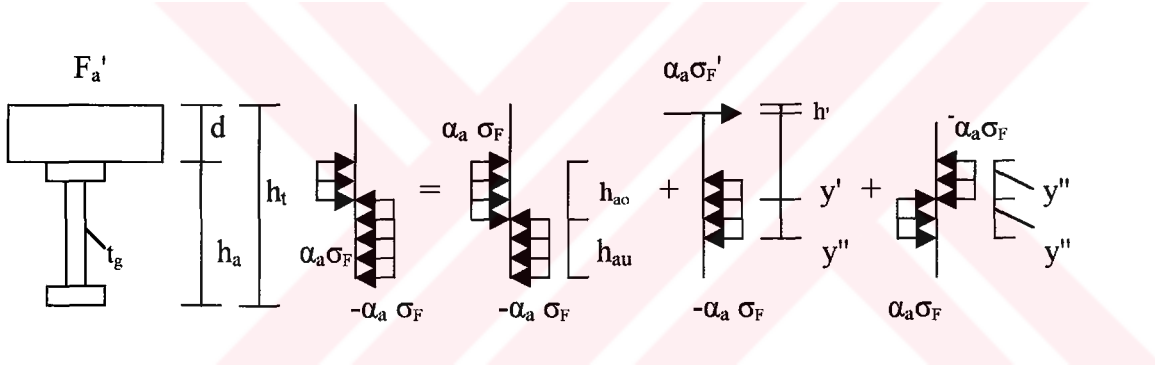
Deric John Oelers ve George Sved makalelerinde [2], çelik- betonarme kompozit kirişlerdeki kayma bağlantılarının duktilitesi ve karma kirişlerin eğilme davranışları incelenmiştir. Kayma bağlantı elemanlarının tasarlanması ve bu elemanlardaki maksimum ve minimum kuvvetlerin tespiti ve limit durumlardaki davranışlarının inceleyen yöntemi geliştirmişlerdir ve bu yöntemin her şekildeki kompozit kiriş kesitlerine, her açıklığa, farklı yükleme durumlarında uygulanabilirliğini ortaya koymuşlardır.

Ahmet Necati Yelgin ve Hüseyin Yelgin tarafından yapılan deneysel çalışmada [3], eğilme çubuklarının epoksi ile yapıştırılmış bindirme levhali eklerinin yapısal davranışı incelenmiştir. Birleşimdeki levha boyutları değiştirilerek deneyler tekrarlanıp, böylelikle bağlantı bindirme elemanlarının taşıma yükleri ve taşıma davranışları araştırılmıştır. Ayrıca bu tür birleşimlerle ilgili öneriler yapılmıştır.

Türkiye’de İ.T.Ü.’den Prof.Dr. Tevfik Seno Arda ve SAÜ’den Yrd.Doç.Dr. Nermin Mengene tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada [4], beş farklı beton, dört değişik mesnet donatısı, 5m ve 3m gibi birbirinden oldukça farklı iki tip açıklık, üç değişik boyutta çelik profil, kolon parçalı ve kolon parçasız olan kompozit kirişlerin; taşıyabileceği maksimum yük kapasiteleri, yapısal deformasyonlar ve taşıma davranışları konusunda geniş test verileri sunulmuştur. Ayrıca kullanılan betonun ve çelik profilin karakteristik değerleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Elde edilen deneysel değerlerle teorik olarak çeşitli yöntemlerle hesaplanan değerler karşılaştırılmış ve kullanma sınır durumları açısından bu yöntemlerin yaklaşıklık dereceleri saptanmış ve deneylerle elde edilen sonuçlar da grafiklerle değerlendirilmiştir.

Ahmet Necati Yelgin, Hüseyin Kasap ve Zeki Özyurt tarafından Sakarya Üniversitesi, Yapı Laboratuvarında yapılan deneysel çalışmada [5], bir dizi deney ile negatif moment bölgesinde hazır betonarme plaklı kompozit kirişlerin yapısal davranışları incelenmiş ve bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların teorik hesaplamalar sonucu elde edilen değerlerle uyum sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca hazır betonarme plak ve çelik profilin birlikte çalışması durumunda ara bağlantı elemanlarının aralık ve boyutlarının değişiminin taşıma gücünü nasıl etkilediği araştırılmış ve öneriler yapılmıştır.

Prof.Dr. Tefvik Seno Arda, Yrd.Doç.Dr. Nesrin Yardımcı eserlerinde [6], kompozit kirişlerin negatif momentler bölgesindeki taşıma gücünü aşağıdaki bağıntılarla ifade etmişlerdir ;



Şekil 1-2 : Negatif momentler bölgesinde çalışma

$$W_{pa} = \int |y| dF_a = S_{x,üst} + S_{x,alt} \quad (1.1)$$

$$M_{pa} = \alpha_a \cdot \sigma_F \cdot W_{pa} \quad (1.2)$$

$$Z' = \alpha_a \cdot \sigma_F \cdot F_a' \quad (1.3)$$

$$y' = h_t - (h_{au} + h') \quad (1.4)$$

$$\Delta M_I = Z' \cdot y' \quad (1.5)$$

$$y'' = Z' / (2 \cdot t_g \cdot \alpha_a \cdot \sigma_F) \quad (1.6)$$

$$\Delta M_2 = \alpha_a \cdot \sigma_F \cdot t_g \cdot y^2 \quad (1.7)$$

$$|-M_u| = M_{pa} + \Delta M_1 - \Delta M_2 \quad (1.8)$$

1.4. Konuya İlişkin Şartname Değerleri

Kompozit kiriş hazırlanırken kullanılan malzeme özellikleri ve deneyler yapılırken negatif momentler bölgesindeki kompozit kirişleri ilgilendiren kuralların şartname ve standartları aşağıda gözden geçirilmiştir.

1.4.1. Çelik Profiller

Türkiye'de kompozit yapı elemanlarına ait bir Türk standardı olmadığından, malzeme kalitesi ve enkesit narinlikleri hakkında TS 648 [7] ve TS 4561 [8] bu konulardaki hükümlerden faydalanılabilir ki Euroced No . 4 [9]' e göre bu böyle ele alınmıştır.

1.4.2. Beton

EC 4 kompozit en kesitlerde kullanılabilecek beton kalitesini 28 günlük karakteristik silindirik mukavemeti olarak 20 ve 50 N/mm² alt ve üst sınır değerleri koyarak sınırlandırmıştır.

1.4.3. Kesme Kuvveti – Eğilme Momenti Arasındaki İlişki

Kompozit kirişlerde hesaplanacak T kesme kuvveti emniyetli tarafta kalacak bir yaklaşımla sadece çelik profil tarafından karşılanacağı kabul edilir. Çelik yapıların plastik analizi hesabında TS 4561 standardına göre,

$$T_{pl}=0,52.\sigma_F.t_g.h_g \quad (1.9)$$

bağıntısıyla kesitin plastik kesme taşıma yükü elde edilir. Kesite tesir eden ağırlıklı yüke göre hesaplanmış T kesme kuvveti her zaman,

$$T \leq 0,3.T_{pl} \quad (1.10)$$

olmak zorundadır. Bu durumda moment değerinde herhangi bir azaltmaya gidilmez. Yani pozitif ve negatif moment taşıma kapasitelerinde bir indirme söz konusu olmamaktadır. Şayet ,

$$T > 0,3.T_{pl} \quad (1.11)$$

olur ise profil gövde kalınlığı t yerine aşağıdaki bağıntı ile azaltılmış olarak hesaplanan t' gövde kalınlığı alınır.

$$t'=t.\sqrt{1-\left(\frac{T}{T_{pl}}\right)^2} \quad (1.12)$$

Söz konusu kesitin taşıyabileceği pozitif veya negatif plastik moment kapasiteleri bu azaltılmış profil gövde kalınlığı dikkate alınarak hesaplanır.

1.4.4. Kompozit Kirişlerde Beton ve Çelik Profilin Birlikte Çalışmasını Sağlayan Kayma ve Ayrılma Bağlantıları

Kompozit kirişlerde kayma bağlantılarının amacı hazır betonarme plak ile çelik profili birbirine bağlamak ve yekpare olarak söz konusu kirişin çalışmasını sağlamaktır. Kompozit kirişlerde yük altında betonarme plak ile çelik profil arasında oluşan kaymaya mani olmak, böylelikle meydana gelen kayma kuvvetlerini emniyetle aktarmaktır. İkinci

görevi ise, kompozit kirişin yük altında yapacağı şekil değiştirmeler sonucu oluşabilecek beton plağın çelik profilden ayrılmasını veya kalkmasını önlemektir.

Bu amaçla kayma kuvvetinin aktarılmasını sağlayacak uygun kayma bağlantılarının boyutlarının ve sayılarının hesapla bulunması gerekmektedir. Kompozit kirişlerde kayma bağlantılarını rijit ve eğilebilen olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Rijit türde, kayma bağlantıları kayma ve kalkmayı önleme gibi iki farklı elemana pay edilmektedir. Kayma kuvveti, dik doğrultudaki yüzeylerde oluşan beton basınç gerilmesi ve kaynaklardaki kesme zorlamalarıyla alınmaktadır. Eğilen kompozit kirişlerde de her iki görev aynı elemanlar tarafından karşılanmaktadır.

Bir kayma elemanının taşıma kapasitesi, deneysel olarak araştırılmalıdır. Bu amaçla itip-çıkarma deneyi çok sıklıkla kayma bağlantıları taşıma kapasiteleri tayininde kullanılan bir deney türüdür.

Moment maksimum noktası ile moment sıfır noktaları arası sınırlandırılacak kayma bölgesine konulması gerekli kayma bağlantı sayısı (Plastik hesaplama dikkate alındığında)

$$m = \frac{H}{\alpha_k H_{lu}} \quad (1.13)$$

olarak hesaplanır. Burada, H söz konusu kayma bölgesindeki kayma kuvveti; α_k yaklaşık 0,85 civarında alınan kayma emniyet katsayısı; H_{lu} bir kayma elemanının aldığı kayma kuvvetidir. H kayma kuvveti, hazır betonarme plağın çekme donatısının taşıyabileceği Z çekme kuvveti ise,

$$Z = \alpha \cdot \sigma_F' \cdot F' \quad (1.14)$$

olarak alınacaktır.

EC 4, kompozit kirişlerin negatif momentler bölgesindeki kayma elemanlarının, beton tablaya konulan boyuna mesnet donatısının çalışma uzunluğuna eşit bir bölgeye yerleştirilmesini ve kayma bağlantı aralıklarının elastik teoriye göre hesaplanmış kayma kuvvetinin fonksiyonu olarak seçilmesini tavsiye etmektedir.



BÖLÜM 2. DENEYLERİN TANIMI

Bu bölümde, eprüvet-kirişlerin imalinde kullanılan malzemelerin özelliklerinin tanıtılması, eprüvetlerin hazırlanışı, birbirine göre farklılıkları ve deney aşamaları verilmektedir.

2.1. Eprüvetlerin İmalinde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Eprüvetlerin imalinde kullanılan çelik I profiller, donatı çeliği, çelik U profiller ve çelik levhalar, beton, epoksi reçinesi ve karbodur elemanlarının özellikleri hakkında bilgiler verilecektir. Yani denenen kirişlerde kullanılan malzemelerin özellikleri tanıtılacaktır.

2.1.1. Çelik I Profiller

Deneylerde kullanılan hadde profil, I 200 kesitine sahiptir. Çelik profil St37 kalitesindedir. Hadde profillerin betonarme hazır plak ile bağlantısını sağlamak üzere epoksi reçinesi kullanılmıştır.

2.1.2. Çelik U Profiller ve Çelik Levhalar

Hazır betonarme plak ile çelik profil arasındaki bağlantıyı sağlayacak, bir yerde dübel görevi yapacak çelik U 80 profili ve çelik levhalardan oluşan bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanı, U 80 profilinin 200mm * 250mm * 5mm boyutlarındaki çelik levhaya dört bir tarafından kaynaklanması ile elde edilmiş olup hazır betonarme plak dökülürken belirli aralıklarla kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Hazır

betonarme plak ile çelik profil bu ara bağlantı elemanlarının kaynaklanmasıyla birleştirilip kompozit kiriş gibi çalışması sağlanmaktadır.

2.1.3 Beton

Deneylerde kullanılan kompozit kirişte tabla olarak hazır betonarme plağın beton kalitesi BS25 kalitesindedir.

2.1.4 Betonarme Çeliği

Betonarme çeliği tabla mesnet donatısı olarak kullanılmıştır. Hazır betonarme plak negatif moment bölgesinde çekme elemanı olarak çalışacağından plak içerisine betonun karşılayamadığı çekme kuvvetlerini almak üzere hesaplanmış çekme donatıları konulmuştur. Kullanılan donatının sınıfı BÇIII çeliğidir. Tüm eprüvetlerde döşeme plak donatısını temsil eden tabla etriyeleri olarak $\phi 8$ ve kayma bağlantı elemanlarında $\phi 14$ 'lük betonarme çubuğu kullanılmıştır.

2.1.5 Yapıştırıcı Olarak Kullanılan Epoksi Reçineleri (Sikadur 30)

Çelik konstrüksiyonlarda önemli problem kiriş ve kolon eklerinin hesaplarının doğru ve imalatının iyi yapılması gerekmektedir. Çoğu zaman bu tür ekler bazen perçin ve bulonlu, bazen de kaynaklı olarak yapılmaktadır. Çelik konstrüksiyonlarda genelde kaynaklı birleşimler çok sıklıkla kullanılmaktadır. Kaynaklama işleminin kalifiye işçilik ve kaynaklama sonrasında ışınlı kontrolü yapılması gerektiğinden hem maliyeti arttırmakta ve hem de inşaat süresini uzatmaktadır.

