

T. C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EPOKSİ ESASLI ONARIM HARÇLARIYLA
GÜÇLENDİRME

METİN KIRTEKE

YÜKSEK LİSANS TEZİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2019

Tezin Başlığı: Epoksi Esaslı Onarım Harçlarıyla Güçlendirme

Tezi Hazırlayan: Metin KIRTEKE

Sınav Tarihi: 16/07/2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYAZ

.....

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN

.....

İnönü Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ

.....

Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ Epoksi Esaslı Onarım Harçlarıyla Güçlendirme” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu bütün samimiyetimle teyit ederim.

Metin KIRTEKE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Epoksi Esaslı Onarım Harçlarıyla Güçlendirme

Metin KIRTEKE

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
94 + xiii sayfa
2019

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Yaşar AYZ

Epoksi reçineler, inşaat alanında yaygın kullanılan polimer kaynaklı bir malzemedir. Onarım sırasında uygun çatlakların doldurulmasında, sonradan betonun içine eklenecek çelik donatıların yerleştirilmesinde ve güçlendirmede betonarme elemanlara güçlendirme elemanlarının yapıştırılmasında kullanılırlar. Son yıllarda yaşanan depremlerden sonra onarım ve güçlendirme konusu önem kazanmıştır. Yapıların onarım ve güçlendirme çalışmaları meydana gelebilecek depremlerde yapı güvenliğinin artırılması ve donatı korozyonu, sehim, yangın hasarları ve yapısal kusurlar gibi problemlerin elimine edilmesine yöneliktir. Bu çalışmada sadece epoksi harcı kullanılarak pratik bir güçlendirme uygulamasının yapılması araştırılmıştır. Bunun için, dikdörtgen kesitli betonarme kiriş elemanları sikadur-31 epoksi malzemesi ile güçlendirilmiştir.

Deneylerde; 2 m boyunda ve 0.15x0.25 m kesitli, 10 adet betonarme kiriş kullanılmıştır. Kontrol numunesi olarak iki adet yalın kiriş kullanılmıştır. Güçlendirme için ise iki adet, 5 mm kalınlığında epoksi ile güçlendirilmiş kiriş, iki adet elyaf lif katkılı epoksi ile güçlendirilmiş kiriş, iki adet çelik lif katkılı epoksi ile güçlendirilmiş kiriş ve iki adet çelik lif katkılı epoksi ile üç yüzü güçlendirilmiş kiriş kullanılmıştır. Güçlendirilen kirişler dört nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları yük-deplasman grafikleri şeklinde ve tablolar halinde verilmiştir. Deneyisel çalışmaların neticesinde sikadur-31 epoksi malzemesinin güçlendirme çalışmaları için uygun ve kullanılabilir bir malzeme olduğu gözlemlenmiştir. Epoksi reçinesi uygulamada içerisine katılan liflere bağlı olarak, güçlendirilmiş betonarme kirişlerin yalın betonarme kirişlerine oranla

taşıyabileceği maksimum yük miktarının %10.7 ile %20.0 arasında arttığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Eğilme Davranışı, Epoksi esaslı harçlar, Elyaf lifler, Çelik lifler, Sıva ile Güçlendirme



ABSTRACT

MSc Thesis

EPOXY BASED REPAIR MATERIALS STRENGTHENING

Metin KIRTEKE

Inonu University

**Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

94 + xiii pages
2019

Supervisor: Assit. Prof. Dr. Yaşar AYAZ

Epoxy resins are a polymer-based material commonly used in construction. They are used to fill the appropriate cracks during the repair, to place the steel reinforcement to be added to the concrete afterwards and to bond the reinforcement elements to the reinforced concrete elements. After the earthquakes in recent years, the issue of repair and strengthening has gained importance. The repair and strengthening works of the buildings are aimed at increasing the safety of the building and eliminating the problems such as reinforcement corrosion, deflection, fire damage and structural defects in the earthquakes that may occur. In this study, a practical reinforcement application was investigated using only epoxy mortar. For this purpose, rectangular reinforced concrete beam elements are reinforced with sikadur-31 epoxy material. In experiments; 10 reinforced concrete beams, 2 m in length and 0.15x0.25m in section, were used. Two beams were used as control sample. For reinforcement, two beams strengthened with 5 mm thick epoxy resin, two beams strengthened with 5 mm thick fiber-reinforced epoxy resin, two beams strengthened with 5 mm thick steel fiber-reinforced epoxy resin and two beams strengthened with 5 mm thick steel fiber-reinforced epoxy resin with on sides,. Reinforced beams were subjected to four point bending test. The test results are given in the form of load-displacement graphs and tables. As a result of the experimental studies, it has been observed that sikadur-31 epoxy material is a suitable and usable material for strengthening studies. Depending on the fibers included in the application of epoxy resin, it was determined that the

maximum load amount of reinforced concrete beams compared to plain concrete beams increased between 10.7% and 20.0%.

KEYWORDS: Bending behavior, Epoxy based mortars, Glass fibers, Steel fibers, strengthening with plaster



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgemedi beni yönlendiren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYAZ' a teşekkürlerimi ve saygılarımı arz ederim.

Tezin deney ve analiz kısmında yardımını esirgemeyen ve yol gösteren hocam Öğr. Grv. Mahmut BAŞSÜRÜCÜ'ye ;

Yüksek Lisans sürecine beraber başladığımız ve her adımında yardım ve desteğini esirgemeyen eşim Peyzaj Yüksek Mimarı Merve KIRTEKE' ye;

Ayrıca eğitim hayatım boyunca bana maddi manevi her konuda destek veren çok kıymetli Ailem' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu Çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi İÜ-BAP 2016/95 Y. Lisans numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	İ
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KONUYLA İLGİLİ DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Karbon Lifli Kumaşlar Yapıştırılarak Yapılan Kiriş Onarımı ve Güçlendirilmesi	4
2.2. Çelik Levha Yapıştırılması ile Kiriş Onarımı ve Güçlendirilmesi.....	6
2.3. Betonarme İle Kiriş Onarımı Ve Güçlendirmesi	15
3. METARYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Epoksi	20
3.2. Epoksinin Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri.....	23
3.3. Kohezyon	23
3.4. Adhezyon	24
3.4.1. Mekanik Adhezyon	24
3. 4. 2. Spesifik Adhezyon	24
3. 4. 3. Elektrostatik Çekim.....	25

3. 5.	Viskozite.....	25
3. 6.	Penetrasyon.....	26
3. 7.	Kür ve Su ile Reaksiyon.....	26
3. 8.	Yapıştırıcı Derzinde Hava Kabarcıkları Oluşması	27
3.9.	Epoksi Yapıştırıcıların Prepolimer Ürünleri	27
3.9.1.	Katı Epiklorhidrin Bisfenol A Reçineleri	27
3.9.2.	Novalac Reçineleri	27
3.9.3.	Esnek Epoksi Reçineleri	28
3.10.	Mekanik Özellikleri	28
3.11.	Diğer Özellikler	28
3.12.	Epoksi Reçineler İçin Katkı Maddeleri Ve Değiştiriciler	29
3. 12.1.	Sıvılandırıcılar.....	29
3.12.2.	Non- Epoksi Esaslı Sıvılandırıcılar.....	31
3.12.3.	Dolgu Malzemeleri.....	32
3.12.3.1.	Fiziksel ve Mekanik Özellikler	32
3.12.3.2.	Termal Karakteristikler	33
3.12.3.3.	Rötre (Büzülme).....	33
3.12.3.4.	Elektrik İletkenliği	34
3.12.3.5.	Akışkanlık	34
3.12.3.6.	Sertlik (Dayanıklılık)	34
3.13.	Deney Malzemeleri ve Özellikleri	35
3.13.1.	Kalıp.....	36
3.13.2.	Donatı.....	37
3.13.3.	Beton	38
3.13.4.	Epoksi bazlı yapıştırıcı.....	39
3.13.5.	Çelik Lif Özellikleri	41

3.13.6.	Elyaf Lif Özellikleri	43
3.14.	Deneyde kullanılan malzeme ve izlenilen yöntem	46
3.14.1.	Deney Elemanlarının İsimlendirilmesi	47
3.15.	Deney Elemanları	48
3.15.1.	Deney Malzemelerinin Hazırlanışı	49
3.15.2.	Yükleme Düzeneği.....	51
3.15.3.	Ölçüm Tekniği	53
3.15.4.	Deney Aşaması	54
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	55
4.1.	Beton Basınç Deneyi	55
4.2.	Donatı Çeliği Çekme Deneyi	56
4.3.	Yalın kirişler Üzerinde Yapılan Eğilme Deneyleri	58
4.4.	Güçlendirilmiş Kirişler Üzerinde Yapılan Eğilme Deneyleri	64
4.5.	Elyafli Epoksi Harçlı Kirişte Eğilme Deneyi	67
4.6.	Çelik Lifli Harçlı Kirişlerde Eğilme Deneyi.....	70
4.7.	Yalın Kirişler ile Güçlendirilmiş Kirişlerin Kıyaslanması	76
4.8.	Hasarlı kirişlerin Tekrar Güçlendirilip Üzerinde Yapılan Eğilme Deneyleri.....	80
4.9.	Güçlendirilmemiş Kiriş ile Hasarlı Güçlendirilmiş Kirişlerin Kıyaslanması KE1 Ve KY12 -KY22	85
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	86
7.	KAYNAKLAR	89
8.	ÖZGEÇMİŞ	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

BFRP	Bazalt fiber takviyeli polimer
CFRP	Karbon fiber takviyeli polimer
CFS	Karbon fiber tabaka
CNT	Karbon nanotüp
CTP	Cam elyaf takviyeli polyester
FRP	Lif takviyeli polimer
GFRP	Cam elyaf takviyeli polyester
Hİ-CFRP	Yüksek Elastisite modüllü karbon fiber takviyeli polimer
HSF	Çelikle güçlendirilmiş fiber kumaş
KEE1	Elyaf lifli Epoksi harç ile güçlendirilmiş betonarme kiriş
KEÇ2	Çelik lifli Epoksi harç ile güçlendirilmiş betonarme kiriş
KEÇ3-1	Çelik lifli Epoksi harç ile güçlendirilmiş betonarme kiriş
KE1	Epoksi ile güçlendirilmiş betonarme kiriş
KY	Yalın betonarme kiriş
LVDT	Deplasman ölçüm aleti
PP	Polipropilen
KY12	Epoksi ile güçlendirilmiş hasarlı betonarme kiriş

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil.2.1.	Arslan'ın Çalışmasının Sonuç Grafikleri.....	8
Şekil.3. 1.	Çok Fonksiyonlu Epoksi Bileşikleri [21].	31
Şekil.3. 2.	Trifenil Fosfat ve Bütrolaktone [21].	32
Şekil.3. 3.	Çatlak Birleştirme [21].	35
Şekil.3. 4.	Projede Kullanılmak Üzere Hazırlanmış Kalıp Malzemesi.....	37
Şekil.3.5.	Projede Kullanılacak Donatıların Hazırlanması	38
Şekil.3.6.	Projede Kullanılan Betonun Kalıplara Dökülmesi	39
Şekil.3.7.	Deneyde Kullanılan Çelik Lif.....	43
Şekil.3.8.	Deneyde Kullanılan Elyaf Lif.....	46
Şekil.3. 9.	Deneylerde Kullanılan Plywood Kalıplar	46
Şekil.3.10.	KY-1 Ve KY-2 Deney Elemanlarının Detaylandırılması.....	48
Şekil.3.11.	KE-1, KE-2, KEÇ-1, KEÇ-2, KEE-1 Ve KEE-2 Deney Elemanlarının Detaylandırılması	. 48
Şekil.3.12.	3 Yüzü Çelik Lifli Epoksi Esaslı Harçlı KEÇ3-1 Ve KEÇ3-2 Deney Elemanlarının Detaylandırılması	. 49
Şekil.3.13.	Epoksinin Karıştırılması	49
Şekil.3.14.	Betonun Dökülmesi	50
Şekil.3.15.	Betonun Dökülmesi	51

Şekil.3.16.	Eğilme Deney Düzeneği	52
Şekil.3.17.	Eğilme Deney Düzeneğinin Detaylandırılması	53
Şekil.4.1.	Kür Süresi Tamamlanan Numunelerin Basınç Dayanım Testine Tabi Tutulması.....	55
Şekil.4.2.	Donatı çeliği çekme deneyi.....	57
Şekil.4.3.	Donatı Çeliği Gerilme-Uzama Grafikleri	58
Şekil.4.4.	Referans Kirişlerin Deney Öncesi Fotoğrafları	59
Şekil.4.5.	Referans Kirişlerin Deney Sonrası Fotoğrafları	61
Şekil.4.6.	Referans Kirişlerin Yük-Deplasman Grafikleri	62
Şekil.4.7.	KY-1,KY-2 Kirişlerinin Ortalama Değer Grafiği.....	62
Şekil.4.8.	KY-1 ,KY-2 Kirişleri Üzerinde Görülen Kırılma-Çatlak Fotoğrafi.....	63
Şekil.4.9.	Moment Hesap Gösterimi (Ölçüler mm cinsindendir).	64
Şekil.4.10.	KE-1 Ve KE-2 Deney Öncesi Ve Sonrası Fotoğrafları	65
Şekil.4.11.	KE-1 Ve KE-2 Kirişlerinin Yük-Deplasman Grafikleri	66
Şekil.4.12.	KE-1 Ve KE-2 Kirişlerinin Ortalama Değer Grafiği.....	66
Şekil.4.13.	KE-1 ,KE-2 Kirişleri Üzerinde Görülen Kırılma-Çatlak Fotoğrafi.....	67
Şekil.4.14.	Elyaf Lifli Epoksi Harç ile Güçlendirilmiş Kirişler.....	68
Şekil.4.15.	KEE-1 Ve KEE-2 Kirişlerinin Yük-Deplasman Grafikleri	69
Şekil.4.16.	KEE-1 Ve KEE-2 Kirişlerinin Ortalama Değer Grafiği	69
Şekil.4.17.	KEE-1,KEE-2 Kirişleri Üzerinde Görülen Kırılma-Çatlak Fotoğrafi.....	70
Şekil.4.18.	Çelik Lifli Epoksi Harç ile Güçlendirilmiş Kirişler.....	71
Şekil.4.19.	KEÇ-1 Ve KEÇ-2 Kirişlerinin Yük- Deplasman Grafikleri.....	72
Şekil.4.20.	KEÇ-1 Ve KEÇ-2 Kirişlerinin Ortalama Grafiği	72

Şekil.4.21.	Çelik Lifli Harç ile Güçlendirilmiş Kirişler (3 Yüzü)	74
Şekil.4.22.	KEÇ3-1 Ve KEÇ3-2 Kirişlerinin Yük-Deplasman Grafikleri.....	75
Şekil.4.23.	KEÇ3-1 Ve KEÇ3-2 Kirişlerinin Ortalama Değer Grafiği.....	75
Şekil.4.24.	KEÇ3-1 Kirişi Üzerinde Görülen Kırılma-Çatlak Fotoğrafı	76
Şekil.4.25.	KY, KEE, KEÇ, KEÇ-3, KE Kirişlerinin Ortalama Yük- Deplasman Grafikleri	77
Şekil.4.26.	KY, KEE, KEÇ, KEÇ-3, KE Kirişlerinin Ortalama Moment Deplasman Grafiği.	78
Şekil.4.27.	Deneyde Kullanılan Hasarlı Kirişler.....	81
Şekil.4.28.	Güçlendirilmemiş Hasarlı Kiriş KE1 Deney Öncesi Fotoğrafı	81
Şekil.4.29.	İlk Defa Kırılan KE1 Ve Hasarlı Olarak Kırılan KE1 Kirişinin Yük-Deplasman Grafiği.....	82
Şekil.4.30.	KY12 Ve KY22 Deney Öncesi Fotoğrafları.....	83
Şekil.4.31.	KY12 Ve KY22 Deney Sonrası Fotoğrafları.....	83
Şekil.4.32.	KY1-2 Ort. / KY12-22 Ort. Yük –Deplasman Grafiği	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge.3. 1. Epoksi Sistemi Ve Betonun Kimyasal Özellikleri.....	23
Çizelge.3.2. Epoksi Sistem Ve Betonun Mekanik Özellikleri [17].	28
Çizelge.3.3. Epoksi Ve Epoksi Harcının Mekanik Özellikleri [20].....	28
Çizelge.3.4. Kullanılan Epoksi Malzemesinin Basınç Dayanımı	41
Çizelge.3.5. Kullanılan Epoksi Malzemenin Eğilmede Çekme Dayanımı	41
Çizelge.3. 6. Lif Takviyeli Betonların Bazı Özelliklerinde Matris Malzemesinin	. 42
Çizelge.3.7. Farklı Çelik Lif Tipi Örnekleri	43
Çizelge.3. 8. Elyaf Lif Çeşitleri	45
Çizelge.3. 9. Deney Elemanlarının Adlandırılması	47
Çizelge.4.1. Karakteristik Basınç Dayanım Değerleri	56
Çizelge.4.2. Donatı Özellikleri	57
Çizelge.4.3. Deney Sonucunda Elde Edilen Veriler	80
Çizelge.4.4. Deney Sonucunda Elde Edilen Veriler	85

1.GİRİŞ

Ülkemizde yerleşim alanlarının büyük bir çoğunluğu deprem riski altındadır. Yapılan istatistiksel analizler her sekiz ayda bir ülkemizde hasar yapıcı depremin meydana geldiğini göstermektedir. Birçoğu orta büyüklükteki bu depremler kırsal-kentsel, gelişmiş-gelişmemiş bölge farkı olmaksızın ağır hasarlara ve ekonomik kayıplara sebep olmuştur. [1]. Ülkemizin öncelikli konularından birisi de depremde ağır hasar görme/yıkılma riski taşıyan yapı stokunun hızlı bir şekilde iyileştirilmesidir [2].

Mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, yüksek yapışma dayanımları, düşük maliyetleri, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları sebebiyle kimyasal ankrajlar sıklıkla kullanılmaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremlerden sonra onarım ve güçlendirme uygulamalarının son derece ciddi olduğu daha da iyi kavranmış ve yapılan yönetmelik çalışmalarında da bu kısma ayrıca bir bölüm ayrılmıştır[3].

Beton sahip olduğu özelliklerinden dolayı en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Yaşadığımız çevredeki hemen hemen tüm barınma ve alt yapı tesislerinin yapımında kullanılan temel malzeme betondur. Hızla nüfusu artan dünyada önümüzdeki yıllarda da kullanımı, kolay ve basit yapılabilirliğiyle, ekonomikliğiyle ve sahip olduğu teknik özellikleriyle kullanılmaya devam edecektir [4].