Bu nedenle 20. yüzyıl sonlarında ülkemizde de araştırılmasına başlanan epoksi reçineleri, günümüzde giderek yaygınlaşan bir birleşim malzemesidir.

Epoksi reçinelerinin araştırılmasına Amerika ve Avrupa  lkelerinde bu yüzyılın ilk yarısında başlanmış ve kısa sürede kaplama, tamir ve birleşim malzemesi olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

Son yıllarda yapıştırma ile yapılan birleşimlerin gerilme analizi üzerine çok sayıda teorik ve deneysel çalışma yapılmaktadır. Bu  alışmalar, daha çok tek ve çift levha bindirmeli yapıştırma bağlantısının eksenel kuvvet ve/veya eğilme momenti etkisi altında gerilme analizi üzerinde yoğunlaşan kapalı ve nümerik çözümlerdir.

Epoksi reçineler, uygulamalarındaki kolaylıklar ve yüksek mekanik özelliklerden dolayı çok kullanışlı bağlama malzemesidir. Epoksiler, göstermiş olduğu yüksek adezyon, sertleşirken az büzülmesi, büyük sıcaklık değişmelerinde çabuk sertleşebilmesi, uygulandıktan kısa bir süre sonunda hizmet verebilmeleri gibi önemli avantajlara sahiptir. Epoksi reçineleri bu gibi birçok avantaja sahip olmasına karşılık, bazı dezavantajlara da sahiptir. Özellikle teknik üstünlükleri ve kullanımdaki kolaylık ile hızlı oluşuna karşılık, pahalı ve fleksibilitesinin düşük olması dezavantajlarıdır. Malzemenin pahalı olmasından dolayı çalışırken çok dikkatli olunmalı, teknik açıdan yeterli ve deneyimli kişilerce gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Epoksi reçineleri, ince film yapıştırma, beton tamiratı, yarık dolgusu, çatlak ve yüzey koruma amaçları için kullanılabilmektedir.

Epoksi reçinesi, uygulamadan önce gerekli hazırlık ve temizlik yapılarak, kaplamaya ve birleştirmeye (yapıştırma) hazır hale getirilmelidir. Yüzeyin durumu oldukça önemlidir. Bütün yüzeyler temiz olmalı, oynak parçacıklardan ve birikmiş sudan arındırılmalıdır. Çimento şerbeti uzaklaştırılmalıdır. şayet yeterince temiz değilse çabuk kırıılır ve yumuşak bir tabaka ise yapışkanlık azalır. Ayrıca yüzey p r zlendirilerek birleşimin daha başarılı ve iyi olması sağlanabilir.

Epoksi Reçinelerinin Temel Özellikleri :

- Hamur kıvamında olması nedeni ile kolay ve değişik ortamlarda uygulama imkanı sağlar.
- Nemli ve ıslak yüzeylerde kullanılabilir.
- Yüksek sıcaklıklarda dahi akma yapmaz.
- Rötire yapmaksızın sertleşebilir.
- Betona ve diğer birçok malzemeye mükemmel yapıştırır.
- Erken mukavemet kazanımı sağlar.
- Komponentleri farklı renklerdir. Dolayısıyla karıştırma kontrolü sağlar.
- Yüksek aşınma mukavemetine sahiptir.
- Darbelere karşı dayanıklıdır.
- Sıkışmaya karşı dirençlidir.
- Kimyasal etkilere dayanıklıdır.
- İyi renk uyumuna sahiptir.
- Fleksibilitesi kötüdür.
- Işınlara karşı dirençsizdir.
- Maliyeti yüksektir.
- Astarlama gerektirmez.
- Düşük vizkositeli sıvılar olup uygun bir karışıt bağlama bileşiği ile karıştırılmasıyla termoset hale dönüştürülebilir. Ayrıca sertleştirici düşük vizkositeli ve uygulamaları kolay olup, modifiye edilebilirler.
- Kolay sertleşebilme özelliğine sahiptirler. Seçilen sertleştiriciye bağlı olarak epoksi reçineleri kolay ve hızlı bir şekilde 5– 150 ° C arasındaki sıcaklıklarda sertleşebilirler.
- En önemli özelliklerinden biri de sertleşme sırasında az büzülmesidir.
- Kimyasal yapılarında özellikle polar hidroksil ve eter gruplarını içermelerinden dolayı epoksi reçineleri çok iyi yapıştırıcıdırlar. Sertleşme sırasında çok az büzülme gerçekleştirdikleri için yüzeyler arasındaki adezyon kuvvetinde azalma gözlenmez.

Bu yüzden de adezyon kuvvetleri, herhangi bir basınç ve bekleme istemeksizin elde edilebilecek en iyi değerlerdir.

- Mekanik özellikleri oldukça yüksektir. Doğru formülasyona sahip epoksi reçinelerinin mukavemeti diğer döküm reçinelerinkini geçer. Bu epoksilerin düşük büzülme özelliklerinin sonucudur. Böylelikle mekanik yapıyı zayıflatan gerilmeler azaltılmış olur.
- Yüksek elektrik yalıtkanlığına sahiptirler.
- Mukavemetini kazanmış epoksi reçinelerinin kimyasal dirençleri, kullanılan sertleştiricinin türüne bağlıdır. Şayet uygun sertleştirici kullanılırsa çok yüksek direnç elde edilebilir. Epoksi reçinelerinin çoğu kostiğe karşı çok üstün dirençlidir. Ayrıca aside karşı da iyi dirençlidirler.
- Epoksi reçineleri çok kullanışlı plastiklerdir. Temel özellikleri birçok yolla modifiye edilebilir.

Türkiye'de Sika-Deteks Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen epoksi reçineleri Sikadur 30, Sikadur 31, Sikadur 32, Sikadur 41, Sikadur 42, Sikadur 43, ve Sikadur 52 olmak üzere değişik sınıflarında ve hızlı, normal ve uzun kullanım süreleri olmak üzere üç ayrı reaksiyon türünde üretilmektedir. Bunların teknik özellikleri aşağıdaki gibidir ;

- Renk :

Gri (A komponenti beyaz ; B komponenti siyah)

- Depolama Ömrü :

Doğru depolamak ve açmamak koşuyla 24 ay

- Depolama Koşulları :

Normal /Hızlı tipler için : +5 °C üstü , +35 °C altı, kuru ortam

Yavaş tip için : +10 °C üstü, +40 °C altı, kuru ortam

- Yoğunluk :

1,7 kg/Litre

- Kullanım Zamanları :

Tablo 2.1. Epoksi reçinelerinin sıcaklığa bağlı olarak kullanım zamanları

Sıcaklık	2 kg	2 kg	5 kg
°C	Normal	Hızlı	Yavaş
40	—	—	25 dak..
30	20 dak.	—	50 dak.
20	40 dak..	20 dak.	1,5 saat
10	1,5 saat	40 dak..	—
5	3,5 saat	1 saat	—

- Basınç Mukavemeti :

Normal / Hızlı Tip : 65 N/mm²

Yavaş Tip : 60 N/mm²

- Eğilme Mukavemeti :

Normal / Hızlı Tip : 30 N/mm²

Yavaş Tip : 25 N/mm²

- Çekme Mukavemeti :

Normal / Hızlı Tip : 20 N/mm²

Yavaş Tip : 20 N/mm²

- Betona Yapışma Mukavemeti :

Normal / Hızlı Tip : 3,5 N/mm² ; Beton dayanmaz.

Yavaş Tip : 3,5 N/mm² ; Beton dayanmaz.

- Çeliğe Yapışma Mukavemeti :

Normal / Hızlı Tip : 20 N/mm²

Yavaş Tip : 15 N/mm²

- Young Modülü :

Normal / Hızlı / Yavaş Tip : 8500 N/mm²

- Ambalaj :

Normal / Hızlı Tip : 2 kg ve 5 kg (A + B)

Yavaş Tip : 5 kg (A + B)

2.1.6. Karbodur Elemanlar (Sika CarboDur)

Karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimer ve epoksi reçine kombinasyonlu yapı onarım ve güçlendirme sistemidir. Betonarme, karkas ve ahşap yapı elemanları için güçlendirme sistemlerinden biri olan karbodur elemanlar pultrasyon ile imal edilirler. Bu sürekli imalat işleminde düzinelerce karbon bant lifleri, epoksi reçinesi içerisine daldırılmakta ve bir kalıp boyunca çektilerilerek şekillendirilmektedir. Daha sonra bu karbon lifleri bir fırında kurutulup sertleştirilirler. Elde edilen sonuç maddesinin önemli özellikleri vardır. Tüy kadar hafif, süper güçlü, yorulmaya karşı mükemmel bir dayanımı ve aşınmama özelliği vardır. Onların zayıf dayanımları karşısında, güçlendirme uygulamalarında kullanılmaları uygun değildir. Karbodur elemanlarının bant doğrultusunda yaklaşık 3000 N/mm^2 gibi yüksek bir çekme dayanımı vardır. Pultrasyon, bantların 5000 metreye kadar sarılmalarına izin vermektedir.

Enine yüklerin etkimesi halinde boyuna çatlamlar meydana gelebilir. Fakat bu çatlamlar güçlendirme elemanlarının boyuna çekme dayanımlarını etkilemez. Kesme dayanımı yükün nakledilmesi ile ilgili olarak önemli olabilmektedir. Çoğu durumlarda bu uygun değildir. Çünkü betonun dayanımı kritik etkindir.

Güçlendirme malzemesi olan karbodur elemanlarının yapıştırılması için Sikadur30 epoksi reçinesi kullanılmaktadır. Karbodur elemanlarının hafifliği ve epoksi yapıştırıcısının stabilitesi ile bantları herhangi bir kaldırma, destekleme ve bağlama aracı olmaksızın tesis edilebilmelerine imkan vermektedir. Ahşap, karkas ve betonarme yapılarda yüklemelerin artması, hasar ve eskimeler olması, ıslah, yapısal değişikliklere gidilmesi, dizayn ve imalat hatalarının bulunması durumlarında yapıların güçlendirilmesi amacıyla kullanılır. Kesip çıkarılan beton plakların güçlendirilmesi gibi bir çoğu uygulamada çapraz uygulamalı bantlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da çok rahatlıkla sağlanabilir. Eleman geçişlerinde 1,2 mm kalınlığına (bant kalınlığı) yapıştırıcı kullanılmaktadır. Karbodur elemanlar rulolar şeklinde temin edilebilirler.

Uygulamalarda, çelik levhalardan farklı olarak yapılan bindirme eklerinin olmamasından dolayı çok uzun bantlara ihtiyaç duyulur. Güçlendirme işi genelde mevcut olan yapılarda değişmiş kullanım nedenleri için uygulanmaktadır. Genelde kullanılabilir alan ve aralık çoğu zaman sınırlandırılmakta ve değişik donanımlarla sıkıştırılmaktadır. Karbodur elemanlar esneklikleri sayesinde böyle şartlarda kolaylıkla kullanılabilir. Estetik sebeplerden dolayı karbodur elemanları ince bir harç, sıva veya ahşap tabaka ile kaplamak mümkün olabilmektedir.

Karbodur elemanlarının temel özellikleri şu şekilde belirtilebilir ;

- İhmal edilebilir bir ağırlıkları vardır. Yapı elemanında ilave bir yük oluşturmazlar.
- Uzun periyotda korozyona direnç önemli bir faktördür. Sika Karbodur plakaları yüksek kimyasal dayanıma sahiptir, yapıdaki korozyondan etkilenmez. Paslanmama özellikleri vardır.
- Çok yüksek çekme dayanımları vardır. Bu çekme dayanımı bant doğrultusunda yaklaşık 2800 N/mm^2 gibi yüksek bir değer alabilmektedir. Kırılma anında bu çekme dayanımı ortalama 3050 N/mm^2 gibi bir değere ulaşabilmektedir.
- Ekonomiktirler.
- Her uzunlukta kullanılabilirler.
- Sınılandırılmış alan ve aralıklarda güçlendirme işlerinde kullanılabilirler.
- Yorulmaya karşı mükemmel bir dayanımları vardır.
- Süper güçlüdürler.
- Aşınmama özellikleri mevcuttur.
- Herhangi bir kaldırma, kenetleme ve destekleme tertibatına gerek duymaksızın tesis edilebilirler.
- Karbodur elemanlar rulolar şeklinde temin edilebilirler. Bu rulolar 500 m kadar olabilmektedir. Bu da taşıma kolaylığı sağlar.

- Estetik sebeplerden dolayı karbodur elemanlar ince bir harç, sıva veya ahşap tabaka ile kaplanabilir.
- Sadece bant doğrultusunda yük taşıma özellikleri vardır.
- Sika karbodur şeritlerinde ön hazırlık gerekmez.
- Düşük kesit kalınlığına sahiptirler.
- Basit, kolay şerit kesişim detaylarına sahiptirler.
- Değişik elastisite modüllerinde imal edilebilirler.
- Alkali dayanımlıdır.