Betonun zayıf özelliklerinin belirgin olarak iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton içerisine değişik malzemeler katılarak teknik özellikleri geliştirilebilmektedir [5].

Betonarme yapılarda veya yapı elemanlarında kullanım sırasında zamanla güçlendirme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaç deprem sonucu ortaya çıkabildiği gibi kullanım amacı veya servis yükleri değişen yapılar için de söz konusu olmaktadır. Bir başka güçlendirme gereği de deprem yönetmeliklerinin değiştirilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Betonarme yapı elemanlarının onarım ve güçlendirmesinde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Taşıyıcı sisteme yeni betonarme elemanlar ilave etmek ve/veya yapı elemanlarının betonarme mantolanması kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Ancak bu yöntemler ile yapılan güçlendirmenin yapı ağırlığını önemli ölçüde arttırdığı ve özellikle

yumuşak zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda zemin taşıma gücünün aşılmasına, buna bağlı olarak temel sisteminde ilave düzenlemelere ve maliyet artışlarına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yapı ağırlığını arttırmayan, kolay ve hızlı uygulanabilen, elemanların kapasitelerini önemli ölçüde arttıran FRP uygulamaları ön plana çıkmaktadır [6].

Bu yöntemle kiriş, kolon, perde, taşıyıcı duvar ve kat döşemeleri gibi taşıyıcı elemanlar da hızlı ve etkili bir güçlendirme yapılabilmektedir [7].

Betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde, karbon elyafı çekme yüzeyine epoksi ile yapıştırmak etkili bir tekniktir. Deneyler, güçlendirilmiş kirişlerin, kiriş uzunluğu boyunca güçlendirilmiş bölgede elyafın yapıştırıldığı beton tabakada yerel kopmaların ve ayrılmaların olduğunu göstermektedir. Bunun yanında eğilmeye bağlı çatlamlar ve göçme durumları da meydana gelmektedir [8].

FRP elyaflarla güçlendirilmiş hasarlı betonarme kirişlerin davranışını belirlemek için yapılan deneysel çalışmalarda, kirişin eğilme ve kesme mukavemetini arttırmak amacıyla çekme bölgesine ve çevresine farklı açılarda FRP malzemenin epoksi ile yapıştırılması yaygındır. Bu şekilde Fiber düzenlemelerine bağlı olarak kırılmanın farklı türlerini ve kiriş mukavemetinde meydana gelen artışları gözlemlemek mümkündür [9] .

FRP liflerin farklı açılarda sarılmasıyla oluşturulan deney kirişlerinin yük altındaki davranışlarını incelemek için yapılan eğilme deneylerinde FRP kaplanmış kirişlerin güçlendirilmemiş normal kirişlerden %53 daha fazla yük taşıdığı gözlemlenmiştir [10].

En uygun onarım malzemesinin seçimindeki genel prensip, özellikleri onarılacak alt tabakaya en yakın olan malzemeyi seçmektir. Dolayısıyla, onarım malzemesi;

- Alt tabaka ile yaklaşık eşit Elastisite Modülü,
- Alt tabaka ile yaklaşık eşit termal katsayı,
- Çok düşük kuruma rötresi,
- Yüksek eğilme dayanımı ve aderans,
- Termal değişmelere dayanıklılık,

- Düşük geçirimsizlik,
- Karbondioksit, klor, sülfat vb. kimyasallara dayanıklılık,
- Kullanım kolaylığı

gibi özellikleri taşımaktadır.

Hasar görmüş yapıların onarım ve güçlendirme işlemlerinde, sertleşmiş betona yeni elemanların ilave edilmesinde kimyasal bir bağlayıcı olan epoksi malzemesi sıkça kullanılmaktadır. Kimyasal yapıştırıcılar ile yapılan ankrajların hızlı ve pratik olması imalatları oldukça cazip kılmıştır. Özellikle betonarme yapıların onarılması ve güçlendirilmesi uygulamalarında ihtiyaç duyulan donatı ankrajları için uygun görülen kimyasal ankrajlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal ankraj uygulamalarında kullanılan kimyasal bağlayıcı olarak da kimyasallara karşı dirençleri, dayanaklıkları, esnek oluşları ve iyi yapışma özellikleri nedeniyle Epoksi malzemesi tercih edilmektedir[11].

Onarım ve güçlendirme işleri için çok farklı epoksi ürünler bulunmaktadır. Bu ürünleri bileşenleri ve içerikleri yönünden iki gruba ayırabiliriz. Bileşenleri bakımından tek, iki ve üç bileşenli ürünler mevcuttur. Bu ürünlerden bazıları da hazır kartuşlarda satılmaktadır. Karışımı uygulayıcıların yaptığı ürün gruplarında, homojen bir karışım elde etmek daha zordur. İçerikleri bakımından da epoksi esaslı, akrilat esaslı, metakrilat esaslı, poliestere esaslı gibi ürün grupları bulunmaktadır.

Bu çalışmada ana taşıyıcı elemanlarından bir tanesi olan kirişin epoksi malzemelerinden biri olan Sikadur-31 epoksi esaslı yapıştırıcı malzemesi kullanılarak güçlendirilmesi araştırılmıştır. Burada amaç herhangi bir güçlendirme malzemesi kullanmadan kirişin sadece epoksi sıva ile sıvanmasıyla pratik bir güçlendirme yönteminin uygulanmasıdır. Kirişler için C30/37 sınıfı beton tercih edilmiş olup, içerisinde S420 sınıflı donatı malzemesi kullanılmıştır. Kirişlerimizin basınç bölgesinde 2Ø10, çekme bölgesinde 2Ø12, kesme etkisini alması için ise Ø10/115 mm aralıklarında etriye kullanılmıştır. Deneysel çalışmada ilk olarak güçlendirme yapılmamış iki adet (1 takım) yalın kiriş ve sekiz adet (4 takım) güçlendirme yapılmış betonarme kiriş olmak üzere toplam on adet kiriş hazırlanmıştır. Hazırlanan kirişler dört nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Güçlendirilmiş kirişlerden ikisi sadece Sikadur-31 epoksi malzemesi

ile tek yüzeyi (çekme bölgesi) 5 mm kalınlığında kirişlere uygulanmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerden ikisi elyaf lifli Sikadur-31 epoksi malzemesi ile tek yüzeyi (çekme bölgesi) 5 mm kalınlığında kirişlere uygulanmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerden ikisi çelik lifli Sikadur-31 epoksi malzemesi ile tek yüzeyi (çekme bölgesi) 5 mm kalınlığında kirişlere uygulanmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerden ikisi çelik lifli Sikadur-31 epoksi malzemesi ile üç yüzeyi (çekme ve kesme bölgesi) 5 mm kalınlığında kirişlere uygulanmıştır. Çalışmada epoksi esaslı harçlardan Sikadur-31 epoksi malzemesinin güçlendirme üzerine etkisinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

2.KONUyla İLGİLİ DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Betonarme yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesi ile ilgili çalışmaları her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar dört grupta değerlendirilebilir. Bunlar,

- Karbon lifli kumaşlar yapıştırılarak yapılan iyileştirme çalışmaları,
- Çelik levha yapıştırılması ile kiriş onarımı ve güçlendirmesiyle ilgili çalışmalar,
- Betonarme katman ekleme yolu ile kiriş onarımı ve güçlendirmesiyle ilgili çalışmalar,
- Deneysel bir araştırmaya dayanmayan uygulama niteliğindeki çalışmalardır.

Bu konularda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

2.1.Karbon Lifli Kumaşlar Yapıştırılarak Yapılan Kiriş Onarımı ve Güçlendirilmesi

Li, John ve Maricherla 2006 yılı içerisinde yaptıkları çalışmada kirişlerde daha büyük ara yüz kesme kuvveti elde etmek için yeni bir hibrit sargılama yöntemi geliştirmişlerdir. Oluşturulan bu hibrit kompoze tüp, ortası beton, betonun etrafı ince bir fiber güçlendirilmiş polimer (FRP) tabaka ve etrafında hazırlanan ve deney gruplarına göre çeşitlilik gösteren çelik levhadan oluşmaktadır.

Uzunluğu 559 mm, yüksekliği ve genişliği 101 mm olan değişken sayıda delikli çelik yüzlerden oluşan 15 adet kare kesitli kiriş numuneleri hazırlanmış delikli çelik levhaların, beton kirişlerin yapısal davranışını nasıl etkilediğini

anlamak için 5 gruba ayrılmıştır. Yalnızca alt yüzü delikli, hem alt hem de üst yüzü delikli, hem alt hem de iki yan yüzü delikli, tüm yüzü delikli ve tüm yan yüzeyleri deliksiz bütün halinde çelik katmanlarla sarılmış olan bütün test gruplarının içleri betonla doldurulup “4 noktalı eğilme testi” uygulanmıştır [26].

Testler sonucunda aynı eksenli basınç kuvvetine maruz kaldığında delikli kesitli tüplerle kaplı beton numunelerin deliksiz olanlara oranla daha yüksek süneklığe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin delikli tüplerle sarılı kirişlerdeki basınç bölgelerinde betonun 3 boyutlu basınç gerilimi yaratması olduğu belirtilmiştir. Delikli sistemler, FRP tabakasının yük taşıma kapasitesinden tam olarak faydalanılırken deliksiz olan örneklerde bu gözlemlenmemiştir. Delikli sistem test örnekleri tipik bir sünek kırılma gösterirken, deliksiz test örnekleri aşırı kuvvetlendirilmesinden ve basınç alanına betonun tek boyutlu basınç gerilimi uygulamasından dolayı gevrek kırılma göstermiştir[26].

Wang 2002 yılında T kesitli betonarme kirişlerin donatı azaltılması sonrası sismik performansı üzerine analitik ve deneysel çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, beton diyagonal çatlaklarının açısının tahmin edilmesi için geleneksel betonarme kesit analizi ve değişken açılı kafes kiriş modelini kullanan sismik değerlendirme modeli; boylamasına donatı azalması sonrası kirişlerin sismik performansını ölçmeye yarayan basit bir model olarak oluşturulmuştur. Değerlendirme modelinin tahmin edilmesi ve mevcut yapı çerçevelerinin buna nasıl karşılık verdiğinin incelenmesi için bir ön hazırlık test programı uygulanmıştır.

Analitik ve deneysel sonuçlar göstermiştir ki; ACI 318-71 gibi eski kodlara göre tasarlanan donatıları kesilmiş betonarme kirişlerin zayıf yönleri bulunmaktadır ve bir şekilde iyileştirmeye gereksinim duyarlar. Fiber güçlendirilmiş plastik (Fiber Reinforced Plastic, FRP) plakalarının varlığı, bu dezavantajları başarılı bir şekilde düzeltmekte ve deprem esnasında maruz kalması beklenen performanstan daha yüksek değerler elde edilmektedir[27].

M.S. Muhammed Ali ve arkadaşları (2001), betonarme kirişlerde kullanılan fibertakviyeli polimer (FRP) plakalar ile çelik plakaların karşılaştırılmasını yapmışlardır. Kiriş ve döşeme yüzeylerinin dayanımlarını ve rijitliklerini arttırmak için çelik plakalar bağlanmakta, ancak bu plakalar tasarım

kuvvetine ulaşmadan önce orijinal kirişten kopabilmektedir. Sıyırılma hareketinden dolayı ortaya çıkan aderans kuvvet azalması plakanın sonuna yakın bölgede gerilmelerin toplanmasından kaynaklanmaktadır.

Basit mesnetli kirişlerin mesnedinde ya da mütemadi kiriş momentinin sıfıra yaklaştığı noktalarda plakaların maruz kaldığı aderans kuvvet kaybını belirlemek için çekme ve basınç yüzlerine yapıştırılan plakalar, kenar plakaları, ‘U’ şeklinde plakalar ve açılı yapıştırılmış plakalar kullanılmıştır. Bu çelik plakaları kullanarak yapılan testler kesme kuvveti sıyırılmasının kritik diyagonal çatlak oluşturduğunda meydana geldiğini ve bu kritik diyagonal çatlağın etriye miktarından bağımsız oluştuğunu göstermiştir. Alt sınır yaklaşımı için etriyesiz betonarme kirişlerin kesme kuvveti; kesme kuvveti olarak kabul edilmiştir. Kirişlerin çekme yüzlerine ya da kenarlarına bağlanan farklı plaka elemanları üzerinde yapılan testler, çelik plakalı kirişler ve FRP plakalı kirişler için eğilme sıyırılma mekanizmasının aynı olduğunu göstermiştir. Çelik plakalı kirişlerin sıyırılma direncinden FRP plakaların eğilme sıyırılma direncinin hesaplanması için kesin olmayan bir bağlantı kurulmuştur.

2.2. Çelik Levha Yapıştırılması ile Kiriş Onarımı ve Güçlendirilmesi

Mehmet Arslan (1991) , eğilme altındaki betonarme kirişlerin taşıma güçlerinin, epoksi ile çelik levha yapıştırarak onarım ve güçlendirilmesini amaçlayan deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada dokuz tane orta ölçekli (150x250x2800 mm) betonarme kiriş monotonik yük altında denenmiştir. Bu kirişlerden altı tanesi epoksi ile yapıştırılmış çelik levhalarla güçlendirilmiş, iki tanesi hasara uğratıldıktan sonra aynı yöntemle onarılmış, dokuzuncusu ise yalın kiriş olarak denenmiş ve karşılaştırma elemanı olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın temel amacı; bu yöntemin katman ekleme yöntemine kıyasla etkinliğini, güçlendirmede kullanılan levha kalınlığı ve uzunluğunun davranış ve dayanımına olan etkilerini, levha uçlarının basta, kaynaklanmış ve uç başlığı ile yerinde tutulmuş hallerinin durumunu, uygulama türünün (yüksüz güçlendirme, yüksüz onarım ve yük altında onarım) etkisini incelemektir.

Çalışmada, simetrik yerleştirilmiş eşit iki tekil yük altında denenilen kirişler 150x250 mm dikdörtgen kesitli olup, sonradan 2x150 mm kesitli ya da 4x150 mm kesitli çelik levhalarla güçlendirilmiş ve yüksüz olarak ya da yük altında

onarılmıştır. Denenen dokuz kirisin tümünde 2Ø14 ($A_s=308 \text{ mm}^2$) çekme donatısı, 2Ø10 ($A_s=157 \text{ mm}^2$) montaj donatısı ve 2x150 mm($A_s=300 \text{ mm}^2$) ya da 4x150 mm ($A_s=600 \text{ mm}^2$) güçlendirme levhası kullanılmıştır. Dokuz deney elemanından biri, güçlendirme ve onarımın davranış ve dayanım üzerindeki etkisini araştırmak için yalın kiriş (referans kirişi) olarak düzenlenmiş olup diğer kirişler;

- Güçlendirme levhası uygulaması (yalın kirişe göre),
- Güçlendirme levha uzunluğu (uzun ya da kısa levha ile güçlendirme),
- Güçlendirme levhası ucunun durumu (boşta, kaynaklı, ya da dik ve eğik başlıklı),
- Güçlendirme levhası kalınlığı (ince ya da kalın levha kullanılması),
- Yüksüz onarım (kiriş yükleri askıya alınarak yapıştırma işleminin yapılması),
- Yüklü onarım (kiriş, yük altında iken yapıştırma işleminin yapılması),

Değişkenlerinin davranış ve dayanım üzerindeki etkileri incelenmiş ve yalın

Kiriş (referans kirişi) ile ve de birbirleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan elemanların isimleri ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir. Şekil 2.1.'de grafikleri sunulmuştur.

YK (R) : Yalın kiriş (referans kirişi)

GKB: Levha kısa ve ince, yüksüz, başlıksız

GUB: Levha uzun ve ince, yüksüz, başlıksız (güçlendirilmiş)

GUK: Levha uzun ve ince, yüksüz, kaynaklı (güçlendirilmiş)

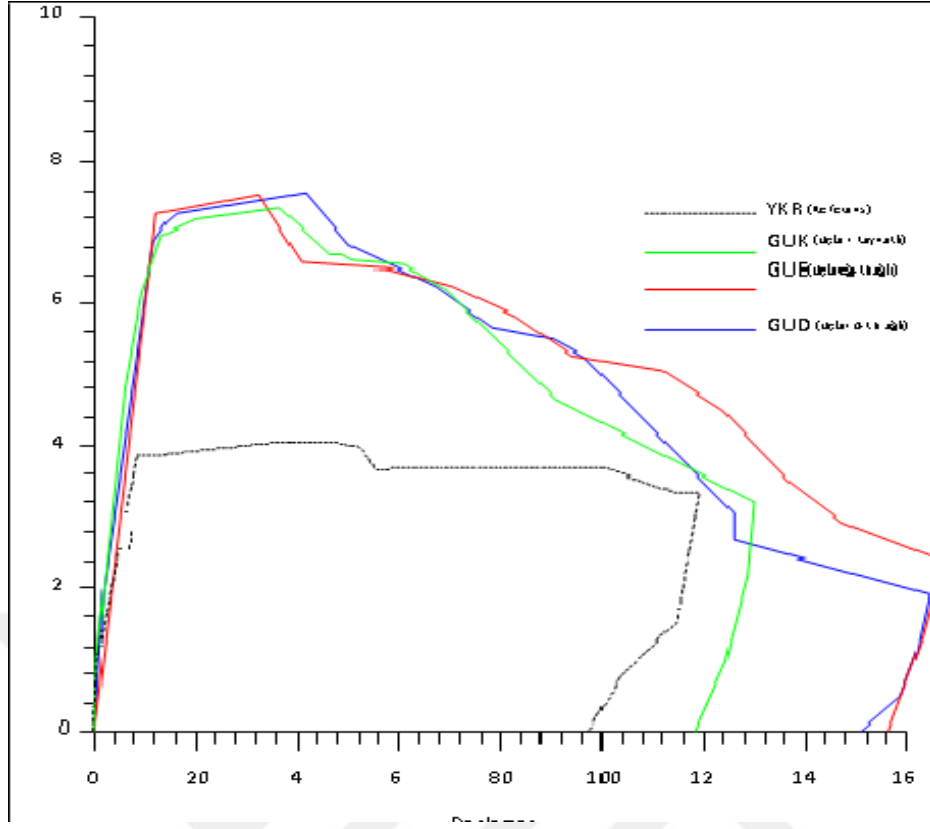
GUE: Levha uzun ve ince, yüksüz, eğik başlıklı (güçlendirilmiş)

GUD: Levha uzun ve ince, yüksüz, dik başlıklı (güçlendirilmiş)

GU'D: Levha uzun ve kalın, yüksüz, başlıklı (güçlendirilmiş)

OD: Levha uzun ve ince, yüksüz, başlıklı (onarılmış)

O'UD: Levha uzun ve ince, yüklü, başlıklı (onarılmış)



Şekil.2. 1.Arslan'ın Çalışmasının Sonuç Grafikleri

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Epoksi ile çelik levha yapıştırma yöntemi ile betonarme kirisin onarım ve güçlendirilmesi başarıyla yapılabilmektedir.
- Kısa levha boyu ile yapılan güçlendirmelerin yetersiz; uzun levha boyu ile yapılan güçlendirmelerin nispeten başarılı ancak tek basına yeterli olmadığı gözlemlenmiştir.
- Plaka uçlarının mutlaka tutturulması gerekmektedir.
- Güçlendirme levhalarının iki ucu eski donatıya kaynaklandığında, ya da başlıklar yardımıyla tutturulduğunda güçlendirme de ve yüksüz onarımda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak yük altında yapılan onarımlar başarılı sonuçlar vermemiştir.
- Yapılan işlemlerde işçilik büyük önem taşımaktadır. Kötü işçilikle yapılan işlemlerin gevrek kırılmalara yol açtığı belirlenmiştir.

- Levha kalınlığının arttırılmasının istenilen dayanımı sağlayabileceği düşünülmemelidir. Levhayı aşırı kalınlaştırma, dayanımı amaçlanan düzeyde arttırmamanın yanı sıra tehlikeli davranışa yol açmaktadır.
- İyi düzenlenmiş, boyu yeterince uzun, uçları sağlıklı biçimde yerinde tutulmuş (yapıştırma işçiliği özenle ve kusursuz biçimde gerçekleştirilmiş) plakalarla yapılan yüksüz onarımda ve güçlendirmede amaçlanan dayanım sağlanabilmekte (yani levha akıtılabilmekte) ancak akma ötesi davranışın betonarme kirişteki kadar iyi olması sağlanamamaktadır. Yukarıda sayılan başarılı kirişlerin tümünde kısa bir platodan ($\approx 2-2,5\delta_y$ kadar) sonra hızlı bir dayanım eksilmesi gözlemlenmiştir. Dayanım yaklaşık $3,5-4\delta_y$ kadar Deplasmanda %80–85 düzeyine düşmektedir.
- İyi düzenlenmiş ve iyi yapıştırılmış levha çok iyi çatlak kontrolü yapmaktadır. Çok sayıda ve genişliği az çatlak oluşmaktadır. Bu nedenle eğrilere çatlama nedeniyle oluşan belirgin bir eğim değişimi (çatlama köşesi) görülmemektedir.
- Çelik levhalar korozyona karşı çok iyi korunmalıdır. Ayrıca yangın durumunda, gerek levha çeliğinin erimesi gerek epoksinin özelliğini kaybetmesi bakımından önemli risk bulunmaktadır [28].

Cengiz Gülenlerin (1977) çalışması, betonarme kirişlerin yapıştırılmış çelik levhalarla onarımını, bu şekilde elde edilen kompozit malzemelerin dayanım ve davranışlarını ve Türkiye’de var olan polimer yapıştırıcıların kullanılabilirliğini incelemek üzere yapılan deneysel bir çalışmadır. 200x300 mm kesitli 4,00 m uzunluğunda dört adet deney elemanı eşit mesafelerle iki tekil çatlak oluşana kadar yüklenmiştir. Daha sonra iki tanesi farklı polimer yapıştırıcı kullanarak çelik levhalarla takviye edilmiştir. Deney elemanlarının bir tanesinde “özel plastik çelik, special no.1” adlı polimer yapıştırıcı, diğerinde ise CIBA-GEIGY firmasının ürünlerinden “Ep-No” adlı yapıştırıcı kullanılmıştır.

Çalışmada yapıştırıcıların nitelikleri de deneysel olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre çelik levhaların tamamen yapıştırılması yerine kısmen yapıştırılması yeterli olmuş, güçlendirilmiş kirişlerden “special no.1” ile yapıştırılan deney modeli çelik levhanın akması ile “Ep-No” ile yapıştırılan deney modeli ise yapıştırıcı yetersizliği nedeniyle kırılmıştır. Yük altında deformasyon durumlarına göre “special no.1” sünek, “Ep-

No” ise gevrek davranış göstermektedir. Bu tür yöntemle, onarılan çatlamış kirişler eski rijitliğine getirilebilmektedir. Ayrıca, onarılan kirişin normal betonarme kiriş gibi davrandığı ve klasik hesaplarla boyutlandırma yapılabileceği görülmüştür [29-30].

Ancak bu çalışmada onarım levhasının kiriş mesnetlerinin içine kadar uzatılmış olması gerçek uygulamaya uygun değildir ve sonuçlar tartışmaya açıktır[28].

J. Alfaiate ve J. Appleton (1986), hasar görmüş betonarme kirişlerin epoksi ile çelik levha yapıştırılarak onarılmasının sonuçlarını araştırmışlardır. Çalışmada onarım öncesi kirişin hasar derecesi, dış donatı olan çelik levhanın sadece epoksi ile yapıştırılması veya çelik levhanın epoksi ile yapıştırılmasından sonra metal çubuklar ile kirişe tespit edilmesi ve çatlak onarımının genel davranışa etkileri parametreleri ele alınmıştır. 16 adet deney modeli kullanılmış, deney modelleri, mesnetlere ve birbirlerine eşit mesafede iki eşit tekil yük uygulanarak denenmiştir [31-28].

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, onarılmış kirişin taşıma gücünün normal kirişin taşıma gücüne ulaşmış olduğu tespit edilmiştir. Çatlakların kontrol altında tutulması ve kirişin kullanılabilirliği açısından onarılan kirişin daha iyi bir davranış gösterdiği görülmüştür. Düşük dayanıma sahip çelik levha kullanılması durumunda, çelik levha yapıştırılarak onarılan kirişin taşıma gücünün, normal kirişlerde kullanılan yöntemle hesaplanabileceği belirlenmiştir. Kiriş modellerinin ikisinde farklı kırılma mekanizması oluşmuş, çelik levha bu modellerde betondan sıyrılmıştır. Bundan dolayı epoksiyle yapıştırılan çelik levhanın uçlarından, metal çubuklar ile kirişe tespit edilmesi uygundur. Ancak bu durumda, kullanılacak metalin boyutları ve yerleşim düzeni problemi oluşmaktadır. Bu sorun çözülürse bu uygulama emniyetli bulunmaktadır[31-28].

R.A.Barnes ve G.C.Mays (2006), çalışmalarında kesme kuvveti bakımından yetersiz olan betonarme kirişlerin, bağ yapılı çelik elemanların değişik şekillerde düzenlenmesiyle güçlendirilmesini incelemişlerdir. Buradaki amaç, bütün güçlendirilmiş test örnekleri için esnek kopma noktası elde etmektir. Test edilen kirişlerdeki sonuçlar, kontrol test örneğinkilerle karşılaştırılmıştır.

Güçlendirme için kullanılan çelik plakların tiplerinin ve düzeninin, test örneklerinin davranışı, mukavemeti, rijitliği, sünekliği ve kopma noktası üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar analitik yaklaşımlarla karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre bütün test örneklerinde ilk çatlama, her zaman kirişteki maksimum eğilme momentinin olduğu bölgede esnek çatlak olarak meydana gelmekte ve bütün dıştan bağlı çelik eleman tipleri kirişin mukavemetini, rijitliğini ve sünekliğini arttırmaktadır. Esnek kopma noktasına kadar kuvvetlendirilen test örneklerinin, kontrol test örneğiyle aynı davranışı göstermekte olduğu belirlenmiştir. Çelik elemanın tipi ve kiriş üzerindeki düzeni süneklik davranışını yönlendiren ve kopma noktası modülünü belirleyen etkili parametrelerden biri olarak gözlemlenmiştir. Çelik şeritler arasındaki boşluk azaldıkça, yer değiştirme süneklik oranı artmış, kesme açıklığı üzerindeki bağ alanındaki artışı, belirgin olarak kesme çatlaklarının çoğalmasını azaltmıştır. "L" tipi çelik şeritlerle güçlendirilen test örnekleri tüm örnekler arasında en düşük süneklik oranına sahip örnekler olarak karşımıza çıkmaktadır [32].

M. Raoof ve arkadaşları (2000), teorik parametrik çalışmalar kullanarak beton küpünün kuvveti, gömülü ana çelik çubukların boyutunun ve tasarım parametrelerinin nihai plaka ayrılma momenti büyüklüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Dıştan çelik plakalarla güçlendirilmiş betonarme kiriş ve döşemeler BS 8110 İngiliz standardı nihai sınır durumlarını temel alan süneklik hesabı için tasarlanmıştır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki; beklenmedik plaka ayrılması kopması, beton kaplama tabakasındaki eğilme çatlaklarının arasındaki boşluklarla kontrol edilebilmektedir. Pratikte nihai plaka ayrılma yükü için tek bir çözüm bulunmadığı ve alt-üst sınır yaklaşımları yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu duruma göre; yüksek beton sınıfından yapılmış kirişlerin, dıştan bağlanan plakalarla güçlendirmede daha uygun olduğu gözlemlenmiş, plaka genişliğinin kiriş genişliği ile aynı olması gereken durumlarda, kiriş genişliği arttıkça nihai plaka ayrılma momentinin de arttığı belirlenmiştir. Gömülü çekme donatısının alanının değiştirmeden, birkaç donatının birden fazla tabakada düzenlenmesi nihai plaka ayrılma momentini arttırmakta, kirişe oranla dış plakanın genişliğinin arttırılması ya da plaka kalınlığının genişliğinin sabit tutularak arttırılması nihai ayrılma momentini azaltmaktadır. Plaka alanının

değişmediği durumlarda, kritik olan değişken ise plaka genişliğinin plaka kalınlığına oranı olmaktadır. Ayrıca elde edilen bulgular göstermiştir ki; önceden tahmin edilemeyen kırılma plakası ayrılması karşısında önlem alınmazsa nihai plaka ayrılma momenti plakalandırılmamış betonarme kirişin nihai kopma momentinden bile düşük olabilmektedir[33].

Charles K. Kankam (2003), uç plakayla civatalanmış betonarme kirişlerin yapısal davranışını incelemiştir. Çalışmasında betonda basınç gerilmeleri oluşturacak uç civatalama ile düzenlenmiş betonarme kirişlerin yapısal potansiyelinin ölçümü hedeflenmiştir. Kirişlerin esneklik kuvveti, çatlak oluşumu, gelişimi ve sehim karakteristik özellikleri incelenmiştir. Deney sisteminde betonun düşük çekme kapasitesinden dolayı oluşacak çatlakları önlemek ya da kontrol etmek ve çatlak genişliklerini azaltmak için, ön yükleme yapılmış beton yapılarda gerilmiş çelik kablolar ya da tendonlar kullanılarak betonda iç basınç gerilmeleri oluşturulmuştur. Başlangıçtaki kesme gerilimi kritik orta açıklıktaki ve destek noktalarındaki çekme gerilmelerini önleyerek ya da azaltarak çatlak oluşumunu önlemekte ve bu sayede yapının eğilme, kesme ve bükülme kapasitelerini arttırmaktadır. Bu sayede kesitler, elastik olarak davranabilmekte ve betonun tüm kesiti boyunca basınçta tam kapasiteye ulaşılmaktadır. Bu da yapıların yükleme kapasitesinin artırılmasında daha küçük ve daha hafif elemanların kullanılmasını sağlayacak, daha yüksek çekmeye sahip çelik ve daha kuvvetli betona ulaşılmasını destekleyecektir[34].

Çalışmada 125x150 mm kesitinde ve 1800 mm uzunluğunda kirişler kullanılmıştır. Beton 28 gün sonunda yeterli kuvvete ulaştığında, kirişler düz yataklar üzerine yerleştirilmiştir. Kirişlerin orta açıklığında sabit bir momente neden olacak simetrik iki noktasal yük uygulanmıştır. Kirişlerden 4 tanesi 20 adet yükleme döngüsüne; 6 tanesi ise monoton yüklemeye maruz bırakılmıştır[34].

Bütün yükleme tiplerinde çatlaklar ve sehimler gözlenmiştir. Basınç gerilmelerine maruz bırakılmış betonarme kirişlerdeki esneklik kuvveti, sehim ve çatlak oluşum değerleri incelenmiş, ön yükleme yapılmamış benzer kiriş kesitlerine oranla, ön yükleme yapılmış kiriş kesitlerinin yük taşıma kapasitelerinde % 240'a varan artışların olduğu gözlemlenmiştir. Ön yüklemenin bir sonucu olarak, çatlama yükleri de aynı zamanda yaklaşık % 280 oranında

artmıştır. Bu tekniğin yapısal elemanların yeniden düzenlenmesi ve kısa açıklıklı prefabrik yapı elemanlarında da uygulanabilir bir teknik olduğu belirtilmiştir [34].

Sinan Altın ve arkadaşları (2005), çelik plakaların dış bağlarını kullanarak mevcut betonarme kirişlerin kesme kuvveti kapasitesinin güçlendirilmesi konusunu araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada 11 adet betonarme T kesitli kiriş, tek düze yükleme altında test edilmiştir. Epoksi kullanılarak 3 ana tip çelik eleman değişik düzenlerde kiriş gövdelerine kesme açıklığı boyunca yapıştırılmıştır. Kesme kuvveti bakımından yetersiz olan betonarme kirişler bağ yapılı çelik elemanların değişik şekillerde düzenlenmesiyle güçlendirilmiştir. Buradaki amaç, bütün güçlendirilmiş test örnekleri için esnek kopma noktası elde etmektir. Test edilen kirişlerdeki sonuçlar, kontrol test örneğinkilerle karşılaştırılmış; güçlendirme için kullanılan çelik plakların tiplerinin ve düzenlerinin test örneklerinin davranışı, kuvveti, rijitliği, esnekliği ve kopma noktası üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar analitik yaklaşımlarla karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucunda bütün test örneklerinde ilk çatlama her zaman kirişteki maksimum eğilme momentinin olduğu bölgede esnek çatlak olarak meydana gelmiş, bütün dıştan bağlı çelik eleman tipleri kiriş dayanımını, rijitliğini ve sünekliğini geliştirmekte olduğu anlaşılmıştır. Sonuçlara göre esnek kopma noktasına kadar kuvvetlendirilen test örnekleri, kontrol test örneğiyle aynı davranışı göstermekte olup çelik elemanın tipi ve kiriş üzerindeki düzeni, sünek davranışını yönlendiren ve kopma noktası modülünü belirleyen etkili parametrelerden biri olmuştur. Çelik şeritler arasındaki boşluk azaldıkça, yer değiştirme-süneklik oranı artmış, kesme açıklığı üzerindeki bağ alanındaki artış, belirgin olarak kesme çatlaklarının çoğalmasını azaltmıştır. “L” tipi çelik şeritlerle güçlendirilen test örnekleri, tüm örnekler arasında en düşük süneklik oranına sahip örnekler olmuşlardır[35].

Çelik plakalarla güçlendirilen test örneklerinin kuvvet ve sünekliği, test kontrol elemanınkine yakın sonuçlar vermiştir. Çelik plakalar, kesme çatlaklarının çoğalmasını önlemiştir. Kesme açıklığı boyunca bir tane büyük çelik plaka kullanılması yerine, çelik plakaları parçalara ayırarak onları birbirine bitişik şekilde kirisin kesme açıklığına bağlamanın daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Çelik elemanın tipine ve kiriş boyunca olan düzenine göre, test örneklerinin

kopma noktaları ve esneklikleri farklılık göstermektedir. Kesme açıklığı boyunca kuvvetlendirilmiş kirişler, esnek davranış göstermektedir[35].

B.B.Adhikary ve arkadaşları (2000), kiriş gövdesine bağlanan çelik plakalar kullanılarak betonarme kirişlerin kesme kuvveti bakımından güçlendirilmesini deneyler ve analizlerle araştırmışlardır.

Yapılan deneylerde, iki adet test örneği plakalandırılmazken; 10 adet deney numunesi değişik derinlik ve kalınlıkta ince plakaların epoksi ile gövdelerine bağlanması yöntemiyle güçlendirilmiştir. Bu numunelerden elde edilen deney sonuçları, plakalandırılmamış test örneklerinin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Buna ilave olarak bu kirişlerin davranışını incelemek için lineer olmayan bir sonlu eleman analizi yapılmıştır[36].

Yapılan deneyler ve nümerik analiz sonucunda, dıştan bağlanan sürekli çelik plakaların, betonarme kirişlerin nihai kesme kuvvetini arttırabildikleri; diğer plakalandırılmamış kirişlerle kıyaslandığında bu kirişlerin esneklik kuvveti ve rijitliğinde de artış olduğu belirlenmiştir. Kiriş boyunca çelik plaka kalınlığı ve derinliği arttıkça, çelik plaka monte edilmiş kirişin nihai kesme kuvveti de artmaktadır. Kalınlığı 4,5 mm, derinliği 100 mm olan plakanın monte edilmiş olduğu kirişte, kesme kuvveti artışının % 84 olduğu gözlemlenmiştir. Kirişlerin sünekliğini iyileştirmek ve mümkün olan maksimum kesme katkısını sağlamak için, plakaların mümkün olan maksimum derinliğe monte edilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Plakalandırılmış kirişlerin kompleks kesme davranışlarının başarılı bir şekilde irdelenmesi “sonlu eleman analizi” gibi nümerik metotlarla da yapılabilmektedir[36].

Kenarları FRP ve çelik plakalarla bağlı betonarme kirişler üzerinde yapılan testler, kesme kuvveti sıyrılma mekanizmasının nitelik bakımından her iki tip plaka için de aynı olduğunu göstermiştir. Ancak, aynı kenar alanına sahip kenar plakaları için, plaka malzemesinin boyuna elastik modülü azaldığında kesme sıyrılma kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir[36].

R.K.L. Su ve Y. Zhu (2005), betonarme bağ kirişlerinin güçlendirilmesi ile ilgili yeni bir metodun geliştirilmesi amacıyla üç adet birebir ölçekli betonarme bağ kirişleri üzerinde testler gerçekleştirmişlerdir. Bu kirişlerden iki tanesi kenar

yüzlerinden dıştan çelik plakalarla güçlendirilirken, bir tanesi test kontrolü amaçlı güçlendirilmemiştir.