Karbodur elemanlarının kullanım alanları ise şu şekilde belirtilebilir ;

Uluslar arası Malzeme Test ve Araştırma Merkezinde (EMPA, Dübendorf) yapılan yoğun çalışmalar sonucu, betonarme ve ahşap yapıların korozyona karşı dayanımlı, karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimerler şeritlerle (CFRP) takviyesi mümkün olabilmektedir. Sika AG’de geliştirilen sistem sayesinde beton ve ahşap yüzeylerin hazırlığından sonra herhangi başka bir ek uygulamaya gerek kalmadan karbodur sistemi uygulanabilir. Bu da yapıştırılmayla takviye metodunu çok daha ekonomik hale getirmektedir. Kullanım alanları aşağıdaki şekilde yazılabilir :

- Betonun kalitesini artırmak için kullanılabilir.
- Mevcut olan yapılarda değişmiş kullanım nedenleri için uygulanabilir.
- Yapı elemanlarının planlanmasında ve inşası sırasında meydana gelen hataları düzeltmek için kullanılabilir.
- Yapıların stabilitesini artırmak ve yapı elemanlarında meydana gelebilecek çeşitli hasarları önlemek için uygulanabilir.
- Mevcut olan yapı elemanının yük taşıma kapasitesini artırmak ve yapı elemanının geometrisini düzeltmek için kullanılabilir.
- Yorulmaya ve yapı elemanlarının yetersiz donatılandırılmasından dolayı yapı elemanında artan deformasyonların yapı elemanının kullanımını etkilediği durumlarda yapı elemanını güçlendirmede uygulanabilir.

- Karbodur sistemi betonarme ve ahşap yapıları aşağıdaki durumlarda güçlendirmek için kullanılır ;

Yük artışı :

- Ambar ve depolardaki hareketli yüklerin artması,
- Köprülerdeki trafik yükünün artması,
- Endüstriyel yapılarda ağır makinelerinin montajı,
- Vibrasyonlu yapılar,
- Yapı kullanım amacının değiştirilmesi

Yapı elemanlarının zarar görmesi :

- Yapı elemanlarının yaşlanması,
- Donatının paslanması,
- Araç çarpması,
- Yangın sonucu,

Yapılması istenen değişiklikler :

- Deformasyonların azaltılması,
- Çelik donatıdaki gerilmelerin azaltılması,
- Çatlak genişliğinin düşürülmesi,

Yapısal sistemdeki değişiklikler :

- Perde ve kolonların kaldırılması,
- Döşemelerde boşluk açılması,

Dizayn veya imalat hataları :

- Yetersiz donatı,
- Yetersiz yapı boyutlandırılması,
- Kesitteki yetersiz faydalı yükseklik.

Türkiye’de Sika-Deteks Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen karbodur elemanlarının, elastisite modüllerine göre Sika Carbodur S, Sika Carbodur M ve Sika Carbodur H tipleri vardır. 50-120 mm arası değişik genişliklerde ve 1,2-1,4 mm et kalınlıklarında şerit tipleri vardır. Sika-Deteks tarafından üretilen Sika Carbodur şeritlerinin özellikleri (Tablo 2.2)’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Sika Carbodur Şeritlerinin Malzeme Özellikleri,

	Sika Carbodur S	Sika Carbodur M	Sika Carbodur H
Elastisite modülü	165,000 N/mm ²	210,000 N/mm ²	300,000 N/mm ²
Çekme Dayanımı	2,800 N/mm ²	2,400 N/mm ²	1,300 N/mm ²
Kırılmada çekme dayanımı(ortalama)	3,050 N/mm ²	2,900 N/mm ²	1,450 N/mm ²
Kopmadaki şekil değiştirme	> 1.7 %	> 1.2 %	>0.45 %

Sika-Deteks tarafından üretilen ve yapılan bu deneysel çalışmada kullanılan Sika Carbodur S için değişik ürün çeşitleri mevcuttur. Bu da (Tablo 2.3.)’ de verilmiştir.

Tablo 2.3. Sika Carbodur S için ürün çeşitleri,

Tip	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Kesit alanı (mm ²)
Sika Carbodur S 512	50	1.2	60
Sika Carbodur S 612	60	1.2	72
Sika Carbodur S 812	80	1.2	96
Sika Carbodur S 1012	100	1.2	120
Sika Carbodur S 1212	120	1.2	144
Sika Carbodur S 1512	150	1.2	180
Sika Carbodur S 614	60	1.4	84
Sika Carbodur S 914	90	1.4	126
Sika Carbodur S 1214	120	1.4	168

Bu deneysel çalışmada kullanılan karbodur elemanlar, Sika-Deteks tarafından imal edilen Sika Carbodur S 612 olup boyutları (Tablo 2.3.)’ de verilmiştir.

Güçlendirme işinde kullanılabilecek çelik levhalar yerine karbodur elemanların kullanılabileceği düşünülürse, bu iki farklı güçlendirme durumunun karşılaştırılması (Tablo 2.4)' de verilmiştir.

Tablo 2.4. Çelik Levhalarla ve Karbodur Elemanlarla Yapılacak Olan Güçlendirmenin Karşılaştırılması :

Kriter	Karbodur Elemanlar İle	Çelik Levhalar İle
Kendi Ağırlığı	Düşük	Yüksek
Çekme Dayanımı	Çok yüksek	Yüksek
Uçtan Uca Kalınlık	Çok düşük	Düşük
Kimyasal Aşınma	Yok	Var
Levha Uzunluğu	Herhangi	Sınırlı
Yükleme-Boşaltma	Esnek ve kolay	Rijit ve zor
Yük Taşıma Özelliği	Sadece bant doğrultusunda	Herhangi bir doğrultuda
Bindirmeler	Kolay	Karmaşık
Yorulma Davranışı	Önemli	Uygun ve yeterli
Malzeme Bedeli	Yüksek	Düşük
Tesisat Bedeli	Düşük	Yüksek
Uygulama	Araca gerek yok	Kaldırma ve bağlama tertibatına ihtiyaç duyulur.

2.2 Deney Kirişlerinin Hazırlanması

Deneylerde kullanılacak olan dört adet kirişin açıklığı da üç metredir. Kompozit kiriş oluşturulurken çelik I 120 profili ile hazır betonarme plak arasındaki kompozit çalışmayı sağlamak üzere epoksi reçinesi kullanılmıştır. Epoksi reçinesi uygulanırken uygulama kurallarına özenle dikkat edilmiştir. Yapıştırma işleminden önce çelik I 120 profillerin ve kayma bağlantı elemanları olan çelik levhaların epoksi ile yapıştırılacak yüzeyleri zımpara ile temizlenmiş ve zımpara tozu kalmayacak şekilde elektrikli süpürge ile zımparalanan yüzeyler tozdan arındırılmıştır.

Epoksi reçinesi hazırlama kurallarına uygun olarak A ve B komponentlerinden oluşan iki bileşen A : B = 1/3 oranı dikkate alınarak temiz bir kaba konup açık gri renk

alıncaya kadar ve homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışım spatula yardımı ile daha önce temizlenmiş yüzeylere sürülmüştür. Daha sonra da bu yüzeylerin birbirine yapışması sağlanmıştır.

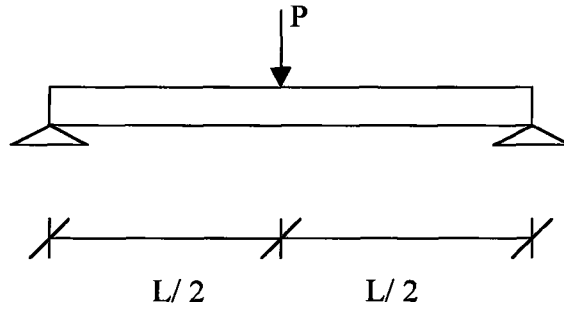
Karbodur elemanlarını yapıştırmadan önce yapıştırılacak yüzeyler tozdan arındırılmıştır. Hazır betonarme plak yüzeyi ise taş keski ile düzgün ve pürüzsüz bir yüzey haline getirilmiştir. Daha sonra epoksi karışımı hazırlanarak hem karbodur elemanlarına hem de hazır betonarme plak yüzeylerine sürülmüştür. Sonra da hava boşluğu kalmayacak şekilde birleştirilmiştir.

2.3. Deney Düzeni

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

Kirişler bulundukları yerlerden, 3 ton kapasiteli forklift tarafından kaldırılarak deney düzeneğine yerleştirilmişlerdir. Deney düzeneğine yerleştirilen kirişler, hidrolik presle donatılmış ve 200 kN basınç yükü verebilme kapasitesine sahip makine ile yüklenmeye başlanmıştır. Kirişte kırılma anına kadar ve kırılmadan sonraki olaylar tespit edilmiştir.

Karbodur elemanlar ile takviye edilmiş ve epoksi ile yapıştırılmış kompozit kirişlerin negatif moment bölgesindeki davranışlarını incelemek için söz konusu kompozit kirişlerde negatif moment oluşturmak üzere hazır betonarme plak altta ve çelik profil üstte kalacak şekilde ve mafsallı mesnetli olarak deney çerçevesine yerleştirilip P tekil yükü ile yüklenmiştir. Bu da, (Şekil 2.1.) de verilmiştir.



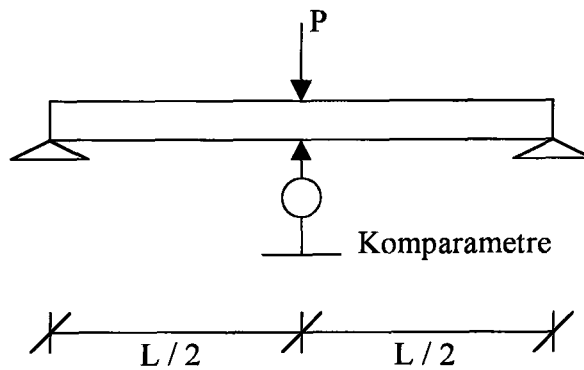
Şekil 2.1. Kirişlerin yük ve statik durumu

Eprüvetlere uygulanan P tekil yükü statik karakterli olup, sıfırdan başlayarak, belirli artırımlarla göçme anına kadar kademeli olarak yükseltilmiştir.

2.4. Deneylerde Yapılan Ölçümlerin Tanımı

Deneylerde eprüvetlerin kırılma anında taşıyacakları yükler yanında her yük kademesinde açıklık ortasındaki düşey deplasmanlar da hesaplanmıştır.

Kiriş ortasının yük altında yapmış olduğu çökme (sehim) miktarları $1 / 100$ hassasiyetindeki komparametrelerle yapılmış olup bunların deney düzenindeki konumları, (Şekil 2.2.) de verilmiştir. Kuvvet altında şekil değiştirmeler iyice hızlandığından, alet güvenliği açısından sehim belirleyen komparametreler yerlerinden alınmıştır.



Şekil 2.2. Komparametrenin kirişlerdeki yerleşimi

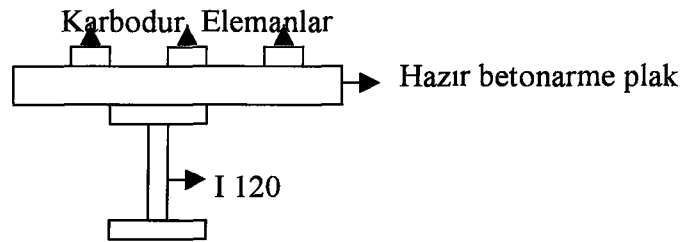
BÖLÜM 3. DENEYLERİN YAPILIŞI VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Karbodur elemanlarla takviye edilmiş ve epoksi ile yapıştırılmış kompozit kirişlerin negatif moment bölgesindeki davranışı ve taşıma gücünün incelenmesi için yapılan deneyler, dört eprüvetlik bir deneysel araştırmayı oluşturmaktadır. Deney eprüvetlerinin ve deney düzeninin ayrıntıları ve yapılan ölçümlerin tarifi (Bölüm 2.)'de verilmiştir. Bu bölümde ise, deneylerin yapılışı ve ölçümler ayrıntıları ile verilecektir.

Eprüvet açıklığının ortasındaki $f_d (L/2)$ çökme değerleri (Bölüm 2.4.)'de anlatıldığı şekilde her yük kademesi için ölçülmüştür. Deney düzenine yerleştirilen komparametrelerde yapılan okumalardan yapılan okumalardan hesaplanan $f_d (L/2)$ değerleri tablolar halinde verilmiştir.

3.1. K 1 KİRİŞİ (EPR 1)

EPR 1 kirişi hazırlanırken $a = 3,5$ mm kaynak kalınlıklı olmak üzere 6 adet kayma bağlantılı olarak imal edilmiştir. Daha sonra hazır betonarme plak yüzeyine 10cm aralıklı olacak şekilde karbodur elemanlar yapıştırılmıştır.



Şekil 3.1. EPR 1 kirişinin deneydeki durumu

Hazırlanan bu kiriş 3 ton kapasiteli forklift sayesinde deney düzenine yerleştirilmiştir. Daha sonra statik karakterli yük uygulanmaya başlanmış ve her yük kademesindeki sehim değeri komparametreden okunmuştur. EPR 1 kirişinden alınan deneysel f_d sehim değerleri (Tablo 3.1.)’de verilmiştir.

Tablo 3.1. : EPR 1 kirişine ait f_d deneysel sehim değerleri

Yük (P) KN	Sehim Okumaları f_d (mm)	Yük (P) kN	Sehim Okumaları f_d (mm)
8	0	32	3,30
10	0,20	34	3,65
12	0,40	36	4,10
14	0,65	38	4,80
16	0,85	40	5,25
18	1,10	42	5,60
20	1,40	44	6,10
22	1,75	46	6,60
24	2,00	48	7,10
26	2,25	50	7,70
28	2,55	52	8,30
30	2,90	54	9,00

Bu noktadan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice arttığından, alet güvenliği bakımından sehim belirleyen komparametreler yerlerinden alınmıştır. Daha sonra kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir. $P = 74$ kN’a ulaştığında, eprüvet artık ek bir yük alamadığından, deneye son verilmiştir. Ek bir yük alamayan eprüvet deney düzeninden forklift ile alınmıştır.