Deneysel sonuçlardan; dış plakalarla güçlendirilmiş betonarme bağ kirişlerin mukavemetinde, deformasyonunda ve enerji sönümlemesinde artış gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş bağ kirişlerinin modellenmesinde lineer olmayan sonlu eleman analizi kullanılmıştır. Sayısal analizlerde kullanılan betonun ve çelik çubukların malzeme özellikleri laboratuvar testlerinden elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar; cıvatalı bağlantı ve beton duvarı arasında ufak bir kayma olduğunu göstermiş ve cıvatalı bağlantıların yük-kayma davranışını anlamak için lineer model kullanılmıştır. Plakalarla güçlendirilmiş bağ kirişlerinden elde edilen deneysel sonuçlar ile modelde düzenlemeler yapılmıştır. Bu sayısal parametrik çalışma göstermiştir ki; cıvatalı bağlantı ile beton duvarı arasında ufak bir kayma ($>3\text{mm}$), cıvatalı bağlantıların yük taşıma kapasitesini belirgin ölçüde değiştirebildiği gibi, güçlendirilmiş bağ kirişlerinin yapısal performansını da etkilemektedir. Geliştirilen bu sayısal model, başka konfigürasyonlara, baksa güçlendirme detaylarına sahip kirişlerin araştırılması ve incelenmesi bakımından da uygun olabilecektir[37].

2.3. Betonarme İle Kiriş Onarımı Ve Güçlendirmesi

Betonarme kirişlerin eğilme taşıma güçlerinin arttırılması için Tevfik Çetin Ünsal (1989) tarafından yapılan çalışmada, mevcut kirisin yeni boyuna donatı içeren beton katmanı ile güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan deneyler yardımıyla güçlendirme ile amaçlanan taşıma gücüne ne kadar yaklaşılabileceği, güçlendirmede kullanılan ek etriyelerin güçlendirmeye etkisinin ne olacağı, ek çekme donatıları ile kirişte bulunan çekme donatılarının birbirlerine Z şeklindeki bağ demirleri ile kaynaklanmalarının güçlendirmeye etkisinin ne olacağı ve ek çekme donatılarının kolon-kiriş birleşimlerinde ne kadar uzatılması gerektiği araştırılmıştır.

Güçlendirilmiş betonarme kirişlerin mono tonik yük altında davranış ve dayanımını araştırmak üzere yedi adet orta ölçekli deney elemanı kullanmıştır. 2Ø14 çekme, 2Ø10 basınç ve Ø6/125 mm etriye ile donatılmış olan 3 m uzunluğunda 150x250 mm dikdörtgen kesitli yalın kirişler üretildikten sonra, çekme yüzündeki pas payı kırılarak bu bölgeye içinde 2Ø14 donatı bulunan 50

mm kalınlığında yeni bir beton katmanı dökülmüştür. Yeni çekme donatısı ile eski çekme donatısı arasındaki bağ U şeklindeki yarım etriyeler ve/veya Z şeklindeki bağ demirler ile sağlanmıştır. (Ünsal, T.Ç.,1989; Arslan, M.,1991).

Gerçekleştirilen deneyler ve yapılan incelemeler neticesinde güçlendirilmiş kirişlerin moment taşıma kapasitelerinin bir döküm kiriş kapasitesine çok yaklaştığı tespit edilmiştir. Güçlendirilmiş kirişlerin rijitliklerinde güçlendirmede uygulanan yapım farklılıklarından kaynaklanan büyük bir fark görülmemiş olmasına rağmen, güçlendirilmiş kirişlerin bir döküm kirişler kadar rijit davranmadıkları sonuçlarına ulaşılmıştır. Güçlendirmede uygulanan yapım farklılıklarının (ettriye, Z-demirli, ettriye ve Z-demirli) davranışı fazla etkilemediği görülmüş; güçlendirilmiş kirişlerin birbirlerine yakın bir sünnek davranış göstermiş olmasına rağmen bir döküm kiriş kadar sünnek davranmamış olduğu belirlenmiştir. Güçlendirilmiş kirişlerin enerji sönümleme kapasiteleri de bir döküm kirisin enerji tüketme kapasitesinden daha az olmuştur. Mesnette kenetlenmiş ve mesnette kenetlenmemiş deney elemanları davranış bakımından pek farklılık göstermemişlerdir. Eski beton ile güçlendirme betonunun birbirine kaynaşması tam olarak sağlanmış olup özellikle dikkat edilmesi gereken bir olay görülmemiştir[38-28].

Çelikel (1991) ,Tevfik Çetin Ünsal'ın yapmış olduğu deneysel çalışmanın devamı olarak, çalışmasında güçlendirilmiş betonarme kirişlerin yinelenir yük altındaki davranış ve dayanımı araştırmıştır. Bu amaçla, boyut, donatı ve güçlendirme ilkeleri, Tevfik Çetin Ünsal'ın denemiş olduğu kirişlerle tamamen aynı olan yedi adet orta ölçekli deney elemanı denenmiştir. Mevcut kiriş ile yeni oluşturulacak katmanı kaynaştırabilmek için U-biçimli yarım etriyeler veya Z-demirleri kullanılmıştır. Kaynaştırma yöntemi, güçlendirme katman uzunluğu ve boyuna donatı ucunun kaynaklı ya da boşta olması değişkenlerinin denekler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yapılan deneyler neticesinde hasara uğramamış olduğu halde yetersizliği belirlenmiş betonarme kirişlere uygulanan güçlendirme yöntemi başarılı olmuştur. Güçlendirme sonunda amaçlanan taşıma gücünün % 95'ini aşabilen dayanımlar elde edilmiştir. Ek boyuna donatıların eski boyuna donatılara bağlanmasında U-biçimli yarım etriyeler veya Z-demirlerinin kullanılması aynı derecede başarılı olmuş, yeterli aderans boyu sağlanmış ve yerel güçlendirme genel güçlendirme

kadar başarılı olmuştur. Yerel güçlendirmede, yeni boyuna donatının eski boyuna donatıya kaynaklanmaması durumunda da yeterli dayanım elde edilmiş olmasına rağmen, yeni donatının eski donatıya kaynaklanması durumunda güçlendirilmiş kirişlerin süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [39-28].

İsmail Özdemir (1994), katman ekleme yönteminin tersinir yükler altındaki başarısını incelemiştir. Deneysel çalışmada katman ekleme yönteminin tersinir yükler altında ne derece etkili olduğu, onarım ile amaçlanan taşıma gücüne ne kadar yaklaşılabileceği ve ek çekme donatıları ile kirişte bulunan çekme donatılarının birbirlerine Z demirleri ile kaynaklanmalarının onarıma etkisinin ne olacağının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla biri yalın, diğeri monolitik olmak üzere, konsol kiriş şeklindeki iki deney elemanı üzerinde toplam üç deney yapılmıştır.

Deney elemanlarının tümünde yeterli aderans boyu sağlanabilmesi ve elemanların deney duvarına tutturulabilmesi için konsol dibinde 150x500x1000 mm boyutlarında rijit bir beton blok oluşturulmuş ve boyuna donatılar bu bloğa ankre edilmiştir. En kesit boyutları 150x250 mm ve uzunluğu 1,85 m olan yalın kiriş, üst yüzünde 2Ø14, alt yüzünde 2Ø10 ve Ø8/125 mm etriye ile donatılmış olarak üretildikten sonra hasara uğratılmıştır. Daha sonra onarım amacıyla, alt ve üst yüzündeki pas payı kırılarak üst yüzey içinde 2Ø14, alt yüze ise içinde 2Ø10 donatı bulunan 50 mm kalınlığında yeni beton katmanları eklenmiştir. Yeni beton katmanları ile yalın kirişin arasında yük aktarımını sağlamak amacıyla yeni boyuna donatılar, mevcut boyuna donatılara Ø8/125 mm. Z-demirleri ile kaynaklanarak bağlanmıştır. Çalışmada kenetleme yöntemi kullanılmadığından onarım katmanı donatılarının ankrajı yalın kirişin betonu dökümü sırasında yapılmıştır[40-28].

Yapılan çalışmalar neticesinde katman ekleme yöntemi ile onarım işleminin tersinir yükler altında da başarılı olduğu görülmüştür. İleri çevrimlerde monolitik kiriş taşıma gücüne ulaşıldığı, geri çevrimlerde aderans çözümlerine rağmen monolitik kiriş taşıma gücünün % 90'ına ulaşıldığı belirlenmiştir. Onarılmış kirişteki dayanım kaybı monolitiğe göre daha erken başlamıştır. Bir başka deyişle onarılmış kirişte yeterli, fakat monolitiğe oranla biraz daha düşük süneklik elde edilmiştir. Ek boyuna donatıların eski boyuna donatılara

bağlanmasında Z-demirlerinin kullanılması, tersinir yükler altında da Tevfik Çetin Ünsal ve Tahsin Fırat Çelikel'in çalışmalarındakiler kadar başarılı olmuştur. Onarılmış kirisin enerji tüketme kapasitesinin monolitik kiriş enerji tüketme kapasitesi ile hemen hemen aynı olduğu ve yeterli olduğu gözlenmiştir, birinci çevrim dışında, onarılmış kiriş rijitliği monolitik kiriş rijitliğine yakın gelişmiştir. Birinci çevrimde onarılmış kiriş rijitliğinin düşük çıkmasına yalın kirişteki ana çatlağın tam olarak beton ile doldurulamaması neden olmuştur [40-28].

Fatih Altun (2004), basit eğilme altında betonarme kirişlerin mantolama öncesi ve sonrası mekanik davranışlarını belirlemek ve birbirleriyle karşılaştırma amacıyla bir çalışma yapmıştır.

Test edilen bütün betonarme kirişler dikdörtgen kesitli ve beton sınıfı olarak ortalama C20'dir. Deney değişkenleri, mantonun kalınlığı, yatay donatı miktarı ve enine donatı mesafesidir. Deneyler sırasında 9 adet betonarme kiriş kullanılmıştır. 3 değişik tipte ve 3 değişik ebatta (150x150x2000 mm, 200x150x2000 mm, 200x200x2000 mm) betonarme kirişler, taşıma gücüne kadar basit eğilmeye maruz bırakılmıştır. Her bir kiriş, çekme donatısının plastik kopma noktasına ulaşmaya kadar basit eğilme altında yüklenmiştir. 150x150 mm, 200x150 mm, 200x200 mm kesitindeki kirişlerin dış kısımları ile etriyelerin dışı arasında kalan bölge tıraşlanmış ve yaklaşık olarak 130x130 mm, 180x130 mm, 180x180 mm'lik kesitler elde edilmiştir. Bu test örnekleri tam plastik kopma noktasına kadar eğilme altında yüklenmiştir. Mantolama derinliği olarak 100 mm seçilmiştir. Yaklaşık 100 mm kalınlığında taze beton uygun kalıbın içine dökülmüştür. Beton dökülmeden önce Z demir çubuklar, eski ve yeni kirişlere kaynatılarak yatay ve boylamasına demir çubukların bazıları birleştirilmiştir. Kaynatılan Z çubuklar 8 mm çapında ve 400 mm aralıktadır. Mantolanmış bu betonarme kirişler basit eğilme altında tam kopma noktasına kadar yüklenmiş ve test edilmiştir. Basit eğilme altındaki mantolanmış kirişlerin sünekliği, rijitliği ve nihai esneklik kapasitesi deneysel olarak belirlenmiştir [41].

Yapılan testler göstermiştir ki; hasarlı kirişlerin yüzeylerindeki pürüzlülük 4~6 mm'dir. Gerçek uygulamalardaki miktarın da bu değerler arasında olduğuna inanılmaktadır. Mantolanmış betonarme kirişlerin tümü, başlangıçtan nihai kırılma noktasına ulaşmaya dek aynı tip davranışları göstermiştir. Hasarlı kirişlerdeki boyuna donatılar ile mantolanmış kirişlerdeki donatıları kaynaklama

yöntemiyle Z çubuklarla bağlamak, kirişlerin mekanik davranışlarına olumlu katkı sağlamaktadır [41].

Sabahattin Aykaç 2000 yılında yaptığı çalışmada deprem yükleri haricindeki nedenlerle katman ekleme tekniği ile güçlendirilmiş/onarılmış betonarme kirişlerin depremi benzeştiren tersinir yinelenir yükler altındaki davranışını ve sonradan eklenen kiriş boyuna donatısı kenetleme yöntemlerinin davranış ve dayanım üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu araştırmada hasar görmüş veya yetersizliği anlaşılmış kirisin bir ya da iki yüzüne içinde yeni boyuna donatı bulunan yeni bir betonarme katman eklenmiştir. Yeni katman ile mevcut kiriş arasındaki yük aktarımı ve sünekliği sağlamak amacıyla uygulama kolaylıklarından dolayı 'U' şeklindeki yarım etriyeler kullanılmıştır. Kesme açıklığı orta (a/d_5) ve küçük (a/d_3) olan kirişler ele alınmış ve kirişlere onarım güçlendirme veya diriltme işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan iyileştirme yöntemi bazı kirişlerde sadece üst yüze, bazı kirişlerde hem alt hem de üst yüze uygulanmıştır. Ayrıca yeni katman içindeki boyuna donatının mevcut kolona mekanik veya epoksili olarak kenetlenmesi yöntemleri de araştırma kapsamında incelenmiştir[42].

Uygulanan yöntem onarım ve güçlendirme işlemlerinde oldukça başarılı olmuş, diriltme işlemlerinde ise sınırlı bir başarı elde edilmiştir. Tüm deney elemanlarında amaçlanan dayanımlara ulaşılmış ancak diriltme uygulanan elemanlarda tersinir yükler altındaki dayanım kaybı erkenden başlamıştır. Diriltilmiş elemanlar haricindeki elemanlarda yeterli süneklik kapasitelerine ulaşılmıştır. Onarılmış elemanların enerji tüketme kapasiteleri monolitik eleman kapasitelerine çok yakın olmuştur. Diriltme uygulanmış elemanların enerji tüketme kapasitesi ise özellikle kesme açıklığı küçük olan kirişlerde monolitiğe göre belirgin olarak düşük olmuştur. Güçlendirilmiş elemanların enerji tüketme kapasiteleri ise, sürekli donatılı güçlendirme elemanının haricinde monolitik eleman kapasitesinden daha büyük olmuştur. Tüm elemanlarda monolitiğe göre daha az eğilme rijitlikleri elde edilmiştir. Yeni katman ile mevcut kiriş arasındaki sünekliği ve yük aktarımını sağlamak amacıyla kullanılan 'U' şeklindeki yarım etriyeler oldukça başarılı olmuştur. Katman içindeki boyuna donatının mevcut kolona 'L'profil ile mekanik olarak kenetlenmesi oldukça başarılı olmakla beraber, rijitlikte kabul edilebilir düzeyde de olsa (%30'dan az) ani düşmelere

neden olduğu görülmüştür. Katman içindeki boyuna donatının mevcut kolona epoksi kullanılarak kimyasal olarak ankrajı da oldukça başarılı olmuştur[42].

3.METARYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri ile deney elemanlarının hazırlanması ve deney aşaması detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Deney elemanlarının boyutları; Laboratuvar koşulları, yükleme ve ölçme düzeneklerinin kapasiteleri göz önünde bulundurularak gerçeği yansıtacak şekilde seçilmiştir.

3.1. Epoksi

Epoksi reçineleri, yüksek yapışma mukavemeti, düşük rötre miktarı, ısısal kararlılık, kısa kürlenme süresi ve uygulama sonrası derhal kullanıma bağlanabilmesi gibi çok iyi mekanik ve kimyasal özellikleri sebebiyle mühendislikte artan oranda bir tüketime sahiptir [12].

Epoksi kelimesinde “on the outside of” anlamına gelen epi kelimesi moleküler yapıda bulunan oksijen atomlarında mevcut oksijen kelimesi ile birleşir[13].

Epoksi kelimesi Yunanca kökenlidir. Epoksi reçineleri birden fazla epoksi grubu içeren ve termoset ürünlere dönüşen ön polimerlerdir. Epoksi reçinelerinde bulunan epoksi grupları oksiran olarak da bilinmektedir. Epoksi reçinelerinin düşük oksiran grubu içeren türleri yapıştırıcılarda, ikiden fazla grubu içerenleri yapısal yapıştırıcılarda kullanılmaktadır[14].

Epoksi reçineleri kendi başlarına kullanılmazlar, formülasyona katılan başka maddelerle polimerize olarak veya çapraz bağlanarak değişik özelliklere sahip termoset yapıda plastik madde oluştururlar. Kimyasal reaksiyon sonucu (kür işlemi, sertleşme veya çapraz bağlayıcı ajanlarının kullanımı sonucu) elde edilen sert, geri dönüşü olmayan aşağıdaki özellikleri olan reçine meydana gelmektedir[14].

- Değişik yüzeylere mükemmel yapışma,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- İyi elektrik özellikler,
- Pişerek sertleşme esnasında yan ürünlerin oluşmaması,

- Düşük rötne miktarı,
- Isısal kararlılık,
- Boşluk doldurma özelliğine sahip olması,
- Alkali, asit ve çözücülere, rutubete karşı dayanıklılık,
- Birbirlerine benzemeyen farklı malzemeleri yapıştırma,
- Düşük sıcaklıklarda yük altında uzun süre kullanılması,
- Kısa kürlenme süresi ve uygulama sonrası derhal ve güvenle kullanıma başlanabilmesi gibi çok iyi mekanik ve kimyasal özellikleri sayesinde mühendislikte artan oranda bir tüketime sahiptir[14].

Epoksi yapıştırıcılarının, özellikle iki komponentli olan yapıştırıcıların komponentlerinden biri sertleştiricidir. Epoksi reçineleri sertleştirici ile yapıştırıcı kullanılacağı zaman karıştırılmaktadır. Sertleştirici ile reaksiyona giren epoksi reçinesi; katılaşıp, donarak malzemelerin yapışmalarını sağlamaktadır[14].

Epoksi reçinesiyle yapılan yapıştırıcılarda kullanılan yumuşatıcılar veya modifier olarak bilinen seyreltici, plastifiyan ve dolgu maddelerinin ilavesi başlıca üç önemli sebepten dolayı formülasyona katılmaktadır. Bu maddelerin fonksiyonları kısaca şu şekilde özetlenebilir:

- Yapıştırıcının viskozitesini düşürmek,
- Mekanik özelliklerini geliştirmek,
- Maliyeti düşürmektir [14].

Epoksi reçinelerine özellikle iki komponentli epoksi yapıştırıcılarına, sertleşmeyi hızlandıran katkı maddeleri katılır. Tersiyer aminler, fenol ve alkoller bu maksat için kullanılan malzemelerdendir.