Deney sonunda, kompozit kirişin orta noktasında hazır betonarme plakta eğilme çatlaklarının olduğu tespit edilmiştir. Kırılma anında kayma elemanları ve hazır betonarme plak arasında kullanılan epoksi reçinesinde akmalara olmadığı görülmüştür.

Ayrıca karbodur elemanları için bırakılan ankraj bölgelerinde kalan hazır betonarme plakta çatlakların meydana gelmediği ve negatif moment bölgesinde

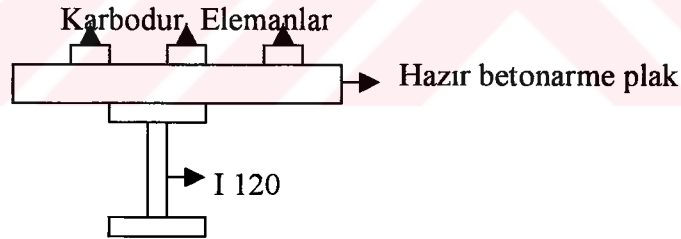
kullanılan karbodur elemanlarında kopmaların meydana gelmediği görülmüştür.

Kompozit kirişin negatif moment bölgesinde mesnetlere yakın bölgelerde kesme çatlamlarının meydana gelmediği ve çelik profilde sehmlerin meydana geldiği tespit edilmiştir.

Hazır betonarme plak ile karbodur elemanlar arasında bağlayıcılık özelliği olan epoksi reçinesinde akmaların oluşmadığı ve karbodur elemanlarının hazır betonarme plaktan kopmadan ayrıldığı gözlenmiştir. Karbodur elemanları hazır betonarme plaktan ayrılırken beton parçacıkları ile birlikte ayrılmışlardır.

3.2. K 2 KİRİŞİ (EPR 2)

EPR 2 kirişi hazırlanırken $a = 3,5$ mm kalınlıklı kaynak olmak üzere 6 adet kayma bağlantı elemanı kullanılarak imal edilmiştir. Daha sonra, 15 cm aralıklı olacak şekilde karbodur elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 3.2. EPR 2 kirişinin deneydeki durumu

Deney düzeninden kaldırılan EPR 1 kirişi yerine, EPR 2 kirişi 3 ton kapasiteli forklift sayesinde deney düzenine yerleştirilmiştir. Daha sonra statik karakterli yük uygulanmaya başlanmış ve her yük kademesindeki sehim değeri komparametreden okunmuştur. EPR 2 kirişinden alınan deneysel f_d sehim değerleri (Tablo 3.2.)'de verilmiştir.

Tablo 3.2. EPR 2 kirişine ait deneysel f_d sehim değerleri

Yük (P) KN	Sehim okumaları (mm)	Yük (P) kN	Sehim okumaları (mm)
4	0,00	34	6,30
6	0,25	36	7,00
8	0,50	38	7,70
10	0,75	40	8,00
12	1,00	42	9,50
14	1,20	44	10,40
16	1,45	46	11,30
18	1,60	48	12,00
20	2,00	50	13,00
22	2,30	52	14,00
24	2,65	54	15,00
26	3,40	56	16,00
28	4,00	58	17,00
30	4,70	60	19,00
32	5,30	62	20,70

Bu noktadan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice hızlandığından, alet güvenliği bakımından sehim belirleyen kompametreler yerlerinden alınmıştır. Daha sonra kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir. $P = 72 \text{ kN}$ 'a ulaştığında, eprüvet artık ek bir yük alamadığından, deneye son verilmiştir. Ek bir yük alamayan eprüvet deney düzeninden forklift ile alınmıştır.

Deney sonunda, kompozit kirişin orta noktasında hazır betonarme plakta eğilme çatlaklarının oluştuğu tespit edilmiştir. Kırılma anında kayma elemanları ve hazır betonarme plak arasında, ortadaki kayma elemanlarında kullanılan epoksi reçinelerinde akmalara oluştuğu fakat kenarlardaki kayma bağlantılarındaki epoksi reçinesinde akmalara olmadığı görülmüştür.

Ayrıca karbodur elemanları için bırakılan ankraj bölgelerinde kalan hazır betonarme plakta çatlamların meydana gelmediği ve negatif moment bölgesinde

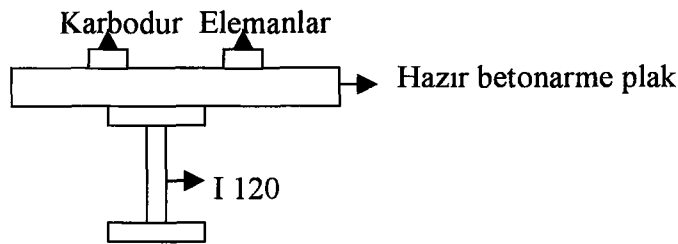
kullanılan karbodur elemanlarında kopmaların meydana gelmediği görülmüştür.

Kompozit kirişin negatif moment bölgesinde mesnetlere yakın bölgelerde kesme çatlamlarının meydana gelmediği ve çelik profilde sehimlerin meydana geldiği tespit edilmiştir.

Hazır betonarme plak ile karbodur elemanlar arasında kullanılmış olan epoksi reçinesinde kısmen akmalara olduğu ve karbodur elemanlarının hazır betonarme plaktan kopmadan ayrıldığı gözlenmiştir. Karbodur elemanları hazır betonarme plaktan ayrılırken beton parçacıkları ile birlikte ayrılmışlardır. Aynı zamanda karbodur elemanlarının kullanılan epoksi reçinesinden kısmen ayrıldığı tespit edilmiştir. İlk olarak karbodur elemanları ile hazır betonarme plak arasındaki epoksi reçinesinde akmalara başladığı, daha sonra da bu akmalara kayma bağlantılarında kullanılan epoksi reçinelerinde meydana geldiği gözlenmiştir.

3.3. K 3 Kirişi (EPR 3)

EPR 3 kirişi hazırlanırken $a = 3,5$ mm kalınlıklı kaynak olmak üzere 6 adet kayma bağlantı elemanı kullanılarak imal edilmiştir. Daha sonra, 25 cm aralıklı olacak şekilde karbodur elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 3.3. EPR 3 kirişinin deneydeki durumu

Artık yük taşımayacak konuma gelen EPR 2 kirişi yerine, EPR 3 kirişi 3 ton kapasiteli forklift sayesinde deney düzenine yerleştirilmiştir. Daha sonra statik karakterli

yük uygulanmaya başlanmış ve her yük kademesindeki sehim değeri komparametreden okunmuştur. EPR 3 kirişinden alınan deneysel f_d sehim değerleri (Tablo 3.2.)’de verilmiştir.

Tablo 3.3. EPR 3 kirişine ait deneysel f_d sehim değerleri

Yük (P) KN	Sehim okumaları (mm)	Yük (P) kN	Sehim okumaları (mm)
4	0,00	36	5,40
6	0,25	38	5,85
8	0,35	40	6,45
10	0,50	42	6,90
12	0,70	44	7,35
14	0,90	46	7,85
16	1,10	48	8,50
18	1,30	50	9,10
20	1,55	52	9,60
22	1,80	54	10,20
24	3,25	56	10,85
26	3,60	58	11,55
28	4,00	60	12,50
30	4,40	62	13,70
32	4,65	64	15,00
34	5,00	66	17,00

Bu noktadan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice hızlandığından, alet güvenliği bakımından sehim belirleyen komparametreler yerlerinden alınmıştır. Daha sonra kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir. $P = 68 \text{ kN}$ ’a ulaştığında, eprüvet artık ek bir yük alamadığından, deneye son verilmiştir. Ek bir yük alamayan eprüvet deney düzeninden forklift ile alınmıştır.

Deney sonunda, kompozit kirişin orta noktasında hazır betonarme plakta eğilme çatlaklarının olduğu tespit edilmiştir. Kırılma anında kayma elemanları ve hazır betonarme plak arasında, ortadaki kayma elemanlarında kullanılan epoksi reçinelerinde

akmların oluştuğu fakat kenarlardaki kayma bağlantılarındaki epoksi reçinesinde akmların olmadığı görülmüştür.

Ayrıca karbodur elemanları için bırakılan ankraj bölgelerinde kalan hazır betonarme plakta çatlamaların meydana gelmediği ve negatif moment bölgesinde kullanılan karbodur elemanlarında kopmaların meydana gelmediği görülmüştür.

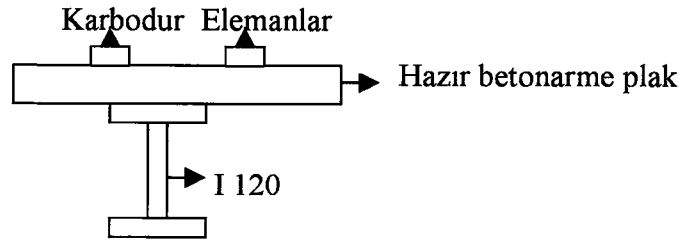
Kompozit kirişin negatif moment bölgesinde mesnetlere yakın bölgelerde kesme  atlamalarının meydana gelmediği ve  elik profilde sehimlerin meydana geldiği tespit edilmiştir.

Hazır betonarme plak ile karbodur elemanlar arasında kullanılmış olan epoksi reçinesinde akmların oluştuğu ve karbodur elemanlarının hazır betonarme plaktan kopmadan ayrıldığı gözlenmiştir. Karbodur elemanları hazır betonarme plaktan ayrılırken beton parçacıkları ile birlikte ayrılmışlardır. Aynı zamanda karbodur elemanlarının kullanılan epoksi reçinesinden kısmen ayrıldığı tespit edilmiştir. İlk olarak karbodur elemanları ile hazır betonarme plak arasındaki epoksi reçinesinde akmların başladığı, daha sonra da bu akmların kayma bağlantılarında kullanılan epoksi reçinelerinde meydan geldiği gözlenmiştir.

Karbodur elemanlar ile hazır betonarme plak arasında kullanılan epoksi reçinesi akmaya başladıktan sonra, beraberinde beton parçacıklarını da ayırmıştır.

3.4. K 4 KİRİŞİ (EPR 4)

EPR 4 kirişi hazırlanırken $a = 3,5$ mm kalınlıklı kaynak olmak üzere 8 adet kayma bağlantı elemanı kullanılarak imal edilmiştir. Daha sonra, 20 cm aralıklı olacak şekilde karbodur elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 3.4. EPR 4 kirişinin deneydeki durumu

Artık yük taşımayacak konuma gelen EPR 3 kirişi yerine, EPR 4 kirişi 3 ton kapasiteli forklift sayesinde deney düzenine yerleştirilmiştir. Daha sonra statik karakterli yük uygulanmaya başlanmış ve her yük kademesindeki sehim değeri komparametreden okunmuştur. EPR 4 kirişinden alınan deneysel f_d sehim değerleri (Tablo 3.4.)’de verilmiştir.

Tablo 3.4. EPR 4 kirişine ait deneysel f_d sehim değerleri

Yük (P) KN	Sehim okumaları (mm)	Yük (P) kN	Sehim okumaları (mm)
4	0,00	36	5,35
6	0,25	38	5,75
8	0,50	40	6,25
10	0,75	42	6,70
12	1,10	44	7,15
14	1,35	46	7,90
16	1,65	48	8,40
18	1,90	50	9,10
20	2,30	52	9,50
22	2,55	54	10,15
24	2,80	56	10,75
26	3,20	58	11,10
28	3,55	60	12,00
30	4,00	62	13,00
32	4,35	64	14,80
34	4,85	66	17,50

Bu noktadan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice hızlandığından, alet güvenliği bakımından sehimini belirleyen

komparametreler yerlerinden alınmıştır. Daha sonra kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir. $P = 70 \text{ kN}$ 'a ulaştığında, eprüvet artık ek bir yük alamadığından, deneye son verilmiştir. Ek bir yük alamayan eprüvet deney düzeninden forklift ile alınmıştır.

Deney sonunda, kompozit kirişin orta noktasında hazır betonarme plakta eğilme çatlaklarının oluştuğu tespit edilmiştir. Kırılma anında kayma elemanları ve hazır betonarme plak arasında, ortadaki kayma elemanlarında kullanılan epoksi reçinelerinde akmaların oluştuğu fakat kenarlardaki kayma bağlantılarındaki epoksi reçinesinde akmaların olmadığı görülmüştür.

Ayrıca karbodur elemanları için bırakılan ankraj bölgelerinde kalan hazır betonarme plakta çatlamların meydana gelmediği ve negatif moment bölgesinde kullanılan karbodur elemanlarında kopmaların meydana gelmediği görülmüştür.

Kompozit kirişin negatif moment bölgesinde mesnetlere yakın bölgelerde kesme çatlamlarının meydana gelmediği ve çelik profilde sehimlerin meydana geldiği tespit edilmiştir.

Hazır betonarme plak ile karbodur elemanlar arasında kullanılmış olan epoksi reçinesinde akmaların oluştuğu ve karbodur elemanlarının hazır betonarme plaktan kopmadan ayrıldığı gözlenmiştir. Karbodur elemanları hazır betonarme plaktan ayrılırken beton parçacıkları ile birlikte ayrılmışlardır. Aynı zamanda karbodur elemanlarının kullanılan epoksi reçinesinden kısmen ayrıldığı tespit edilmiştir. İlk olarak karbodur elemanları ile hazır betonarme plak arasındaki epoksi reçinesinde akmaların başladığı, daha sonra da bu akmaların kayma bağlantılarında kullanılan epoksi reçinelerinde meydana geldiği gözlenmiştir.

Karbodur elemanlar ile hazır betonarme plak arasında kullanılan epoksi reçinesi akmaya başladıktan sonra, beraberinde beton parçacıklarını da ayırmıştır.