Epoksi reçinelerine dolgu maddeleri de katılmaktadır ve katılan dolgu maddelerinin oranı 100 kısımla 200 kısma kadar varabilir. Kullanılan en iyi dolgu maddeleri arasında silika, talk, bentonit, kil ve alümina bulunmaktadır. Yapıştırıcıya bakır ve gümüş ilavesi ile elektrik akımının geçmesi ve yapıştırıcının iletkenliği sağlanır. Dolgu maddelerinin kullanılmasının en önemli sebebi epoksi yapıştırıcılarının maliyetini düşürmektedir. Alüminyum oksit ve silika gibi

maddeler yapışmanın daha kuvvetli olmasını sağlarken sıcaklığa karşı dayanımı da arttırmalıdır. Kimyasal maddelere dayanıklılık silika ilavesiyle arttırılmaktadır. Kalsiyum karbonat bu dayanıklılığı düşürmektedir[14].

Değişik özelliklere sahip olmaları ve çok kuvvetli yapışma sağlamalarından dolayı epoksi yapıştırıcıları, yapıştırıcılar arasında en çok kullanım alanına sahip olan yapıştırıcılardır. Epoksi yapıştırıcıları farklı malzemeleri, birbirine benzemeyen malzemeleri ve yüzeyleri yapıştırmada çok etkindirler. Metaller, plastikler, ağaç, cam, seramik, beton v.b malzemeler, epoksi yapıştırıcılarının yapıştırdığı malzemeler arasında bulunanların başlıcalarıdır. Bu kadar farklı özellikte olan malzemeleri ya kendilerine veya başka malzemelere yapıştırmak, Epoksi yapıştırıcılarının ıslatma, penetrasyon kabiliyetinden, düşük viskoziteli oluşlarından ve bünyesinde polar ve nonpolar grupları bulundurmalarındandır [14].

Epoksi yapıştırıcıları; uçaklarda, otomobil endüstrisinde, elektronik ve elektrik sanayinde, inşaat, gemi yapımında, ağaç, kâğıt, metallerin, seramik ve camın yapıştırılmasında kullanılmaktadırlar. Uçak sanayinde alüminyum parçaların kendine veya diğer metalik parçalara yapıştırılmasında, plastik maddeleri, oluklu plastikleri ve bu malzemelerden yapılmış petekleri yapıştırmada kullanılmaktadırlar. Otomotiv sanayinde kaynak yerine ve birçok parçanın yapıştırılmasında, elektrik sanayinde elektrik motorlarının ve transformatörlerinin laminasyonunda, basılı devrelerin kapsül içine alınmasında ve korunmasında sıcaklık ve sarsıntı ile yerinden oynaması muhtemel parçaların tutturulmasında kullanılmaktadır. Seramik yer ve duvar fayansların yapıştırılması, yol ve köprülerin tamir ve bakımı inşaat işlerinde kullanım yerleri arasında sayılmaktadır [14].

Kimyasal ankrajlarda donatı ile betonun ara yüzünde bulunan kimyasal yapıştırıcı donatının betona tutunmasını sağlamaktadır. Epoksida bu tutunmayı sağlayan 4 bileşen:

- Epoksi ile beton arasındaki sürtünme,
- Epoksi ile çelik arasındaki sürtünme,
- Epoksi ile beton arasında oluşan kimyasal bağ,
- Epoksi ile çelik arasındaki kimyasal bağdır [15].

3.2.Epoksinin Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal Özellikler: Epoksi reçineleri gerçekte polieter yapısındadırlar ve polieterlerin önemli bir grubunu oluştururlar. Epoksilerin çapraz bağlanması sırasında uçucu madde oluşmaz, çapraz bağlanma sonrası büzülme oranları % 5'ten daha düşüktür. Kullanım sıcaklıkları 150 °C'ye kadar çıkabilir. Girdilerin oranı ve özellikleri ayarlanarak, farklı alanlarda kullanılabilecek ürünler hazırlanır. Epoksiler, kimyasallara karşı dirençleri, dayanaklıkları, esnek oluşları ve iyi yapışma özellikleri nedeniyle yüzey kaplamaları için eşsiz bir polimerdir. Kimyasal korozyona ve aşınmaya karşı yüzeylerin kaplanması; yüksek kuvvetler etkisinde kalan yerlerin kaplanması; tüp, boru ve endüstriyel tankların astarlanmasında kullanılmaktadır.

Epoksi genellikle kimyasal etkilere karşı son derece dayanıklıdır. Epoksi sisteminin ve betonun kimyasal özelliklerinin karşılaştırması Çizelge.3.1.'de verilmiştir [16].

Çizelge.3. 1.Epoksi Sistemi Ve Betonun Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Etkiler	Epoksi Sistem	Beton
Yaş-kuru döngüsüne direnç	Mükemmel	Mükemmel
Klor iyonlarının tuz oluşturmaya direnç	Mükemmel	Orta
Yiyecek asitlerine direnç	Mükemmel	Zayıf
Şekerin çözmesine direnç	iyi	Zayıf
Petrol ve ürünlerine direnç	Mükemmel	Mükemmel
Deterjan etkisine direnç	Mükemmel	Mükemmel
Alkali etkisine direnç	Mükemmel	iyi
Sülfat etkisine direnç	Mükemmel	Orta

3.3. Kohezyon

Kohezyon kuvveti, bir homojen cismin içindeki atomların ya da bir sıvının içindeki atom veya moleküllerin birbirlerini valans bağları ile çekme kuvvetidir. Cisimlerin kopma dirençleri ve sıvılardaki yüzey gerilimleri bu kohezyon

kuvvetleri ne bağlıdır. Kohezyon kuvveti ile, iki katı malzemeyi teorik olarak birbirine yaklaştırıp yapıştırmak mümkün ise de bu pratikte uygulanmayan bir metottur. Olayı mikro boyutunda incelediğimizde, en düzgün yüzeyli maddenin bile yüzey pürüzlülüğünün fazla pürüzlü kalacağı için, kohezyon etkisi ile yapıştırılamayacağı görülür. Ayrıca cisimlerin yüzeyleri üzerindeki oksidasyon tabakaları da, nem ve toz parçacıklarında bu tür yapıştırma da büyük zorluklar çıkarırlar[17].

3.4.Adhezyon

Adhezyon, iki ayrı homojen malzemenin yüzeylerine dik doğrultuda etki eden valans kuvvetlerinin meydana getirdiği, iki yüzeyin molekülleri, atomları ve iyonları arasında oluşan, malzemelerin birbirine yapışmasını sağlayan iç kuvvetlerin toplamıdır. İki ayrı malzemenin adhezyon kuvveti ile birbirine yapışmasını sağlamak için, sıvıların katı cisim üzerinde akma özelliğinden yararlanılarak cismin yüzeyi ile epoksi yapıştırıcı arasında tam temas oluşturulur. Adhezyon mekanik adhezyon, spesifik adhezyon ve elektrostatik çekim olmak üzere üç şekil de açıklanmaktadır[17].

3.4.1. Mekanik Adhezyon

Katı cisimleri birbirlerine yapıştırmak için kullanılan sıvı haldeki yapıştırıcılar, penetrasyon yapıştırıcının yapıştırılacak malzemenin bünyesine girmesi anlamına gelir. Yapıştırıcının içerisindeki özellikler ile cisimlerin yüzeylerini ıslatarak, çıkıntıların etrafını sarar, boşlukları doldurur ve kapiler boşluklardan malzemenin içine nüfuz eder. Yapıştırıcı sertleştiğinde mekanik ankraj mesafesini görür. Mekanik adhezyonu, yapışacak malzemenin yüzey tekstürü, porozitesi ve sertliği etkilemektedir. Bu tip adhezyonda, iki yüzeyin molekülleri arasında düşük çekme kuvvetleri bulunsan bile ahşap gibi yüzeyi pürüzlü malzemelerde iyi sonuç almaktadır[17].

3. 4. 2. Spesifik Adhezyon

Epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemenin yüzeyinin molekülleri arasında, birinci ya da ikinci dereceden valans kuvvetleri oluşarak ve bazı hallerde iki malzemenin molekülleri, yapıştırıcı ile reaksiyona girerek yapışma sağlanması olayı spesifik adhezyon olarak tanımlanmaktadır. Örneğin ahşap malzemenin yüzeyine sürülen epoksi yapıştırıcı, ahşabın hücrelerinin arasına nüfuz ederken, hücre çeperlerini ıslatır ve bu sayede yapıştırılan cisimlerin

arasında moleküler kuvvetlerin oluşması geniş bir alanda gerçekleşir. Moleküler bağ kuvvetlerinin etkin olduğu iç yüzeylere “hakiki ya da etkin moleküler temas alanı ” denilmektedir[17].

3. 4. 3. Elektrostatik Çekim

Yapıştırılan malzeme ile yapıştırıcının içindeki polar gruplarının bu iki malzeme arasında birbirlerini çekme kuvvetleri oluşturmalarıdır. Elektrostatik çekimde, yapıştırıcı ile malzeme arasında elektron transferi meydana gelir. Bu tip adhezyonun yapıştırmadaki önemi hususunda görüş ayrılıkları bulunmaktadır. Bazı kimyacılar elektrostatik çekimin yapışma için birinci derecede önemli olduğunu vurgularken, bazıları da bunun önemsenmeyecek derece de az bir çekim kuvveti olduğunu savunmaktadırlar.

3. 5. Viskozite

İyi bir mekanik ve spesifik adhezyon için epoksi yapıştırıcıların viskozitesi ve uygulanırken bu viskozitenin değişim süresi, tutkal hattının oluşmasında çok önemli bir faktördür. Yapıştırıcının viskozitesi, uygulanacak malzemenin yüzeyi tarafından emilecek ve yüzeydeki pürüzlükleri dolduracak bir düzeyde olmalıdır. Epoksi yapıştırıcı malzemenin boşluklarını kavrayarak ankraj görevini üstlenmeli fakat diğer taraftan da, malzeme tarafından gereğinden fazla emilmemelidir.

Epoksi yapıştırıcının içindeki katı madde miktarı (konsantrasyonu) arttıkça viskozitesi de artar. Bu da yapıştırıcının malzemeye uygulama süresini azaltır ve sürülmesini zorlaştırır. Epoksi yapıştırıcıların viskozitesini arttırmak için en yaygın olarak kullanılanlar silikalar, kalker unu, alçı, mika, asbest, bentonit gibi maddelerin yanı sıra, toz haline getirilmiş alüminyum ve çinko gibi metaller de epoksi sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca gereğinden fazla yüksek viskoziteli epoksi yapıştırıcılar, ıslatma ve penetrasyonu sağlayamazlar ve buda mekanik ve spesifik adhezyonu, dolayısıyla da yapıştırıcı birleşiminin direncini negatif yönde etkiler [18].

Düşük viskoziteli epoksi yapıştırıcıları, cam, seramik gibi malzemelerle penetrasyonlarının fazla olması dolayısıyla iyi temas sağladıklarından, çok olumlu sonuçlar vermelerine rağmen, ahşap ile uygulamalarında problemler çıkmaktadır. Hatta viskozitesi düşük epoksi reçineleri ahşaba emdirilerek polimer-ahşap malzeme üretmek için araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin, 1985 yılında

Schroeder ve Parameswaran'ın Hamburg Üniversitesinde yaptıkları araştırmada, özgül ağırlığı 1 gr/cm^3 'den fazla olan sarı çam bile en basit metotla dahi viskozitesi düşük Epoksi reçinesi emdirilebildiği saptanmıştır [18].

3. 6. Penetrasyon

Epoksi yapıştırıcının yapıştırılacak malzemenin bünyesine girmesi anlamına gelen penetrasyon, ahşapta hücreler arası boşlukların içine girmesiyle oluşan makroskopik özellikli kapiler penetrasyon ve hücre çeperlerine nüfuz etme yoluyla mikroskopik özellikli hücre çeperi penetrasyonu olmak üzere iki türlü görülmektedir. Sıvı haldeki yapıştırıcı, kapilarite ile traheid duvarlarından yukarı çıkarak traheidleri sarar. Aynı zamanda yapıştırıcının içindeki düşük moleküllü çözücü sıvılar, difüzyon yolu ile emildikleri için penetrasyon yapmış yapıştırıcının viskozitesi de yükselir. Yapıştırıcının bu iki tip penetrasyon ile hücre tabakalarına geçmesi “iç yapıştırıcı derzini ” oluşturur.

Epoksi yapıştırıcı, yapıştırılacak ahşabın yüzeyinin kesilmesi dolayısıyla, yüzeyde açılmış olan hücre dokusunun içine girerken, ahşabın yüzeyine yaptığı açığı ve traheid boyu penetrasyonu doğrudan etkilemektedir. Yapıştırıcıda verilen basınç kuvveti ve yapıştırıcı miktarı da penetrasyonu etkileyen başlıca nedenlerdir. Yapıştırıcı derzinde penetrasyon mekanik adhezyonun oluşmasını etkileyen en önemli faktördür[17].

3. 7. Kür ve Su ile Reaksiyon

Epoksi yapıştırıcıların uygulanmasında, su ile teması, tutkalın su ile reaksiyona girerek aderans ve mekanik özelliklerin negatif yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. Yapıştırıcının sertleştikten sonra bünyesine su alması durumunda ise, mekanik ve zamanla bozulmama gibi özelliklerini pozitif yönde etkilemesine rağmen, epoksi tutkallarının su absorpsiyonları zararlı olarak kabul edilmektedir. Ancak, sertleştikten sonraki su absorpsiyonlar % 0,25 ile % 8 gibi çok küçük oranlar arasında değişen epoksi yapıştırıcıların, bu verilerden anlaşıldığı gibi suya karşı son derece dayanıklı oldukları saptanmıştır. [19-17].

Epoksi yapıştırıcıların kürü ise, kullanılan sertleştirici maddeye göre değişik olmaktadır. Örneğin, sıvı epoksi reçinelerinin soğuk sertleşmesi istendiğinde sertleştirici olarak tri etilen, alifatik poliaminler (etilen diamin gibi) ve poliami doaminler kullanılır. Bu sertleştiriciler normal sıcaklıkta (genellikle

15-20 °C den itibaren) aktiftirler. 80-100 °C sıcaklıkta sertleşen epoksi reçineleri elde etmek için aromatik aminler, daha yüksek sıcaklıkta ise anhidritfital asidi yada benzeri poliasitlerin anhidritleri kullanılır. Çevresel faktörlere, mekanik gerilmelere ve asitlere karşı iyi dayanıklılık gösteren anhidritler içerisinde, kimyasal maddelere karşı en iyi dayanıklılığı ise aromatik aminler ile sertleştirilen epoksi sistemleri sağlamaktadır [19-17]. Genellikle preste tutulma süreleri 12- 24 saat arasında değişmektedir. Bu süre, ortam sıcaklığının artması ile azalmaktadır. Ancak 200 °C'nin üstünde uygulanan yapıştırma sağlıklı olmamaktadır.

3. 8. Yapıştırıcı Derzinde Hava Kabarcıkları Oluşması

Malzemenin dokusu içine giren sıvı yapıştırıcı, gözeneklerin ve yüzeydeki girintilerin içine nüfuz ederek iç hücre duvarlarını kaplar. Viskozitenin çok yüksek, yani yüzey geriliminin fazla olduğu hallerde yapıştırıcı, girintiler ile yeterli teması sağlayamaz ve bu bölgelerde hava hapis olur. Yapıştırıcı hattında, ya da yapıştırıcının kendi içinde hava kabarcıklarının oluşması, yapıştırıcı birleşiminin dirençsiz olmasına neden olmaktadır. Endüstri de kullanılan yapıştırıcı ve püskürtme makineleri ile yapıştırıcıda hava kabarcıkları oluşması kaçınılmazdır [17].

Diğer yapıştırıcılara göre epoksi reçinelerinin en büyük avantajı hava kabarcığı oluşturmaması ve mekanik özelliklerinin çok yüksek olmasıdır. Bu da epoksi reçinelerinin daha çok tercih edilmesinde önemli bir etkidir.

3.9.Epoksi Yapıştırıcıların Prepolimer Ürünleri

3.9.1. Katı Epiklorhidrin Bisfenol A Reçineleri

Yüksek moleküler ağırlığı olan katı epoksi reçineleri ya Bisfenol A, Na OH ve epiklorohidrin ile doğrudan doğruya ya da DGEBA'nın Bisfenol A ile zincir uzantı reaksiyonu ile üretilir. Genellikle yüksek molekül ağırlığı olan polimerlerin, tutkallarda kullanılması pratik değildir. Düşük reaktifleri olması, yüksek ısı ve basınç gerektirmeleri, yapıştırıcıların sertleşme ve kürlerini zorlaştırmaktadır [19-17].

3.9.2. Novalac Reçineleri

Novalac reçineleri, fenol ya da kreosol'un, bir asit katalizörü yardımıyla formaldehit ile kondanse edilmesinden üretilmektedir. Novalac reçineleri, standart Bisfenol A ile mukayese edildiklerinde, çapraz halka şebekesi yoğunlukları fazla

olduğu için ısı ve kimyasal dayanıklılıkları da fazladır. Ayrıca bu reçinelerin viskoziteleri düşük olduğu için kullanımları Bisfenol A reçinelerinden daha fonksiyoneldir [19-17].

3.9.3. Esnek Epoksi Reçineleri

Düşük yoğunluklu ve esnek ürünler olan bu tip reçineler, propilen glikol ve gliserin gibi poliollardan iki basamaklı işlemle sentez yoluyla elde edilmektedirler.

3.10. Mekanik Özellikleri

Fiziksel Özellikler: Epoksinin çekme uzaması ve kırılma noktası değerleridir. Çizelge.3.2.'de epoksi sisteminin ve betonun eğilme, çekme, basınç dayanımları ve uzama oranları verilmiştir [17].

Çizelge.3. 2.Epoksi Sistem Ve Betonun Mekanik Özellikleri [17].

	Eğilme dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı(MPa)	Basınç dayanımı (MPa)	Uzama Oranı (%)
Beton	4-7	2-5	20-70	0.01
Epoksi Sistem	11-35	4-35	4-85	0.2-50

Çizelge.3.3.'de ise epoksi ve epoksi harcının mekanik özellikleri verilmiştir. (Bayülke N., 2001).

Çizelge.3. 3.Epoksi Ve Epoksi Harcının Mekanik Özellikleri [20].

Reçine	Harç	
Basınç dayanımı (kgf/cm ²)	650	790
Çekme dayanımı (kgf/cm ²)	340	290
Basınç altında birim kısalma	0.047	0.022
Basınç elastisite modülü (kgf/cm ²)	23 000	73 000
Çekme altında birim uzama	---	0.0039

3.11. Diğer Özellikler

İyi kür edilmiş epoksi sistemleri ısı değişiminden çok fazla etkilenmezler. Ancak 300 °C'nin üzerinde önce kömürleşir sonra uçucu hale gelir ve sonuçta

zararlı toksin oluşabilmektedir. Değişik ısı genleşme katsayısı yüzünden epoksi olan kısım daha fazla genleşecektir. epoksi mükemmel bir elektriksel yalıtkandır. Bu amaçla nerede istenirse kullanılabilir. Epoksi kullanılacak yere uygun olarak seçildiyse en kötü aşınmaya bile karşı koyabilir. Birleştirilecek veya yapıştırılacak malzemelerin farklı genişleme ve büzülmesi bulunmaktadır. Farklı iki malzemenin yapıştırılması halinde, malzemelerin farklı genişleme ve büzülmesi olmasına rağmen aradaki epoksi yapıştırıcısı bu gerilmelere ve gevşemelere olumlu cevap vermekte ve termal gerilmeleri yok etmektedir[13].

Epoksi bileşenleri ile betonun termal genleşme katsayıları arasında çok büyük farklar vardır[16].

3.12.Epoksi Reçineler İçin Katkı Maddeleri VeDeğiştiriciler

Epoksi formülasyonunun iki ana içeriğine ek olarak, mesela reçine ve kürleşmede etkili olan şey gibi, pek çok diğer formüsel materyal uygun olmakta ve sıkça epoksilerin özelliklerini ve karakteristiklerini değiştirmede, hem kürlenmemiş hem de kürlenmiş şekilleri içerisinde, kullanılmaktadırlar.

Bu bölümde her ana değiştirme materyali tipi, kullanılmakta olan en genel tiplerine ait verilmiş örnekler ve verdikleri muhtemel faydalar ile birlikte tartışılacaktır.

Bu tartışmaya yaklaşma yöntemi bir dizi uygun başlık ile olmasına rağmen, epoksi formülasyonunda kullanılan birçok içeriğin mantığa uygun olarak birden fazla başlık altında tartışılabilmesinin de mümkün olduğuna dikkat etmek önemlidir. Bu nedenle, örneğin, bu metinde 'esneklik sağlayanlar' diye tanımlanan materyallerin bazıları 'reaktif sıvılandırıcılar' olarak ya da tam tersi olarak dikkate alınabilir.

3. 12. 1.Sıvılandırıcılar

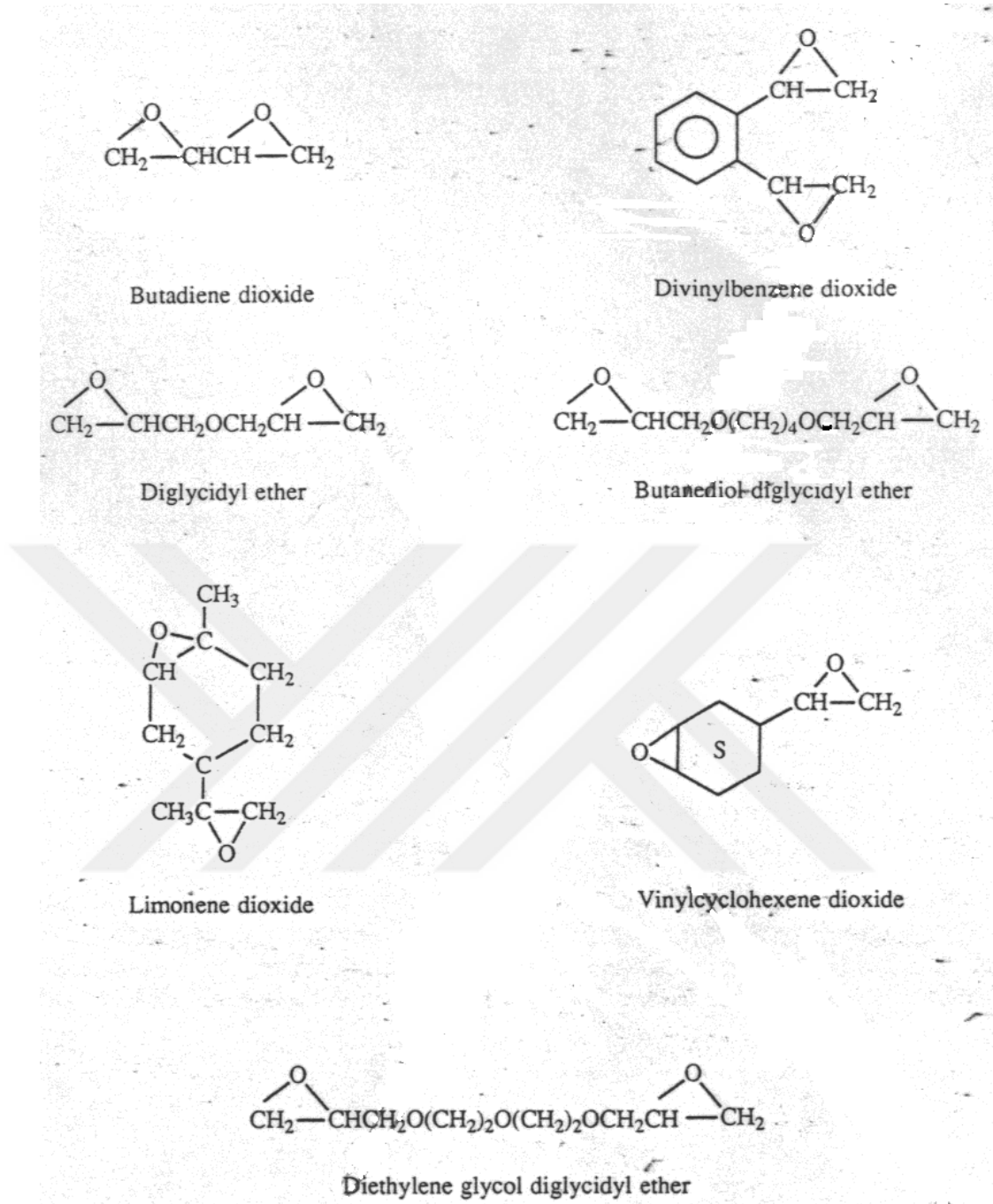
Sıvılandırıcılar genellikle; genel işlevselliğe, akışkanlığı düşürme yoluyla yardımcı olacak şekilde kullanıldıkları gibi, dolgu malzemeleri gibi diğer formüsel içeriklerin daha büyük birleşimine izin vermek ve ıslatma gibi özelliklerini geliştirmek maksadıyla ve reçinelerin çeşitli lifli güçlendirmeler ile birleşmesini sağlamak için kullanılırlar.

Akışkanlığa ilave olarak diğer özelliklerin de değişecek olmasının farkında olmak önemlidir. Bahsi geçen özellikler ve değişimin büyüklüğü, kullanılan

sıvılandırıcının hem tipi ne hem de miktarına bağlıdır. Ek olarak materyallerin birçoğu, ters zehirli karakteristiğe sahip sıvılandırıcı etkileri gösterebilmeye muktedirler ve vakaların çoğunda hem reçine hem de iyileştirici ile birlikte bulunanlardan daha şiddetli olmaktadır. Bu sebeple hem seçim hem de kullanımında büyük hassasiyet gösterilmelidir.

Epoksi reçine teknolojisinde kullanılmak üzere ele alınan sıvılandırıcılar, non-reaktif ya da reaktif olarak ele alınanları kapsayan iki geniş sınıfa ayrılabilir.

Yüksek sıcaklıklarda fiziksel/ mekanik özellikleri koruma çabasıyla, çok fonksiyonlu epoksi sıvılandırıcıların kullanımı dikkate alınmıştır. Belli bir dereceye kadar haklı olarak epoksi reçineleri diye tanımlanacak olmalarına rağmen, daha uygun formülasyonlardaki kullanımları, örneğin temel reçine komponenti olarak bir DGEBA kullananlar, akışkanlık azaltmayı sağlama yönündeki kabiliyetlerini sergilemiştir. Reaktif sıvılandırıcılar olarak önerilmiş tipik, çok fonksiyonlu epoksi bileşikler Şekil.3.1'de gösterilmektedir. Çoğu durumda, sistemin işlevselliği bir bütün olarak bu materyallerin birleşmesinden büyük ölçüde etkilenmeyeceği için, çapraz- bağ yoğunluğu ve bundan dolayı buna bağlı özellikler genellikle zararlı biçimde etkilenmeyeceklerdir. Esasında bazı özellik artmalarının mümkün olduğu gösterilmiştir.

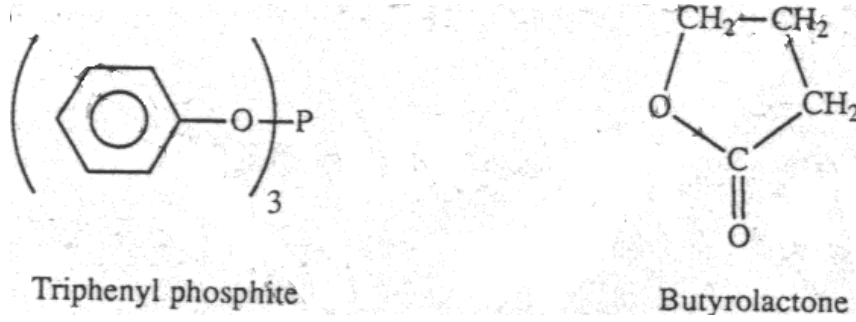


Şekil.3. 1.Çok Fonksiyonlu Epoksi Bileşikleri [21].

3. 12. 2.Non- Epoksi Esaslı Sıvılandırıncılar

Epoksi d-bazlı reaktif sıvılandırıncılar çoğunlukla akışkanlık azaltmanın gerekli görüldüğü durumlarda kullanılmalarına rağmen, reaktivite - epoksi d-guruplarla türeten birçok bileşik de dikkate alınmıştır. Bunların içerisinde en çok dikkate değer olanlar “ trifenil fosfat”ve “ bütrolaktone” gibi “taktone”bileşikleri olup, yapıları Şekil.3.2.'te gösterilmiştir. İki materyalde sıkça görünen 'yüksek

sıcaklık kabiliyeti' noksanına rağmen, etkili akışkanlık- düşürücü özellik sergilemiştir.



Şekil.3. 2.Trifenil Fosfat ve Bütrolaktone [21].

3.12.3. Dolgu Malzemeleri

Reçine ve iyileştiriciden ayrı olarak, dolgu malzemeleri büyük olasılıkla epoksi formülasyonlarının büyük çoğunluğunda kullanılan en genel formüsel içeriktir. Kesinlikle yüzlerce değişik dolgu tipi, epoksilerin özellik ve karakteristiklerini, maliyeti düşürmeye ek olarak, bir form ya da bir diğer form içinde değiştirebildikleri gibi dolgu tipi amacıyla da kullanılmışlardır. Avantaj ve dezavantaj anlamında, dolgu birleşmelerinin yarattığı çeşitli etkilere işaret etmektedir. Dolgu malzemeleri çoğu uygulama için yararlı olarak gösterilmelerine rağmen, arttırılmış yoğunluk (ve dolayısıyla ağırlık) ile birlikte, muhtemelen formülasyonun işlemlerini etkileyecek olan, akışkanlıktaki artış gibi dezavantajlı karakteristiklikler, açıkça ciddi olarak dikkate alınmayı gerektirmektedir.

3.12. 3. 1. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Özel dolgu malzemelerine yapılan eklemeler genellikle gerilme ve eğilme dayanımları gibi, dayanım karakteristiklerinde azalmaya neden olurlar. Buna rağmen lifli dolgu malzemeleri, kritik değerden daha yüksek yüklenme seviyelerinde kullanıldıklarında, sıkça bu dayanım parametrelerinde gelişme sağlarlar. Tahmin edileceği gibi özel ya da lifli dolguların birleşmesi değişmez biçimde, büyüklüğü dolgu çeşidine ve yüklenme seviyesine bağlı olarak, önemli artışlar meydana getirirler. Dolguların önemli dayanım gelişmeleri sağladıklarının bildirildiği bir özel uygulamanın; alüminyum ve alümina gibi ilave dolguların genel uygulamalarının gerçekleştirildiği yapısal adeziv formülasyonları ile olduğu bildirilmiştir [22].

Dolgular genellikle, camın geçiş sıcaklığı Termogravimetri ya da diğerk yüksek sıcaklık bozulma değerkleri üzerinde, bir güçlenme sağlamamaktadırlar.

3.12. 3. 2. Termal Karakteristikler

Dolgular, egzotermik davranış, termal iletkenlik ve termal genleşme kat sayısı gibi özellikler içeren epoksi reçinelerin çeşitli termal karakteristiklerinin değıştirilmesine imkân sağlarlar. Birçok epoksi formülasyonunun egzotermik karakteristiğı, özellikle hacimli maddelerin üretimi göz önüne alındığında, ciddi işlem zorluklarına sebebiyet verebilirler. Epoksiler genellikle iyi termal yalıtma karakteristiğı sergiledikleri için, bileşen buharlaşması ve hatta kömürleşmesi ile sonuçlanabilecek, özellikle büyük boyuna dökümlerin ortasında son derece yüksek sıcaklıklara ulaşılması mümkün olmaktadır. Dolguların birleşmesi, formülasyondaki reçine miktarını azaltma ve termal iletkenliğı arttırarak egzotermik ısının daha etkin olarak kaldırılması yolu ile önemli ölçüde egzotermik ısı üretimini azaltabilmektedir. Esasında termal iletkenlik, alüminyum, alümina ve bakır gibi dolgu ilaveleriyle birlikte yaklaşık olarak beş etken ile yükseltilebilir. Genellikle bir dolgu konsantrasyonundaki artış, termal iletkenliğı, üst yüklenme sınırı çoğunlukla maksimum izin verilebilir çalışma akışkanlığı ile birleşmiş halde, arttırır [21].

Dolgular yeterli konsantrasyonlarda birleştiklerinde epoksilerin termal genleşme kat sayılarını, birçok metal ile elde edilen epoksilerin termal genleşme kat sayısına yakın seviyelere kadar düşürmede başarılıdırlar. Bu, elektronikte ve yapısal adezif bağ uygulamalarında avantajlı olmaktadır.

3.12. 3. 3. Rötire (Büzölme)

Epoksiler polimerizasyon ve çapraz bağ geçirdikleri zaman, elektronikten adezif bağlara kadar olan bir uygulama alanı içinde zarar verici olabilen başından sonuna tüm iyileştirme işleminde büzüşme meydana gelir. Genellikle diğerk başka ısı ile sertleşen (termoset) polymerlere göre, fenolik ve polyesterler gibi, üstün olduğı belirtilmesine rağmen, en çok formüle edilmemiş epoksiler için bulunanların dışındaki diğerk büzüşme azaltmaların önemi sık sık dikkate alınmalıdır. Bu çoğı kez, çeşitli dolgu malzemelerinin ve büzölme özelliğı veren içeriklerin kullanımı ile elde edilir. Dolgu birleşimi büzölme, reçine ile çapraz-

bağ prosesine katılmayan bir soy bileşen arasında basit hacim yer değiştirmesi yaparak, azaltır.

3.12.3. 4. Elektrik İletkenliği

Birçok elektrik ve elektronik uygulamasında, elektrik iletkenlik gösteren epoksi reçine formülasyonlarına gerek duyulur. Polimerli materyallerin büyük çoğunluğunda olduğu gibi formüle edilmemiş epoksiler, yüksek seviyeli elektrik dirençleri gösterirler. Dolguların tedbirli kullanımları, bununla beraber, elektrik iletkenlik seviyelerini oldukça önemli oranda yükseltir [22].

Bu gereksinmeyi karşılamak için en genel olarak kullanılan dolgu malzemesi, tane ya da toz formunda kullanılan gümüştür. Bazen diğer başka dolgularda, bakır, siyah karbon ya da grafit gibi, öncelikle düşük maliyet ancak azaltılmış etki alternatifleriyle birlikte düşünülmektedir. Gümüşün popülaritesi öncelikle, genellikle elektrik yalıtkanlığı karakteristiği gösteren oksit tabakalarının yokluğundan kaynaklanır. Bu sebeple alüminyum gibi metalik dolgular bu uygulama için seyrek olarak göz önüne alınmaktadır.

3.12.3. 5. Akışkanlık

Dolguların bir epoksiyle birleşmeleri değişmez şekilde arttırılmış akışkanlık ile sonuçlanır, çoğu uygulamalarda dolgunun en yüksek yükleme kapasitesi genellikle maksimum izin verilen çalışma akışkanlığı ile sınırlandırılmıştır. Genellikle lifli dolgular, ağırlık olarak denkları olan özel (ayrı ayrı parçacıklar halinde olan) dolgulara göre, daha büyük akışkanlık arttırıcı etki gösterirler.

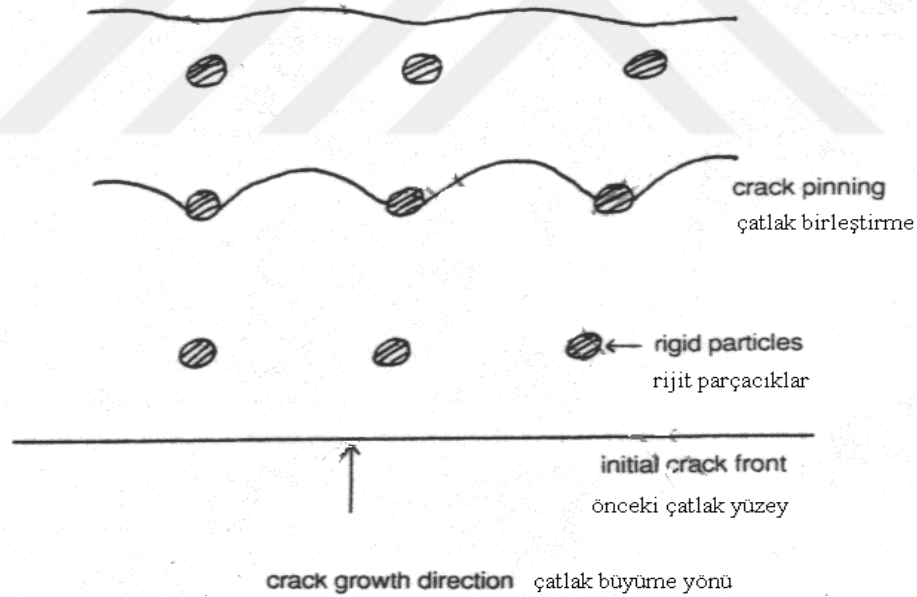
Bazı dolgular, özel silis tiplerinde, yapısal adezifler de ve bükülmeme özelliği gerektiren formülasyonlar da kullanımı uygun olduğu belirtilen bir tiksotropik etki yaratırlar [22].