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel çalışmada kullanılan hazır betonarme plaklı kompozit kirişlerin kesitleri ve deney sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney Kirişleri Kesitleri ve Deney Sonuçları

Kiriş No	Beton Boyutu (cm)	Çelik Profil	Karbodur Eleman Aralığı (cm)	Kayma Bağlantı Sayısı (adet)	Taşıma Yüğü (kN)
EPR 1	300.80.10	I 120	10	6	74
EPR 2	300.80.10	I 120	15	6	72
EPR 3	300.80.10	I 120	25	8	68
EPR 4	300.80.10	I 120	20	8	70

Yapılan bu deneysel çalışma sonucu, deneye tabi tutulan kompozit kirişlerde kullanılan hazır betonarme plağı meydana getiren betonun çatladığı gözlenmiştir. Beton çatladıktan sonra da kompozit kiriş yüklenmeye devam edilmiştir.

Deneysel çalışmanın bir amacı da inşaat sektöründe yeni bir güçlendirme malzemesi olan karbodur elemanların taşıma gücüne etkisinin araştırılması idi. Bu deneysel çalışma sonucu, kompozit kiriş hazırlanırken, epoksi reçinesi ile hazır betonarme plak yüzeyine yapıştırılan karbodur elemanlarının değişimi taşıma gücünü doğrudan etkilemiştir. Karbodur elemanlarının aralıklarının değişimi, kompozit kirişin negatif moment bölgesindeki taşıma gücünü, her 5 cm aralık değişimi için 2 kN arttırdığı Tablo 4.1.' de de görülmektedir. Yani, 10 cm aralıklarla karbodur elemanlar yapıştırılan EPR 1 kirişinin taşıma yükü 74 kN iken, 15 cm aralıklara sahip EPR 2 kirişinin taşıma yükü 72 kN, 20 cm aralıklara sahip EPR 3 kirişinin taşıma yükü 70 kN. ,

25 cm aralıklı olarak karbodur elemanları yapıştırılan EPR 4 kirişinin taşıma yükü 68 kN olarak bulunmuştur. Buradan da görüldüğü gibi, 5 cm aralık değişim için 2 kN'luk bir taşıma yükü değişimi meydana gelmektedir.

Dolaysıyla, karbodur elemanlarının aralıklarının artması, taşıma gücünü azaltmakta ve aralıklarının azalması da taşıma gücünü arttırmaktadır. Kompozit kirişlerin negatif moment bölgesinde karbodur elemanları ile yapılacak olan güçlendirmelerde; yapı elemanlarının taşıma yükü ile karbodur elemanlarının aralıkları arasında ters bir orantı olduğu söylenebilir.

Kompozit kirişi meydana getiren çelik I 120 profillerinde, her eprüvet için sehimlerin meydana geldiği görülmektedir.

Deneyisel çalışma sonucunda, bütün deney numunelerinde hazır betonarme plakta yükün uygulandığı orta bölgelerde eğilme çatlaklarının oluştuğu fakat mesnet noktalarına yakın bölgelerde oluşan kesme çatlaklarının oluşmadığı görülmektedir. Yükün daha etkin olduğu bölgelerde hazır betonarme plakta çatlakların oluştuğu ve uygulanan statik karakterli yükün daha az etkin olduğu mesnet bölgelerine yakın bölgelerde çatlakların oluşmadığı görülmektedir.

Her kompozit kiriş için uygulanan statik karakterli yükün artışına göre elde edilen sehim değerleri Bölüm 3'de verilmiştir. (Tablo 3.1., Tablo 3.2., Tablo 3.3., Tablo 3.4.) Söz konusu bu tablolar incelendiğinde deney esnasında eprüvetlerde meydana gelen deplasmanlar belirli bir değere kadar orantılı olarak gitmektedir. Göçme durumu birden oluşmaktadır.

Bu çalışmanın bir amacı da kayma bağlantı uzunluklarının ve betonarme plak ile çelik profil arasındaki kaynaklanmayan uzunlukların betonun taşıma kapasitesini ne kadar ve nasıl etkilediğini araştırmak idi.

Bu amaç için,

EPR 1 ve EPR 2 numaralı deney eprüvetleri aynı kesit, aynı kayma bağlantılı, aynı kaynak uzunluklu ve aynı malzeme özellikli olarak imal edilmişlerdir. Bu eprüvetlerde betonarme plak dökülürken içine çelikle bağlantıyı sağlayacak 6 adet kayma bağlantısı monte edilmiştir. Bu 6 adet kayma bağlantısından betonarme plak çelik profil ile 200 mm kaynak uzunlukları ile birbirine bağlanmaktadır. EPR 1 ve EPR 2 numaralı deney eprüvetlerin kaynaklanmayan aralıkları 5 adet olup her biri 300 mm'dir. Başlangıç ve bitiş noktalarında ise 150 mm'dir.

EPR 3 ve EPR 4 numaralı deney eprüvetleri aynı kesit, aynı kayma bağlantılı, aynı kaynak uzunluklu ve aynı malzeme özellikli olarak imal edilmişlerdir. Bu eprüvetlerde betonarme plak dökülürken içine çelikle bağlantıyı sağlayacak 8 adet kayma bağlantısı monte edilmiştir. Bu 8 adet kayma bağlantısından betonarme plak çelik profil ile 200 mm kaynak uzunlukları ile birbirine bağlanmaktadır. EPR 3 ve EPR 4 numaralı deney eprüvetlerin kaynaklanmayan aralıkları 7 adet olup her biri 180 mm'dir. Başlangıç ve bitiş noktalarında ise 70 mm'dir.

Ayrıca karbodur elemanları için her deney eprüvetinde 25 cm ankraj bölgesi bırakılmıştır. Bu ankraj bölgelerinde bulunan hazır betonarme plakta çatlamların meydana gelmediği görülmektedir.

Her tür deney numunesinde göçme çelik ve betonun taşıma kapasiteleri aşıldığı için yük taşımaz hale gelmiştir. Her tür numune de kayma bağlantılarındaki; hazır betonarme plak ile çelik profil arasındaki; kaynaklarda bir çatlama veya kopma gözlenmemiştir. EPR 1 ve EPR 2, deney eprüvetlerinde çelik profil ile betonarme plak arasındaki kayma kuvveti $a=3,5$ mm kalınlıklı ve $l = 2400$ mm toplam kaynak uzunluklu kaynaklar tarafından emniyetle taşındığı teorik hesaplar ve deney sonuçları ile kanıtlanmıştır. EPR 3 ve EPR 4, deney eprüvetlerinde ise kayma kuvveti $a = 3,5$ mm

kalınlıklı ve $l = 1600$ mm toplam kaynak uzunluklu kaynaklar tarafından güvenli olarak taşındığı teorik hesaplar ve deney sonuçları ile kanıtlanmıştır. Kayma kuvvetini alan kaynak uzunluklarının her dört eprüvet için yeterli olmaktadır.

Kayma bağlantı eleman sayısı 6 adet olan EPR 1 ve EPR 2 kirişlerinin taşıma yükleri 74 kN ile 72 kN arasında olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık olarak 73 kN olarak (her iki deney eprüvetinden çıkan sonucun ortalaması olarak) kabul edilebilir. Kayma bağlantı eleman sayısı 8 adet olan EPR 3 ve EPR 4 kirişlerinin taşıma yükleri 68 kN ile 70 kN arasında olduğu belirlenmiştir. Bu grupta da ortalama olarak 69 kN 'luk taşıma kapasitesi alınabilir. Çelik profil ile hazır betonarme plağın eşit uzunlukta tutulmamış yüzeylerin olmasına rağmen tutulma boylarındaki kaynak boylarının taşıma kapasitesine bir katkısı olduğu sonucuna varılabilir.

Hazır betonarme plak ile karbodur elemanları arasında bağlayıcılık özelliği olan epoksi reçinesinde, bütün deney eprüvetlerinde, kısmen akmaların olduğu görülmektedir. Epoksi reçinelerinin yapışma özelliğinin çok iyi olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca epoksi reçinesi hazır betonarme plaktan ayrılırken beraberinde beton parçacıklarını da ayırmıştır. Epoksi reçinelerinin betona yapışma mukavemetinin yüksek olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Ayrıca bu deneysel çalışma ile hazır betonarme plak ile çelik I 120 profili arasında kullanılan epoksi reçinelerinde kısmen akmaların olduğu ve bu akmaların özellikle yükün uygulandığı kısma daha yakın bölgelerde daha fazla meydana geldiği tespit edilmiştir. Genelde mesnet bölgelerine yakın bölgelerde yani, yükün daha az etkin olduğu bölgelerde epoksi reçinelerinde akmalar meydana gelmemiştir. Bu da epoksi reçinesinin, çelik ve betonu birbirine yapıştırma, çok rahat kullanılabilirliğini göstermiştir.

Yapılan bu deneysel çalışmanın diğer bir amacı da inşaat sektöründe yeni birer malzeme olan epoksi reçineleri ve karbodur elemanları hakkında detaylı bilgiler

verebilmek idi. Yapılan bu deneysel çalışma ile bu malzemelerin özellikleri, kullanım alanları, taşıma gücüne etkileri hakkında detaylı bilgiler verilmektedir. Yapılan bu deneysel çalışma sonucu, bu malzemelerin özellikle güçlendirme ve takviye işlemlerinde çok rahat bir şekilde uygulanabilirliğini ortaya çıkarmaktadır.

Kompozit kirişin şekil değiştirmesi sonucu beton plağın çelik profilden ayrılıp kalkmasını epoksi reçinesi büyük bir ölçüde önlemektedir.

Yapılan bu deneysel çalışma ile elde edilen deney sonuçlarının daha önce yapılmış deneysel çalışma sonuçları ile uyum içinde olduğu karşılaştırmalar sonucu tespit edilmiştir.



BÖLÜM 5 ÖNERİLER

Kompozit kirişlerin negatif moment bölgesinde güçlendirme elemanları olarak kullanılan karbodur elemanlarında kopmalar meydana gelmemiştir fakat hazır betonarme plaktan ayrılmıştır. İyi bir işçilik ve titiz bir çalışma ile epoksi reçineler, karbodur elemanlara tatbik edilirse çok daha iyi sonuçlar almak mümkün olmaktadır.

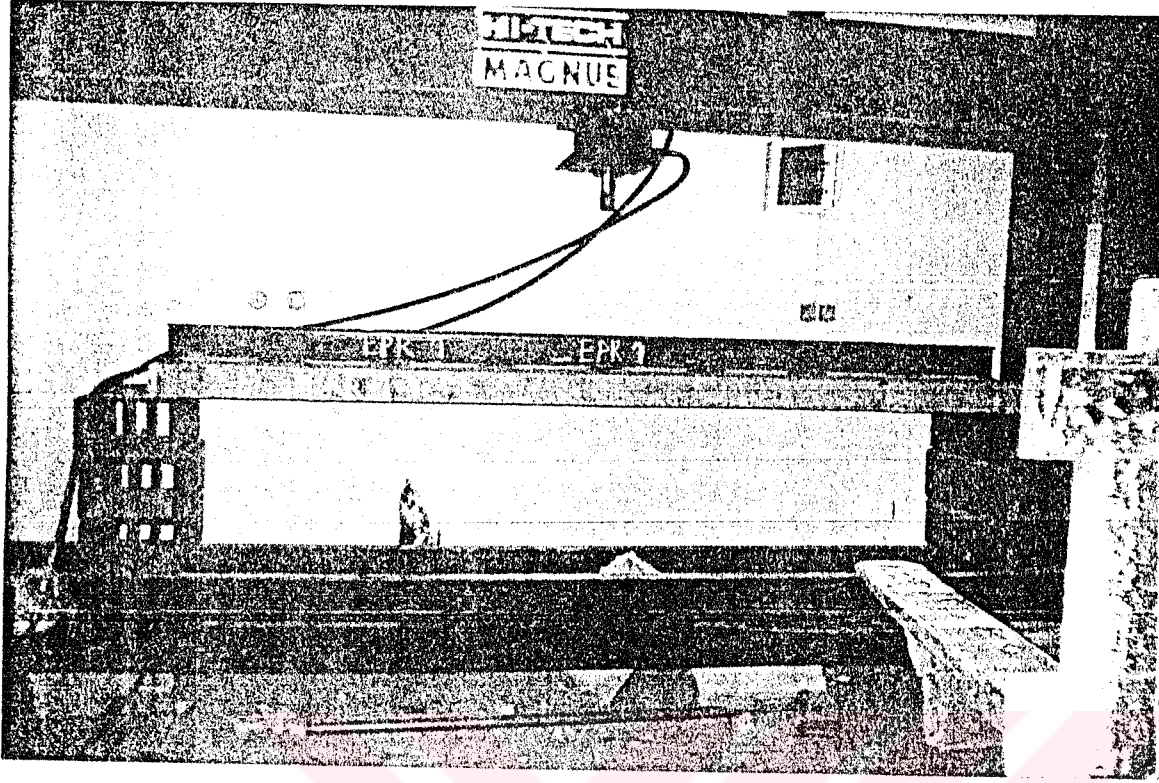
Kompozit kirişin şekil değiştirmesi sonucu beton plağın çelik profilden ayrılıp kalkmasını epoksi reçinesi büyük bir ölçüde önlemektedir. Fakat kısmen de olsa akmaların meydana geldiği görülmektedir. Bu akmaların tamamen önlenebilmesi halinde, negatif moment bölgelerinde, kompozit kirişin daha fazla kapasite ile çalışması mümkün olabilecektir. İyi bir işçilik ve titiz bir çalışma ile epoksi reçinelerinde meydana gelen bu akmalar daha da azaltılabilir.