3.12. 3. 6. Sertlik (Dayanıklılık)

Çoğu uygulamada epoksi reçinelerin faydalılığı genellikle büyük hatalara karşı olan görece kırılğan doğaları ve hassasiyetleri ile sınırlandırılmıştır. Sonuç olarak yıllardır sertlik özelliğinde, modül ve Termogravimetri gibi diğer önemli özellik ve parametrelere oranla daha az masrafla elde edilen, ciddi gelişmelere izin verecek prosesleri ve prosedürleri sağlamak için çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Belki de bunun elde edildiği en başarılı yöntem kauçuk değişim

olarak bilinen bir proses olup bu konu daha sonra daha detaylı ele alınacaktır. Birçok araştırma göstermiştir ki; silis, cam microsphere ve alümina trihidrat gibi özel bazı dolguların birleşmesi çeşitli epoksi formülasyonlarının sertliğini arttırabilir. (Moloney ve diğerleri, 1983, 1984, 1987; Spanoudakis ve Young, 1984).Belki de en büyük avantaj bunun modüldeki bir gelişmeyle elde edilebilmesidir; lastik değişimin genellikle daha etkili anlamda bir sertlik kuvvetlendirmesi sağlamasına rağmen, bu genellikle modül gibi diğer önemli özelliklerin pahasına elde edilmektedir.

Tane büyüklüğü, tane büyüklüğü dağılımı, tane yüzey kimyası ve özel hacim parçası gibi değişkenler, birçok araştırmacı tarafından ideal sertlik arttırıcı için gerekli olan en önemli değişkenler olarak gösterilmişlerdir. Çatlak birleştirme (crackpinning) (Şekil.3.3.) kavramına dayanan bir mekanizma, özel güçlendirme ile getirilen sertlik geliştirmelerini açıklamak üzere önerilmiştir [23-24-25].



Şekil.3. 3.Çatlak Birleştirme [21].

3.13.Deney Malzemeleri ve Özellikleri

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri ile deney elemanlarının hazırlanması ve deney aşaması detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Deney elemanlarının boyutları; laboratuvar koşulları, yükleme ve ölçme düzeneklerinin kapasiteleri göz önünde bulundurularak gerçeği yansıtacak şekilde seçilmiştir.

3.13.1. Kalıp

Beton ve betonarme yapı elemanlarının inşasında, yerine dökülen betonun projedeki biçimde durmasını sağlamak için kullanılan yüzey kaplaması ile bu kaplamanın bağlanması ve desteklenmesi için kullanılan parçalardan meydana getirilen sisteme kalıp denir.

Kâgir, yığma veya betonarme karkas yapılarda lento, kiriş, döşeme ve merdivenlerin betonları döküldüğünde, beton prizini tam olarak alıncaya kadar ağırlığını kalıplar taşır. Betonarme temel, kolon, perde duvar, kiriş, döşeme ve hatıllarda yanal basınçları karşılar.

Günümüzde inşaat sektöründe ilk yatırım maliyetinin düşük olması, büyük, küçük her inşatta kullanılabilmesi, ahşabın her yerde kolaylıkla bulunabilmesi, inşaat sektöründe çalışan herkes tarafından bilinmesi ve şantiyede kolaylıkla el aletleri yardımıyla yapılabilmesi işlenebiliyor olması nedeniyle çok yaygın olarak bir inşaatın olmazsa olmaz malzemesidir.

Ana malzemesi tamamen ahşap olan bu sistemde, malzeme zayıfatı ve işçiliği fazladır. Kereste tüketimine yönelik olması sebebiyle de doğal çevrenin korunması için pek tavsiye edilmeyen bir malzemedir. Ayrıca, kalıpların tekrar kullanım sayısı azdır. Bu sistem, betona istenen formu verecek olan kalıp parçaları, projenin öngördüğü ölçülere uygun olarak, yerinde tek tek kesilerek ve çivilenerek kurulur. Kalıp yapma zamanı uzundur. Kalıp yapımlarında, ahşap dikmeler kullanılabileceği gibi metal dikmeler de kullanılabilir. Deneysel çalışma kapsamında 10 adet tam ölçekli betonarme kiriş numunesi imal edilmiş olup, tüm deney elemanlarının aynı özellikleri göstermesi güçlendirme çalışması için çok büyük önem göstermektedir.



Şekil.3. 4.Projede Kullanılmak Üzere Hazırlanmış Kalıp Malzemesi

3.13.2. Donatı

Projeye uygun olarak hazırlanmış ve döşenmiş betonarme çeliğine donatı denir. Piyasada kangal veya firkete şeklinde olan demirler şantiyeye getirildiğinde yapılacak ilk iş demirlerin açılması ve düzeltilmesidir. Demirler kolaylıkla ölçülmesi ve işaretlenmesi için düzeltilir. Demirlerin düzeltilmesinde uygun aletler kullanılmalı ve düzeltme esnasında; demirler ezilmemeli, yüzeyinde keskin izler bırakılmamalı ve düzeltme esnasında demirin çatlamasına neden olabilecek işlemlerden kaçınılmalıdır.

Betonarme kiriş deney numuneleri 150×250 mm boyutlarında, 2000 mm uzunluğunda hazırlanmıştır. Deney elemanlarının boyutuna göre donatı seçimi yapılmıştır. Tüm kirişler için basınç donatısı olarak 2 adet Ø10, çekme donatısı olarak 2 adet Ø12 nervürlü donatı kullanılmıştır. Oluşacak kesme kuvvetinin karşılanabilmesi için tüm kirişlerde 115 mm aralıklarla Ø10 çapında etriyeler kullanılmıştır.



Şekil.3. 5.Projede Kullanılacak Donatıların Hazırlanması

3.13.3. Beton

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşır sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir.

Kıvam Sınıfları;

Beton kıvamı, aşağıda verilen çökme sınıflarına göre sınıflandırılır. Verilen kıvam sınıfları arasında doğrudan ilişki kurulamaz. Özel durumlarda kıvam, hedef değerlerle de tanımlanabilir. Nemli toprak kıvamındaki, özel yöntemle sıkıştırılmak üzere tasarlanmış çok düşük su içeriğine sahip olan benzeri betonlar için kıvam sınıflandırılmaz. Çökme (Slump) deneyi yapılırken;

- Çökme hunisi düz bir zemine konur.
- Standart çökme hunisi üç eşit kademede doldurulup, her kademede standart şişleme çubuğuyla şişleme işlemi yapılır.
- Huni tamamen dolunca üst yüzeyi mala ile düzeltme işlemi yapılır.
- Huni yavaşça yukarı doğru kaldırılır; bu sırada taze beton kendi ağırlığıyla çöker.

- Şişleme çubuğu huninin üzerine konur ve çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçümü işlemi yapılır.
- Bu uzunluk, taze betonun çökme değeri olarak adlandırılır.

Tasarlanan kiriş numuneleri için C30/37 sınıfı hazır beton kullanılmıştır.



Şekil.3. 6. Projede Kullanılan Betonun Kalıplara Dökülmesi

3.13.4. Epoksi bazlı yapıştırıcı

Epoksi reçineleri, prepolimer ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenli olarak satılırlar. Epoksi yapıştırıcılar fiyatlarının oldukça yüksek olmasına rağmen oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Kolay kullanılabilir oluşları, hacimlerini muhafaza etmeleri, aşınmamaları, kimyasal etkilere ve korozyona karşı mukavemetlerinin yüksek olması, mekanik özelliklerinin çok yüksek olması çok çeşitli malzemelerle (metal, ahşap, cam, seramik, plastik, beton) olağanüstü yüksek aderans sağlamaları, komponentlerin oluşturduğu reaksiyonda uçucu materyaller açığa çıkmadığı için sertleştiklerinde diğer yapıştırıcılara göre daha az rötre yapmaları, termoset olmaları ve istenen özelliklere göre değişik yapıştırıcı türlerinin yapılabilmesi en önemli özellikleri arasında sayılmaktadır.

Hazırlanan deney elemanlarının alt ve yan yüzeyine güçlendirme malzemesi olarak yapıştırmak için epoksi bazlı reçine kullanılmıştır. Bu işlem için Sikadur-31 isimli, solvent içermeyen, neme toleranslı, tiksotropik, 2 bileşenli, epoksi reçineler ve özel dolgular içeren, yapısal yapıştırma ve tamir harcı temin edilmiştir. Kullanım alanları;

Yapısal yapıştırıcı olarak:

- Beton elemanlar
- Sert doğal taş
- Seramik, prefabrik hafif beton yapı elemanları
- Harç, tuğla, bloklar, tuğla duvar v.b.
- Çelik, demir, alüminyum
- Ahşap
- Poliester, epoksi
- Cam

Hızlı kür alan tamir harcı olarak:

- Köşeler ve kenarlar
- Delik ve boşluk doldurma
- Derz kenarları

Derz dolgusu ve çatlak kapatma alanında:

- Rijit derz dolgusu
- Çatlak dolgusu ve kapatma

Epoksi Reçinelerin Özellikleri/Avantajları;

- Kolay karıştırılır ve uygulanır.
- Kuru ve nemli beton yüzeyler için uygundur.
- Birçok yapı malzemesine çok iyi yapışır.
- Yüksek dayanımlı yapıştırıcıdır.
- Tiksotropiktir: sarkma yapmaz ve düşey ve baş üstü uygulamalar için uygundur.
- Solvent içermez.
- Rötresiz sertleşir.
- Bileşenleri farklı renklindedir (karıştırma kontrolü için).
- Astar gerektirmez.
- Yüksek başlangıç ve nihai dayanıma sahiptirler.
- İyi aşınma dayanımları vardır.
- Tek üründe yapıştırıcı ve dolgu özelliği vardır.
- Sıvılara ve su buharına karşı geçirimsizdir.

- İyi kimyasal dayanımlıdır.

Epoksi yapıştırıcıların basınç dayanım çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge.3. 4.Kullanılan Epoksi Malzemesinin Basınç Dayanımı

Kür süresi	Kür sıcaklığı	
	+20°C	+10°C
1 gün	40 - 45 N/mm ²	35 - 40 N/mm ²
10 gün	60 - 70 N/mm ²	50 - 60 N/mm ²

Epoksi yapıştırıcıların eğilmede çekme dayanımı Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge.3. 5.Kullanılan Epoksi Malzemenin Eğilmede Çekme Dayanımı

Kür süresi	Kür sıcaklığı
	+10°C ile +20°C
10 gün	30 - 40 N/mm ²

3.13.5. Çelik Lif Özellikleri

Çelik lif takviyeli betonların enerji yutma kapasiteleri, darbe ve yorulmaya karşı dirençleri yüksektir. Çelik lif takviyesi kompozit hale gelmiş malzemenin mekanik davranışının tamamı ile farklı hâle gelmesini sağlar.

Çelik lif takviyeli betonlarda ilk çatlak oluşumundan sonra çatlak bölgesindeki gerilmeler lifler aracılığıyla taşınır. Bu gerilmelerin bir kısmını lifin kendisi taşır, bir kısmını ise köprü görevi görerek matrisin sağlam bölgelerine aktarır. Lifli betonda ilk çatlağın oluşması ve çatlağın büyümesi için gereken enerji lifsiz betona göre çok yüksek değerlerdedir.

Çelik lifli betonun mekanik özellikleri, lifin boyu, şekli, beton içerisindeki yüzdesi, narinlik oranı, çimento cinsi ve miktarı, numunelerin boyutu, şekli, hazırlanma metotları, su/çimento oranı, kullanılan agreganın cinsi ve tane dayanımı ile doğrudan ilişkilidir. Betonlarda lif kullanımı ile gelişen mekanik özelliklerin artışı Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge.3. 6.Lif Takviyeli Betonların Bazı Özelliklerinde Matris Malzemesinin

Betonun Özelliği Artış (%)	Betonun Özelliği Artış (%)
Tokluk 100 - 1200	Tokluk 100 - 1200
Darbe Dayanımı 100 – 1200	Darbe Dayanımı 100 – 1200
İlk Çatlak Dayanımı 25 – 100	İlk Çatlak Dayanımı 25 – 100
Çekme Dayanımı 25 – 100	Çekme Dayanımı 25 – 100
Basınç Dayanımı ± 25	Basınç Dayanımı ± 25
Yorulma Dayanımı 50 – 100	Yorulma Dayanımı 50 – 100
Şekil Değiştirme Oranı 50 – 300	Şekil Değiştirme Oranı 50 – 300
Eğilme Çekme Dayanımı 25 – 200	Eğilme Çekme Dayanımı 25 – 200
Kavitasyon – Erozyon Direnci 200 – 300	Kavitasyon – Erozyon Direnci 200 – 300
Elastisite Modülü ± 25	Elastisite Modülü ± 25

Çelik liflerin betonun basınç dayanımına etkisi çok fazla değildir. Çelik lifler tarafından betonun basınç dayanımı artışı %25 ‘i nadiren geçmektedir.

Yalın betonların en büyük zaafı olan çekmeye karşı gösterdikleri düşük performanstır. Bu nedenle lif takviyesi asıl olarak betonun yüksek şekil değiştirmesini ve çekme dayanımını arttırmaktadır.

Kompozitler çoğu durumlarda eğilme yüküne maruz kalırlar. Liflerle donatılmış betonlarda tüm durumlarda eğilme dayanımındaki artış, basınç ve yarmada çekme dayanımından daha yüksek olur. Eğilme dayanımını etkileyen en büyük parametreler ise lifin tipi, boyu, geometrisi, hacimce yüzdesi, matrisin yapısı ve numune boyutlarıdır. Deneyde kullanılan çelik lif Şekil.3.7de verilmiştir.



Şekil.3. 7. Deneyde Kullanılan Çelik Lif

Çizelge.3. 7.Farklı Çelik Lif Tipi Örnekleri

En Kesit	Yuvarlak	
	Yassı	
	Yarı yuvarlak	
Biçim ve deformasyonlar	Düz	
	Dalgalı	
	Kancalı uçlu	
	Genişletilmiş uçlu	
	Çarpık	
	Yassı uçlu	
	Deforme edilmiş	
	Zikzak biçimli	

3.13.6.Elyaf Lif Özellikleri

Yüksek kalitedeki monofilament mikro polipropilen liflerden oluşur. Taze betonun şekil değiştirme kapasitesini artırarak betondaki plastik büzülme

çatlaklarını kontrol altına almak ve azaltmak amacıyla üretilmiştir. 1 m³ beton için suda çözülebilen küçük ambalajlarda hazırlanmıştır.

Uygulama Alanları: Betonun büzülme çatlaklarını azaltmak amacı ile aşağıdaki yerlerde kullanılır.

- Prefabrike beton elemanlar
- Islak ve kuru sistem püskürtme beton (shotcrete) üretimi
- Havaalanı, apron ve otopark betonları
- Darbe yüküne maruz kalan beton ve harçlarda
- Şap betonları
- Saha betonları
- Showroom zeminleri
- Tavan panelleri
- Ön cephe
- Otoyol bariyerleri
- Dekoratif beton paneller
- Kanal elemanları
- Beton borular

Elyaf liflerin özellikleri ve avantajları aşağıdaki şekildedir;

- Kalın polipropilen liflerin 40 katı kadar lif sayısı vardır.
- Yüksek bağlayıcılık özelliğine sahiptir.
- Problemsiz karıştırma sağlarlar.
- Alkali direnci yüksektir.
- Yüksek aderans yüzeyi oluştururlar.
- İnceliğinden ve özel yüzey dokusundan dolayı, beton veya harç içinde kolayca dağılır ve aşağıdaki özelliklere sahip yoğun bir matris temin eder.
- Plastik büzülme çatlaklarını azaltır.
- Terlemeyi azaltır.

- Aşınma dayanımı artırır.
- Betonun darbe yüklerine karşı dayanımı artırır.
- Beton döşemelerin eğilme dayanımı artırır.
- Yangın hasarına karşı betonun direncini artırır.
- Betonun su geçirimsizliğini artırır.
- Betonun donma-erimeye karşı direncini artırır.
- Betonun köşe ve kenarlarındaki kırılmalara karşı direncini artırır.
- Kalıp sökümü sırasında oluşan kırılmaları azaltır.
- Betonun kohezyonunu artırdığı için inşaatın hızını ve kalitesini artırır.

Çizelge.3. 8.Elyaf Lif Çeşitleri

	AS13	AS20
Uzunluk (mm)	13	20
Çap (μ)	22	16
Lif sayısı (milyon/kg)	224	275

Deneyde kullanılan elyaf lif Şekil.3.8'de verilmiştir.

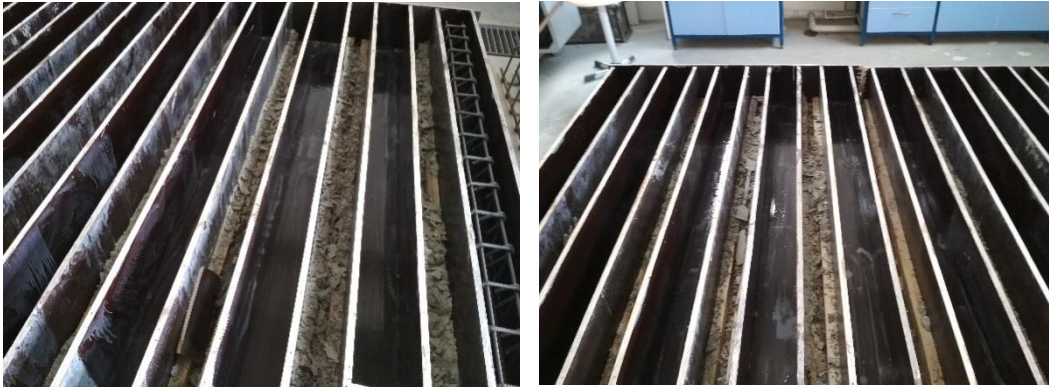


Şekil.3. 8.Deneyde Kullanılan Elyaf Lif

3.14. Deneyde kullanılan malzeme ve izlenilen yöntem

Bu bölümde gerekli malzemelerin temin edilmesinden sonra betonarme kiriş numunelerinin üretilmesi ve isimlendirilmesinden bahsedilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarının gerçeği yansıtabilmesi için kiriş deney numunelerinin aynı karakteristik özellikte malzemelerden üretilmesine özen gösterilmiştir.