Bu deneysel çalışmada, karbodur elemanları hazır betonarme plak yüzeyine boyuna olarak yapıştırılmıştır. Karbodur elemanlarının, hazır betonarme plak yüzeyine enine olarak yapıştırılması halinde , karbodur elemanlarının boyut ve aralıklarının değişiminin negatif momentler bölgesinde kompozit çalışmayı nasıl etkileyeceği bir başka deney konusu olabilir.

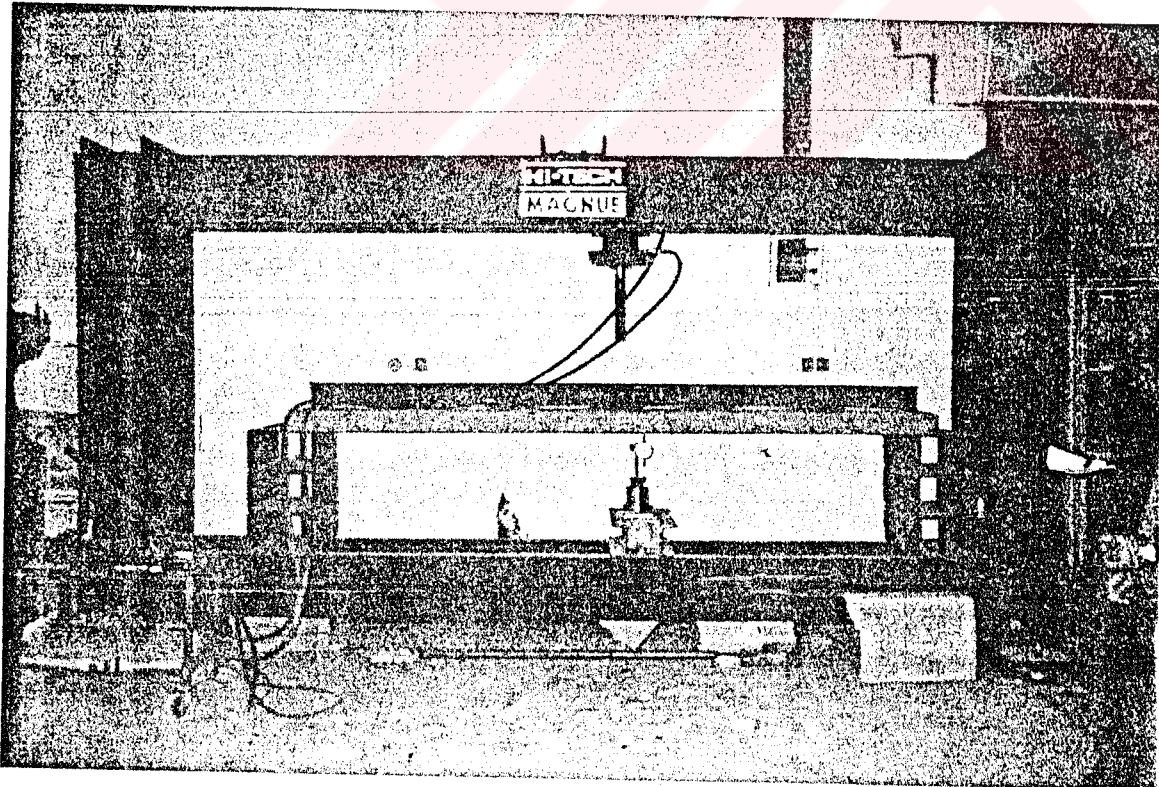
KAYNAKLAR

- [1] GILBERT I., BRADFORD M. A., “ Time-dependent Behavior of Continous Composite Beams at Service Loads ”, Journal of Structural Engineering, Vol 121, pp. 319-327, 1995
- [2] OEHLERS J. D., SVED G., “ Composite Beams with Limited – Slip – Capacity Shear Connectors ”, Journal of Structural Engineering, Vol 121, pp. 932-938, 1995
- [3] YELGİN A. N., YELGİN H., “ Eğilme Çubuklarının Epoksi ile Yapıştırılmış Bindirme Levhalı Eklerinin Yapısal Davranışı ”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 2, Sayı 2, s.171-180, 1998
- [4] ARDA T. S., MENGENE N., „ Strength of Composite Beams with Service Web Concrete Under Negative Bending ”, Journal of Structural Engineering, Vol 121, pp.11701174, 1995
- [5] YELGİN A. N., KASAP H., ÖZYURT M. Z.“ Negatif Moment Bölgesinde Hazır Betonarme Plaklı Kompozit Kirişlerin Yapısal Davranışı ”, 9. Prefabrikasyon Sempozyumu Bildiri Kitabı, s.137-150, İstanbul, 29-30 Nisan, 1998
- [6] ARDA T. S., YARDIMCI N., „ Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı”, Kurtiş Matbaası, İstanbul, 1991
- [7] TS 648 “Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, Ankara, Aralık, 1980
- [8] TS 4561 “Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları”, Ankara, Ekim, 1985
- [9] Eurocode No:4 “Design of Composite Steel and Concrete Structures”, Part 1.1., General Rules for Building, March, 1992

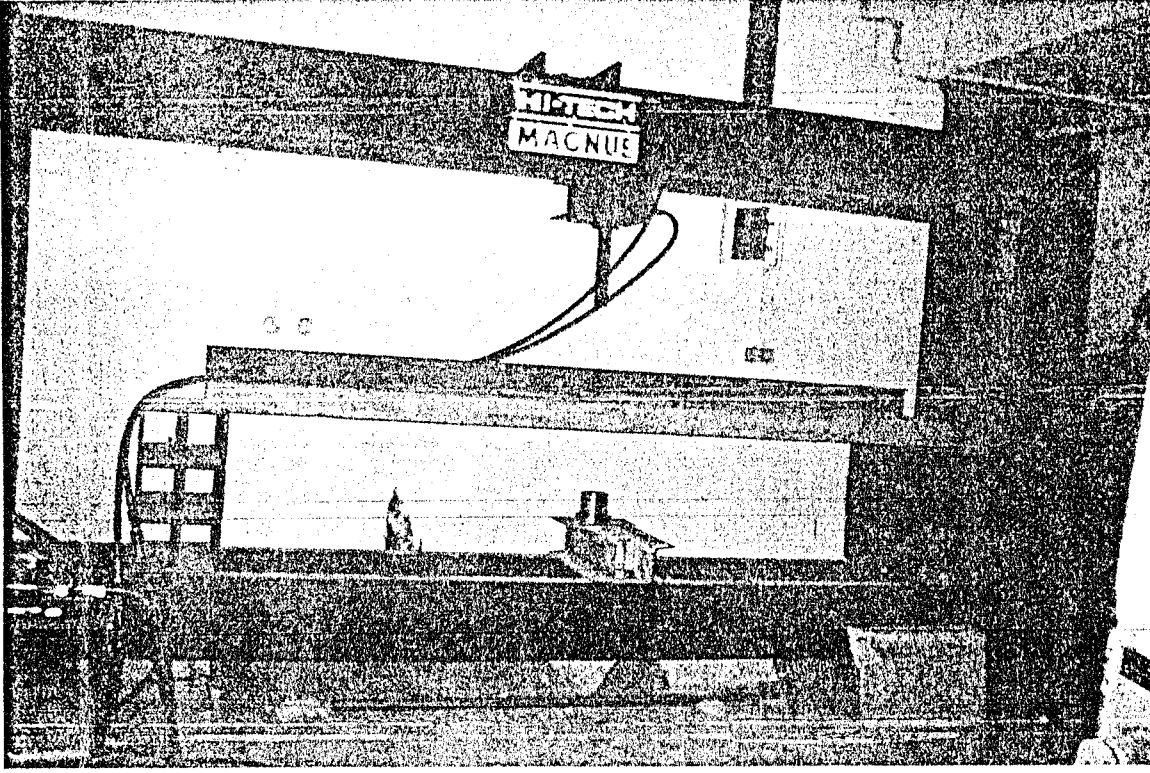
EK A DENEY SIRASINDA ÇEKİLMİŞ FOTOĞRAFLAR



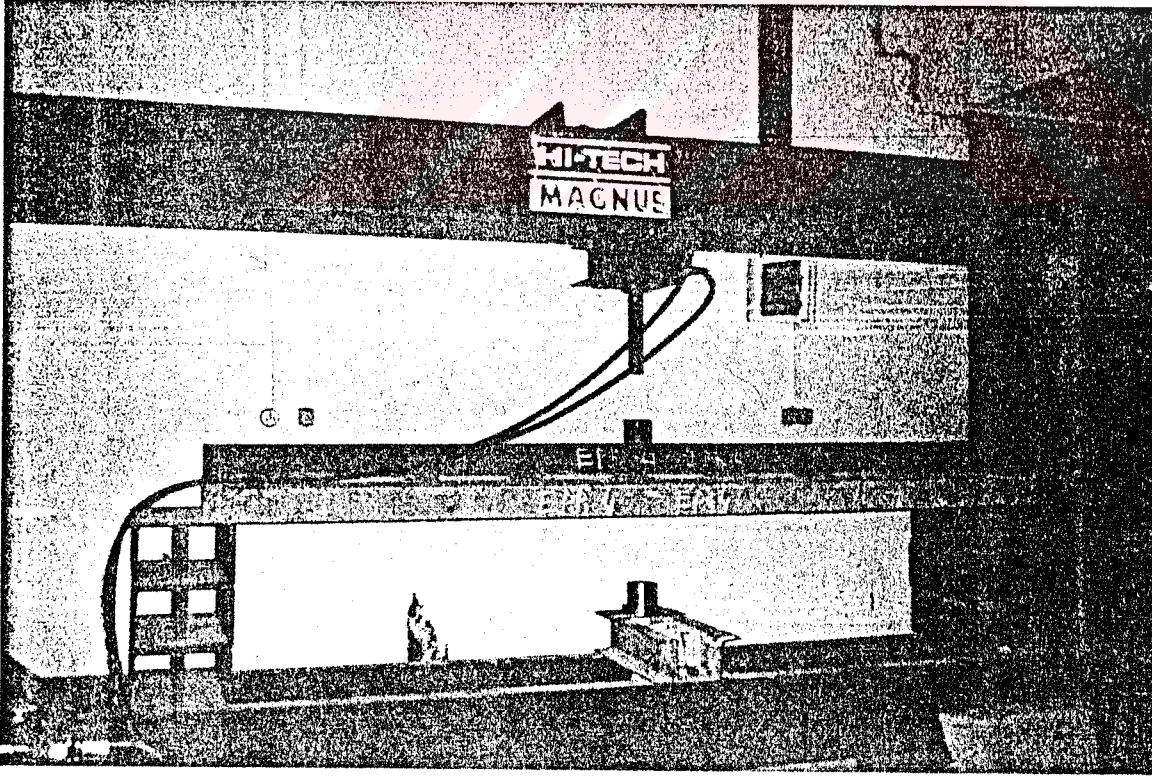
Şekil A.1. EPR 1 Kirişinin Deney Düzenine Yerleştirilmesi



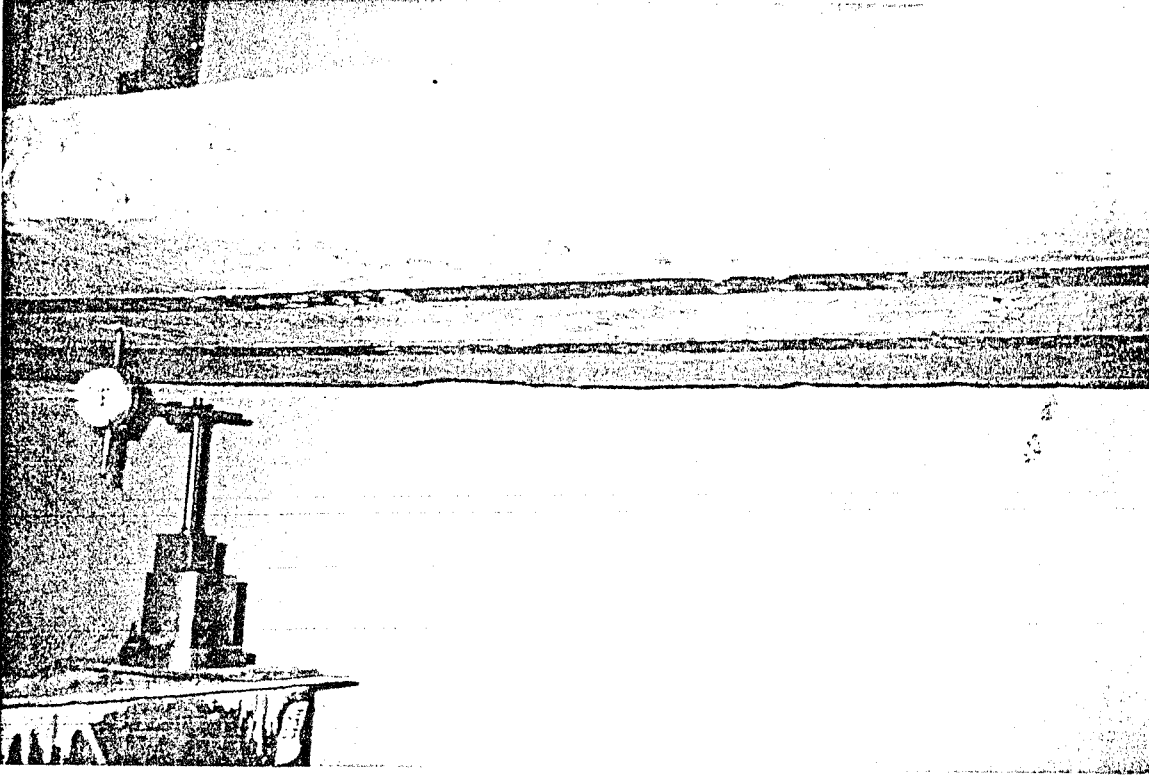
Şekil A.2. EPR 2 Kirişinin Deney Düzenine Yerleştirilmesi



Şekil A.3. EPR 3 Kirişinin Deney Düzenine Yerleştirilmesi



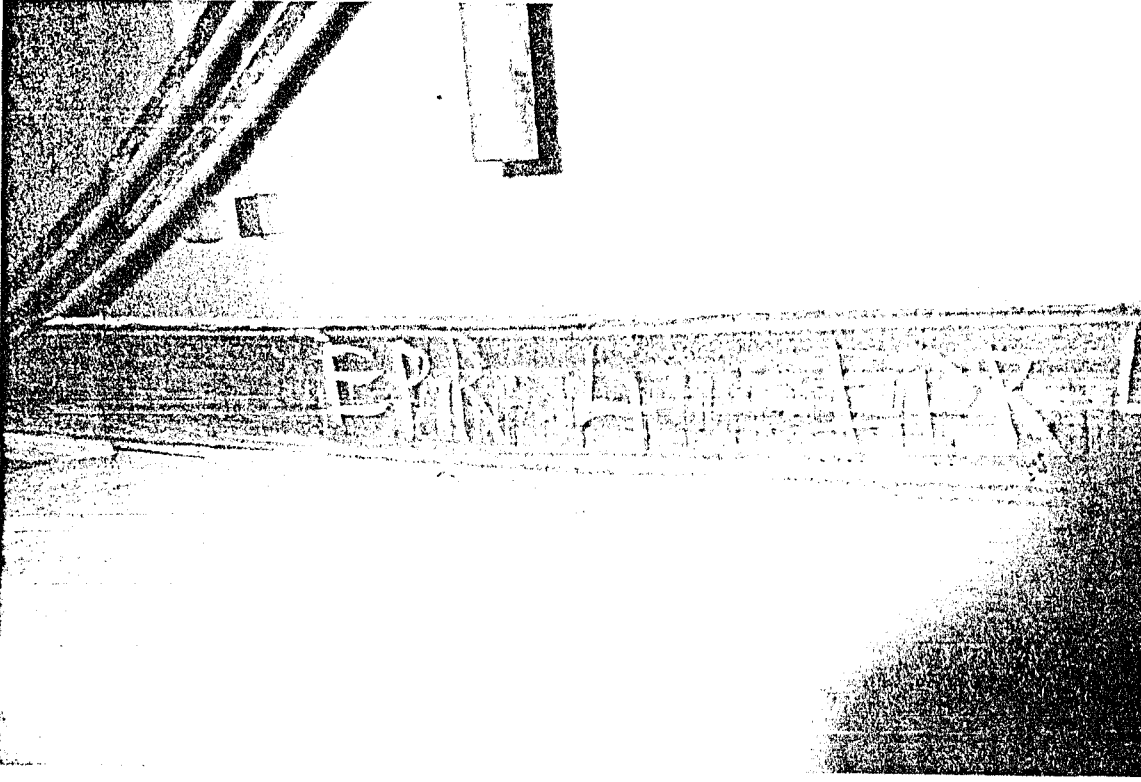
Şekil A.4. EPR 4 Kirişinin deney Düzenine Yerleştirilmesi



Şekil A.5. Komparametrenin Deney Düzenine Yerleştirilmesi



Şekil A.6. EPR 3 Kirişine Yük Uygulanmasına Başlanması



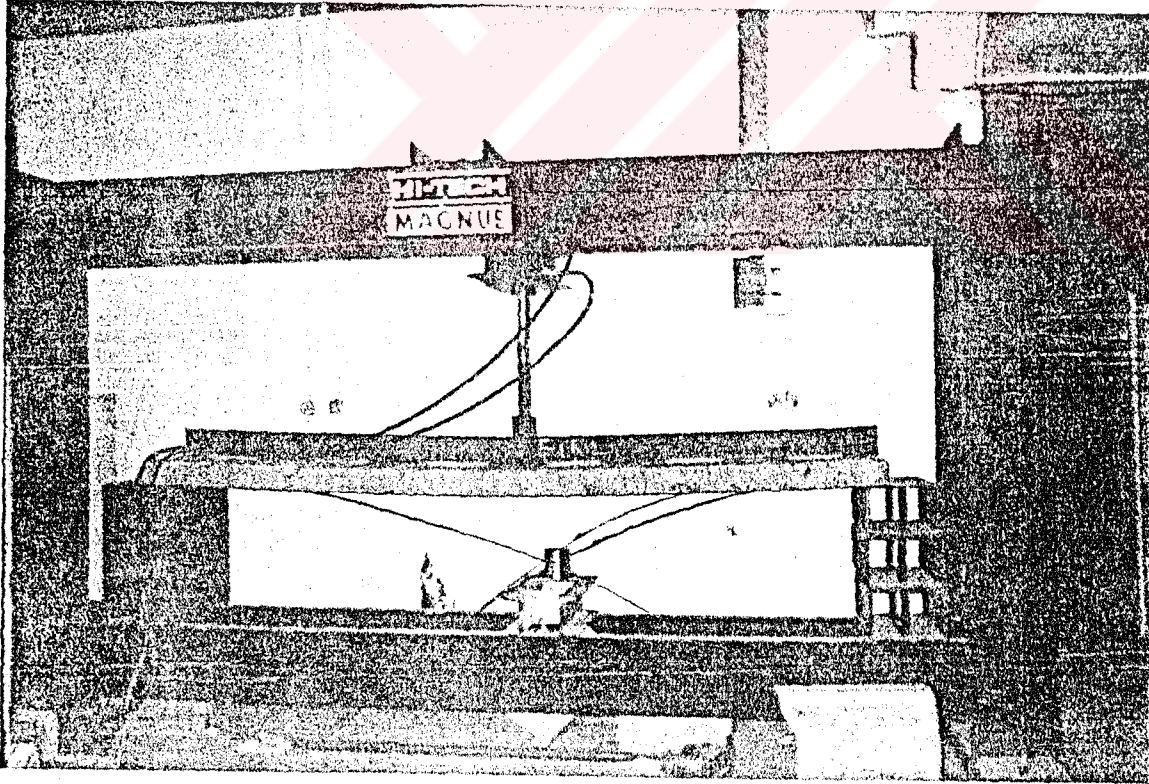
Şekil A.7. EPR 4 Kirişine Yük Uygulanmasına Başlanması



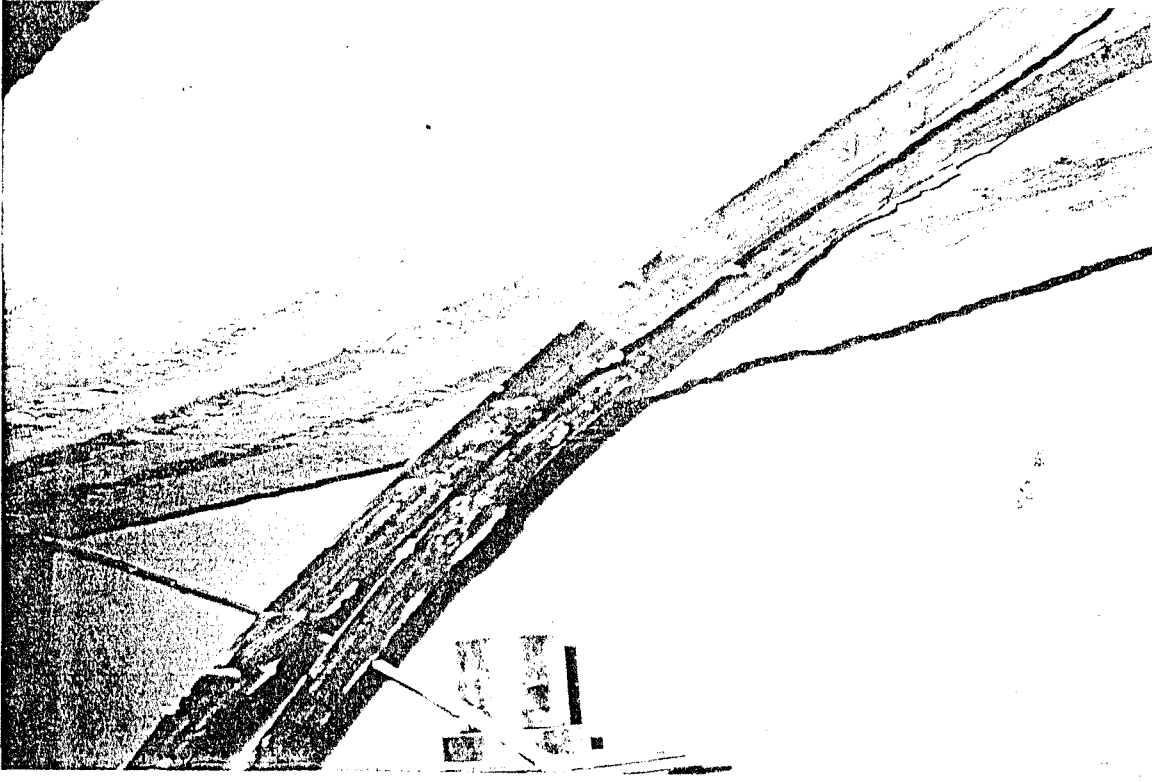
Şekil A.8. Karbodur Elemanlarının Kirişteki Durumu



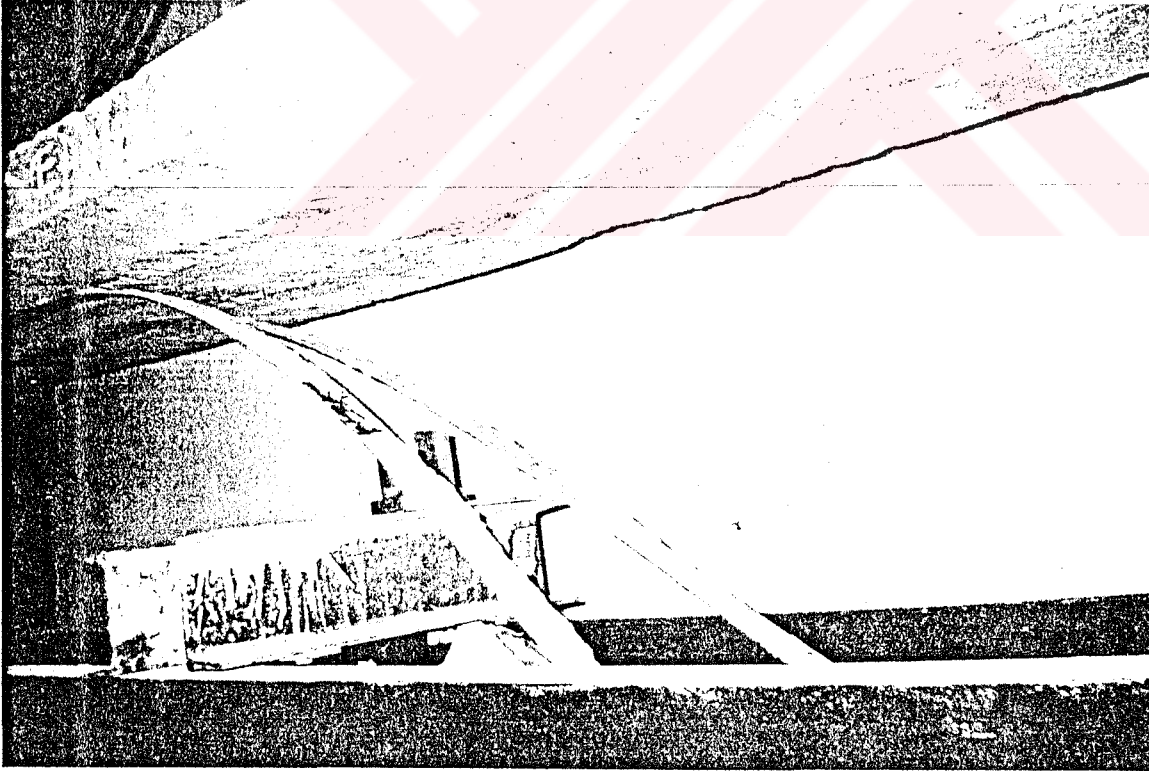
Şekil A.9. Karbodur Elemanlarının Kirişteki Durumu



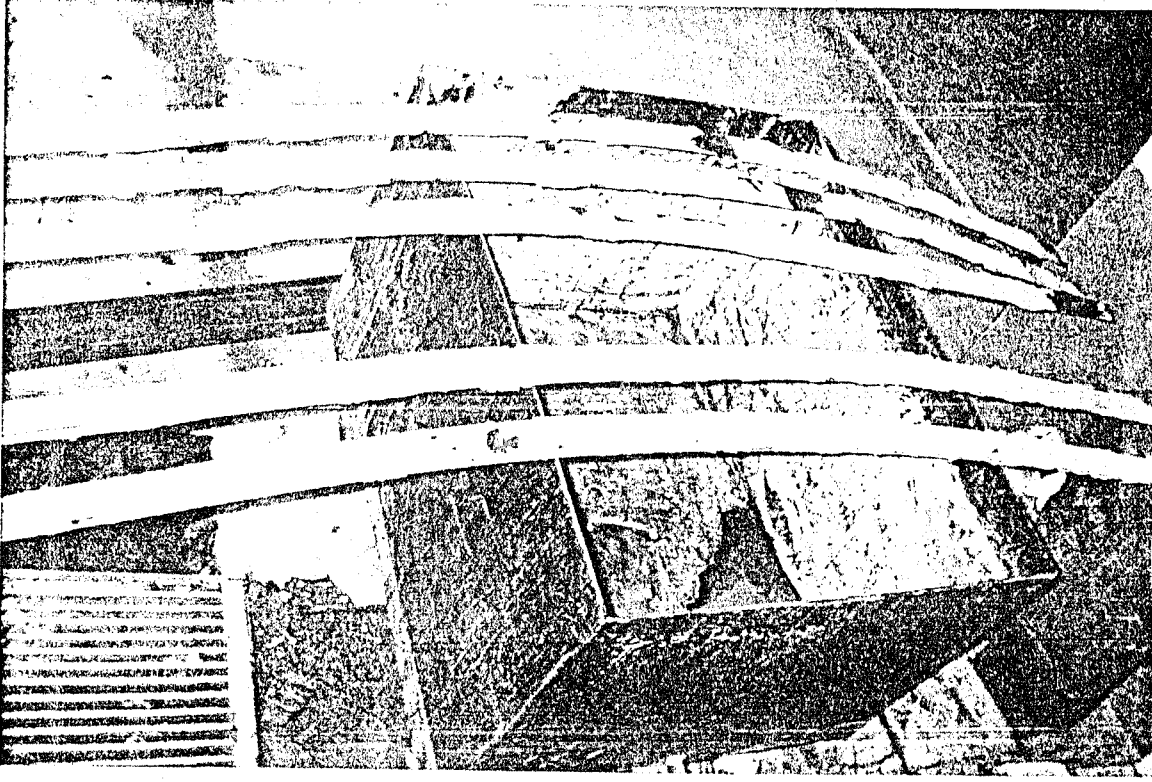
Şekil A.10. EPR 2 Kirişine Yük Uygulanması



Şekil A.11 Karbodur Elemanlarının Betonarme Plaktan Ayrılması



Şekil A.12. Karbodur Elemanlarının Betonarme Plaktan Ayrılması

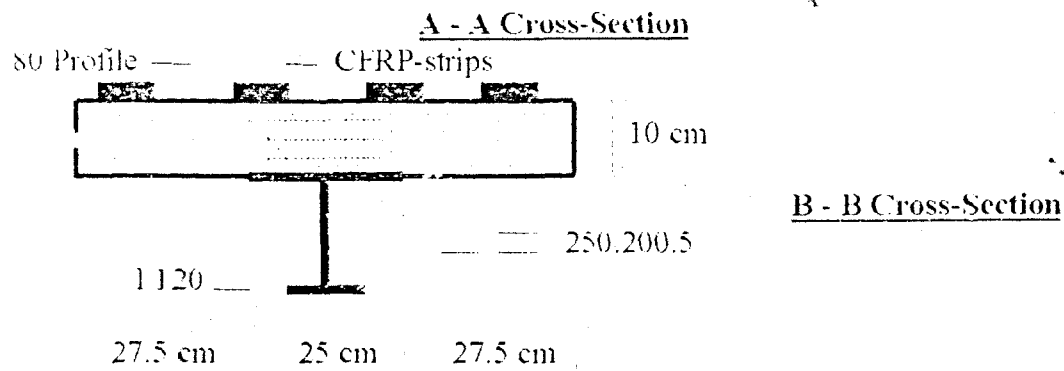
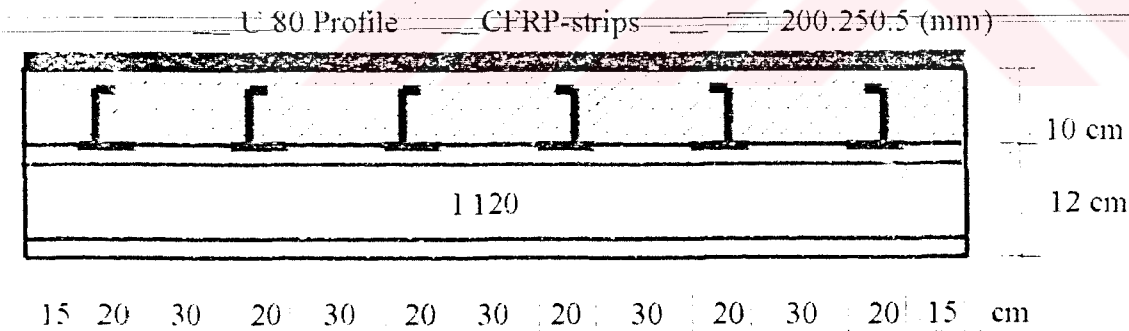
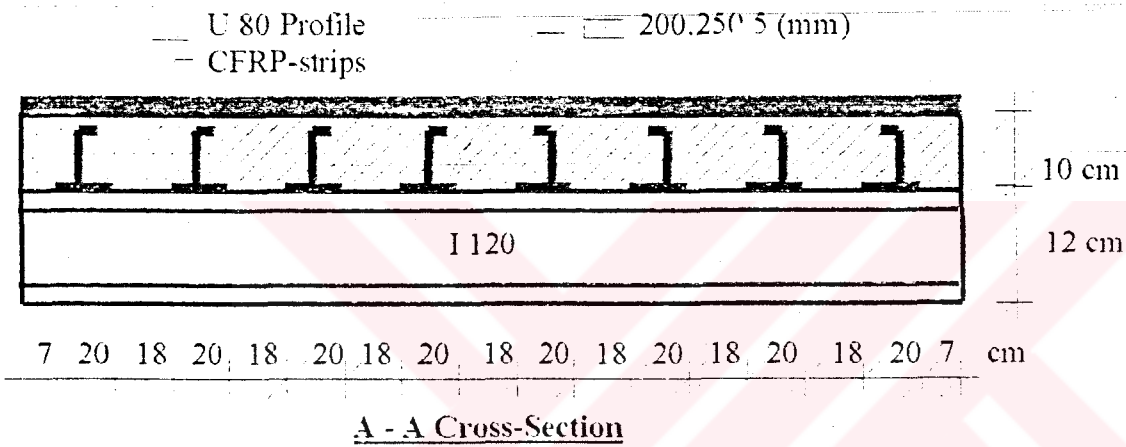
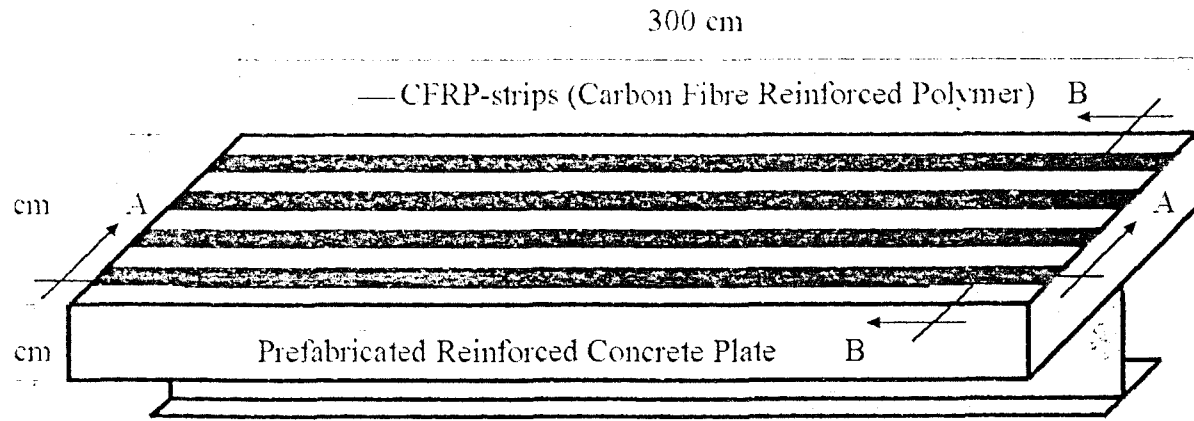


Şekil A.13. Karbodur Elemanlarının Betonarme Plaktan Ayrıldıktan Sonraki Görünümleri

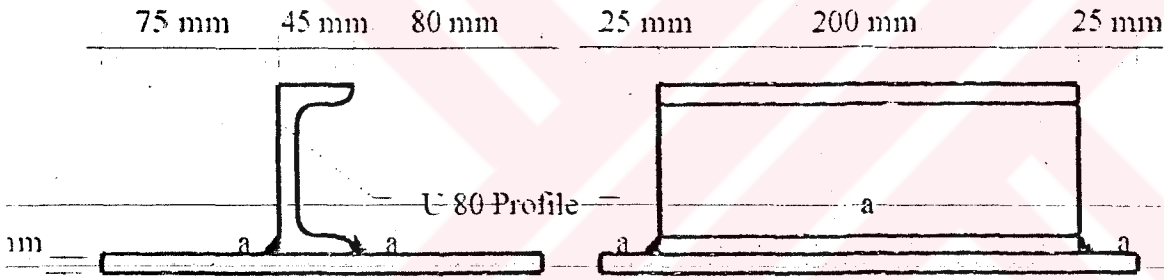
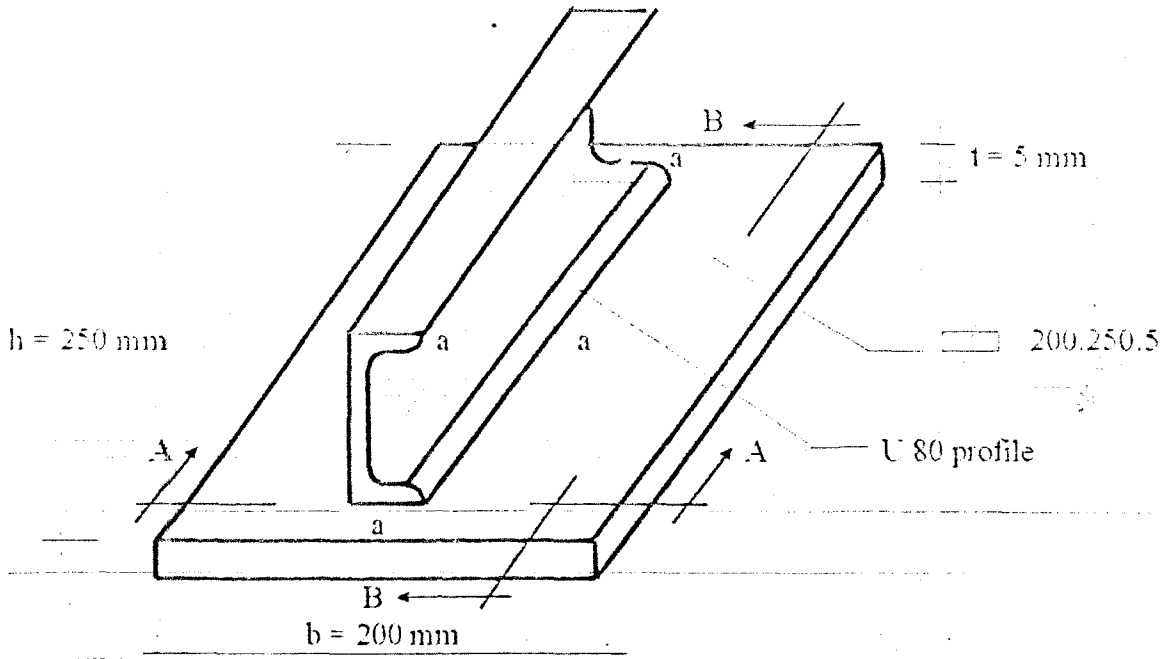


Şekil A.14. Betonarme Plağın Karbodur Elemanları Ayrıldıktan Sonraki Görünümü

EK B DENEYDE KULLANILAN KİRİŞ BOYUTLARI

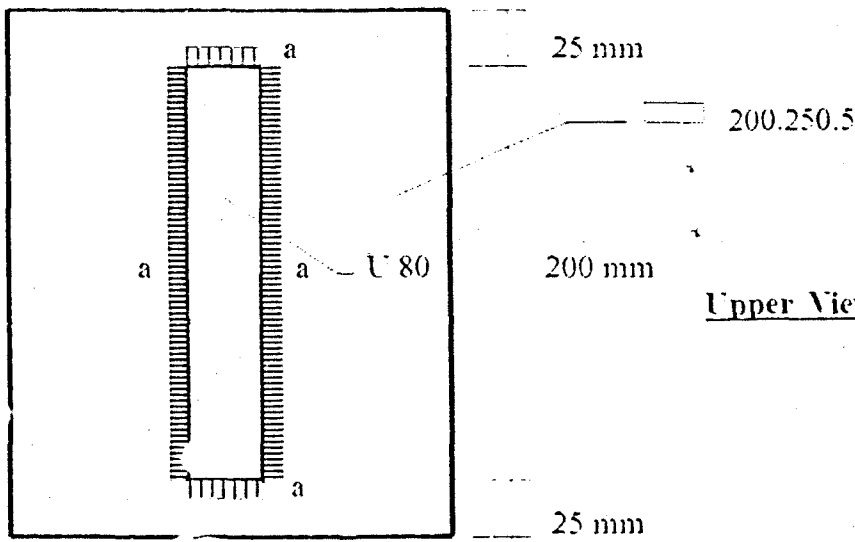


EK B.1. Deneylerde Kullanılan Eprüvet Boyutları



A - A Cross-Section

B - B Cross-Section



Şekil B.2. Kayma Bağlantı Elemanlarının Detayları

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Bitlis İli, Ahlat ilçesinde doğdu. Orta ve lise tahsilini Bitlis Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1993 yılında Dicle Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1994 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yaptı. 1997 yılının Ekim ayında mezun oldu. Aynı yıl SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Halen yüksek lisans çalışmalarını sürdürmektedir.