Deneysel çalışma kapsamında 150x250x2000 mm boyutlarında 10 adet betonarme kiriş numunesi üretilmiştir.



Şekil.3. 9.Deneylerde Kullanılan Plywood Kalıplar

3.14.1. Deney Elemanlarının İsimlendirilmesi

Deney elemanlarının adlandırılmasında kullanılan K harfi kiriş kelimesini simgelemektedir. Güçlendirme yapılmayan kirişlerin belirtilmesi için yalın kiriş anlamına gelen KY ifadeleri kullanılmıştır. Yalın kirişlerden 2 adet bulunmaktadır ve KY1, KY2 şeklinde birbirinden ayırt edilmesi amaçlanmıştır.

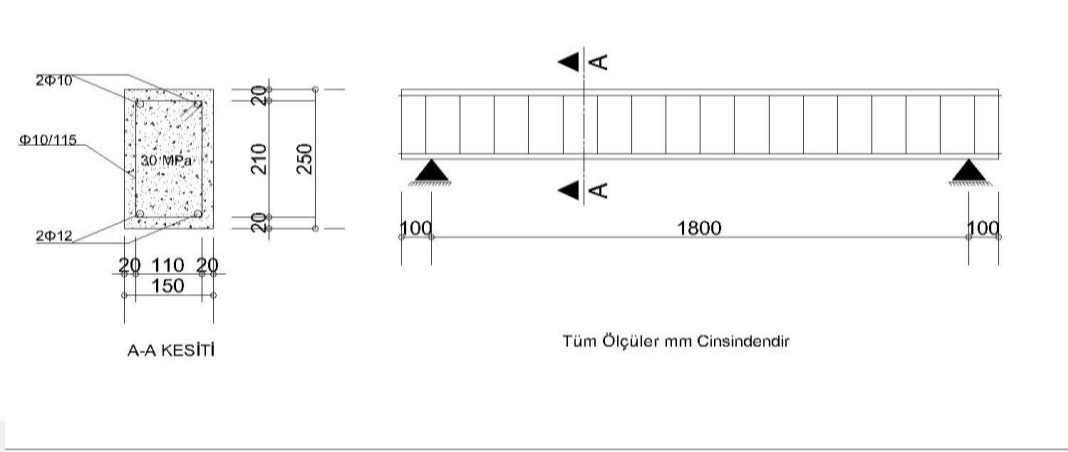
Güçlendirme yapılan kirişlerin belirtilmesi için, güçlendirme malzemesi olarak kullanılan epoksi esaslı harçlı malzemesinin ilk harfinden esinlenilerek KE ifadesi kullanılmıştır. Bu doğrultuda, güçlendirilen kirişler KE1, KE2 şeklinde adlandırılmıştır. İkinci seride de elyaf lifli epoksi esaslı harç kullanılmıştır bunlarda KEE1 ve KEE2 şeklinde adlandırılmıştır. Üçüncü seride de çelik lifli epoksi esaslı harçlı malzeme kullanılmıştır ve bunlarda kirişin tek yüzüne uygulanan kirişlere verilen adlandırma KEÇ1 ve KEÇ2, üç yüzeyine uygulanan çelik lifli epoksi esaslı kirişler KEÇ3-1 ve KEÇ3-2 olarak adlandırılmıştır. Yapılan isimlendirme Çizelge.3.9' da gösterilmiştir.

Çizelge.3. 9.Deney Elemanlarının Adlandırılması

SA YI	NUMUNE ADI	KİRİŞ BOYUTLARI	BASINÇ DONATISI	ÇEKME DONATISI	ETRİYE DONATISI	EPOKSİ ESASLI HARCIN UYGUL AMA KALINLI ĞI	EPOKSİ ESASLI HARCIN UYGUL AMA YÜZEY SAYISI
1	KY-1	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	-	-
2	KY-2	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	-	-
3	KEE-1	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	5	1
4	KEE-2	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	5	1
5	KEÇ-1	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	5	1
6	KEÇ-2	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	5	1
7	KE-1	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	5	1
8	KE-2	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	5	1
9	KEÇ3-1	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	5	3
10	KEÇ3-2	150/250/2000	2Ø10	2Ø12	Ø10/115	5	3
Tüm Ölçüler mm Cinsindendir.							

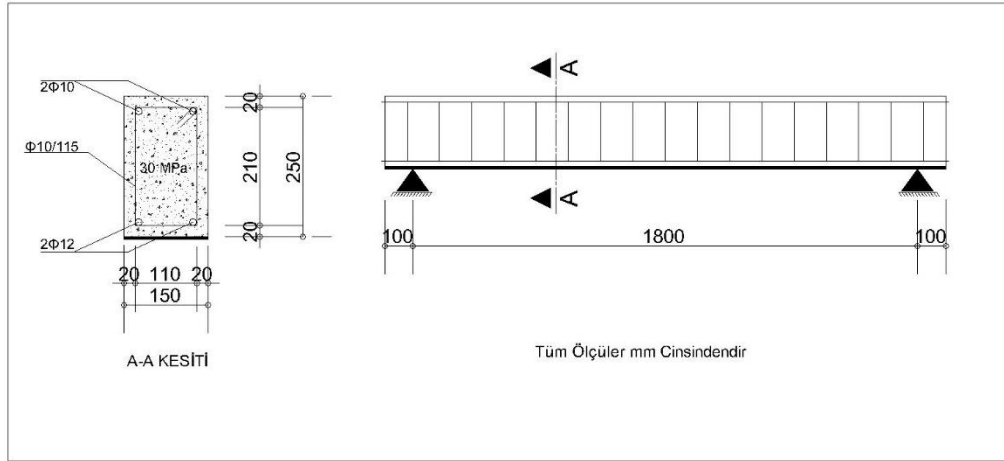
3.15. Deney Elemanları

Güçlendirme çalışması yapılmayarak referans olarak kullanılan KY-1, KY-2 yalın deney elemanlarının detayı Şekil 3.10’da verilmiştir.



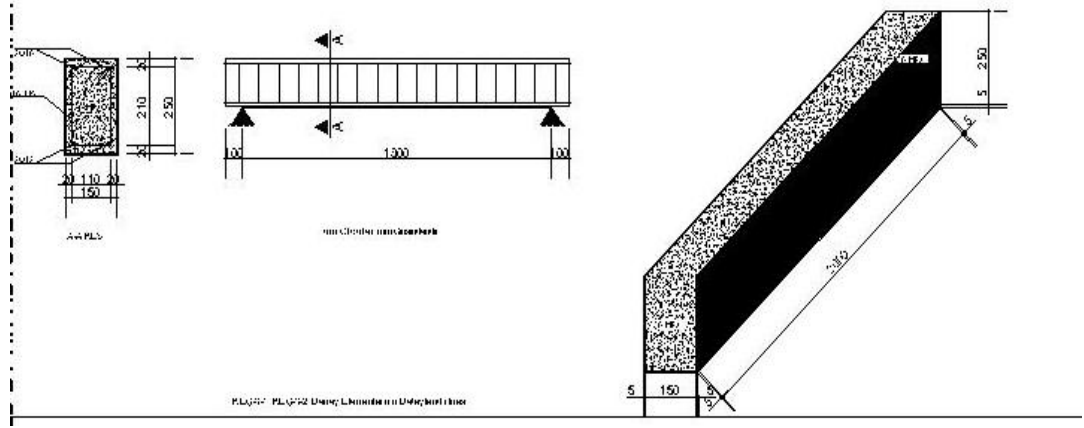
Şekil.3. 10.KY-1 Ve KY-2 Deney Elemanlarının Detaylandırılması

5 mm çekirdek yüksekliğine sahip tek yüzeyi epoksi esaslı harç, elyaf lifli epoksi esaslı harç, Çelik lifli epoksi esaslı harç ile güçlendirilen KEE-1, KEE-2, KE-1, KE-2, KEÇ-1 Ve KEÇ-2 deney elemanlarının detayı Şekil.3.11’ de verilmiştir.



Şekil.3. 11.KE-1, KE-2, KEÇ-1, KEÇ-2, KEE-1 Ve KEE-2 Deney Elemanlarının Detaylandırılması

5 mm çekirdek yüksekliğine sahip üç yüzeyi çelik lifli epoksi esaslı harç ile güçlendirilen KEÇ3-1, KEÇ3-2 deney elemanlarının detayı Şekil.3.12’de verilmiştir.



Şekil.3. 12. 3 Yüzü Çelik Lifli Epoksi Esaslı Harçlı KEÇ3-1 Ve KEÇ3-2 Deney Elemanlarının Detaylandırılması

3.15.1. Deney Malzemelerinin Hazırlanışı

A+B bileşenlerini en az 3 dakika boyunca spiral uçlu elektrikli karıştırıcı ile düşük hızda (en fazla 600 dev/dak) malzeme düzgün kıvamlı ve homojen gri renkte olana kadar karıştırılmıştır. Karıştırırken fazla hava sürüklenmemesine dikkat edilmiştir. Ardından tüm karışım temiz bir kaba boşaltılıp 1 dakika daha hava sürüklenmesini en aza indirmek için düşük hızda karıştırılıp kirış yüzeyine spatula yardımı ile uygulanmıştır.



Şekil.3. 13.Epoksinin Karıştırılması

Betonun dökülmesi: C30/37 Sınıflı betonun kalıplara dökülme işlemi



Şekil.3. 14.Betonun Dökülmesi

Bu çalışmada öncelikle kullanılan kalıpların düzgün olarak monte edilmesine özellikle dikkat edilmiştir. Kalıpların parçaları iyice sıkıştırılıp yerleştirme sırasında aralanmaları önlenmiştir. Çünkü titreşim esnasında oluşan bu aralıklardan betonun bünyesindeki su dışarıya çıkabilir. Kalıplar önceden kalıp yağı ile yağlanmıştır. Betonun deneylerde kullanılan kalıplara uygun şekilde yerleşmesi için, beton yaklaşık olarak eşit hacimlerde olan iki tabaka halinde yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi için spatula kullanılmıştır. Kalıplara konan harç spatula ile ileri geri yayılarak harcın kalıp içinde aynı kalınlıkta dağılması sağlanmıştır.



Şekil.3. 15.Betonun Dökülmesi

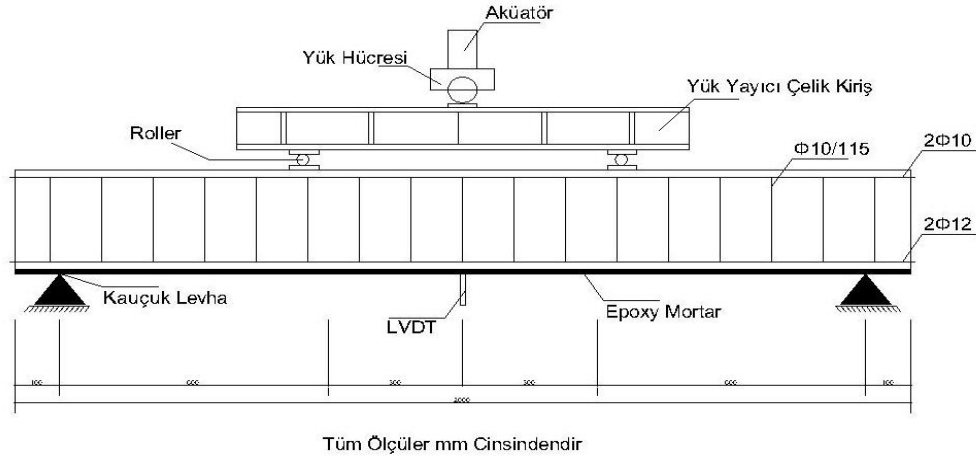
3.15.2. Yükleme Düzeneği

Deneyler, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Betonarme kiriş deney elemanlarına yükleme yapmak amacıyla 80 kN kapasiteli çelik yük çerçevesi kullanılmıştır (Şekil.3.16). Çerçeve, reaksiyonları kendi içinde deney elemanına iletmektedir. Yükleme, deplasman kontrollü hidrolik servo-kontrol ünitesi yardımıyla gerçekleştirilmiş ve rijit çelik kiriş ile deney elemanlarına aktarılmıştır. Yükün büyüklüğü aktüatör üzerinde bulunan yük hücresi (loadcell) ile ölçülmüştür. Yük hücresi çelik kirişin tam ortasına yerleştirilmiş ve yüklemeye sıfırdan başlayıp göçme meydana gelene kadar devam edilmiştir. Yükleme hızı saniyede 30 mikron olarak uygulanmıştır. Deney elemanlarının tam orta noktasına LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) yerleştirilerek her yük değerine karşılık gelen Deplasman değerleri datalogger aracılığıyla bilgisayar ortamına anlık olarak aktarılmıştır. Deney düzeneği Şekil.3.17' de gösterilmiştir.



Şekil.3. 16.Eğilme Deney Düzeneği



Şekil.3. 17.Eğilme Deney Düzenəğinin Detaylandırılması

Deney düzeneğİ hazırlanırken deney elemanları basit mesnetli kiriş şeklinde mesnetlenmiştir. Kirişin bir ucu sabit mesnet iken diğİer ucu hareketli mesnet olarak hazırlanmıştır. Deney modelinde kesme kuvvetinin olmadığı, basit eğilme etkisindeki bir bölgenin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla dört noktalı yükleme sistemi oluşturulmuştur. Yük aralığı düzgün yayılı yük altında oluşan moment diyagramını kapsayacak şekilde belirlenerek, mesnetlerden $L/3$ kadar uzaklıkta yerleştirilmiştir. Böylece P büyüklüğündeki tekil yük, $P/2$ büyüklüğünde eşit iki tekil yük halinde deney elemanlarına iletilmiştir.

Deney esnasında, 6 mm kalınlığa sahip 75x150 mm ebadında dikdörtgen kauçuk parçalar kullanılmıştır. Mesnetler ile kiriş alt ve üst yüzeyleri arasında yerleştirilen kauçuk parçalar sayesinde kirişlerin mesnet bölgelerinden ezilmesi önlenmiştir.

3.15.3.Ölçüm Tekniğı

Deney elemanlarının orta nokta deplasmanını ölçmek amacıyla kiriş orta noktasına LVDT yerleştirilmiştir. Yük ölçümü ise yük hücresi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. LVDT'lere gelen anlık veriler bir okuyucu tarayıcıdan geçtikten sonra bilgisayara kaydedilmiştir. Saniyede 10 veri okunarak anlık olarak Yük-Deplasman değerleri elde edilmiştir.

Yük hücrelerinden aktarılan değerler UTEST Veri Toplama Yazılım Programı aracılığıyla, bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Veri toplama sisteminin

temel fonksiyonu, sensörlerden gelen, yavaş değişen (statik/dinamik) sinyalleri dijital veriye çevirerek bilgisayar ortamına aktarmaktır. Deneyler sırasında; yük hücresi ve LVDT' den alınan veriler, veri toplama kutusuna (datalogger) iletilmiştir. Yazılım programı sayesinde alınan tüm okumalar Excel programında düzenlenmiştir.

Deney sırasında kirişteki Deplasman ile yük değişimi bilgisayar ekranında grafik olarak izlenmiştir. Deney boyunca Novo teknik marka LVDT ve KYOWA marka datalogger kullanılmıştır.

Yük-Deplasman grafikleri deney sonuçlarının değerlendirilmesi açısından oldukça önemli verilerdir. Bu grafiklerle kirişlerin deney boyunca davranışları yorumlanabilmektedir.

3.15.4.Deney Aşaması

Deney programında yer alan tüm deney elemanları, deney çerçevesine mesnet ve merkez noktalarına, yük aralıklarına dikkat edilerek özenle yerleştirilmiştir. Yerleştirilme işleminden sonra yükleme ve ölçüm aletleri bağlanmış ve deneye başlanmıştır. Yükleme-Deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiş ve saniyede 30 mikron yükleme yapılarak, deney elemanlarının deplasman değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda deney esnasında anlık olarak Yük-Deplasman grafiği çizilmiştir. Deney sırasında meydana gelen olaylar, elemanda fark edilen tüm değişiklikler kayıt altına alınmıştır.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Beton Basınç Deneyi

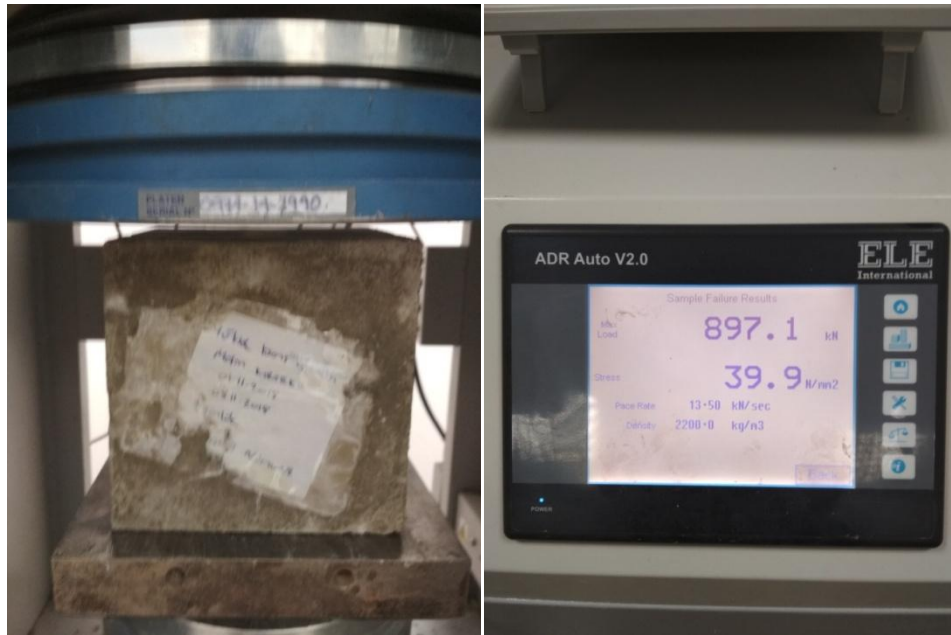
Bu bölümde, alınan deney numune örnekleri kullanılarak betonun basınç dayanımı tayin edilmiştir.

Basınç gerilmesi, basınç uygulanan deney numunesinin basma doğrultusuna dik olan kesitin birim alanına düşen kuvvettir.

Basınç dayanımı, basınç deneyinde kırıldığı anda deney numunesinin maruz kaldığı basınç gerilmesidir.

Basınç testinde kırılan her yarım prizma, 40x40 mm' lik kalınlığı en az 10 mm. olan sert metalden yapılmış iki kalın levha arasında pressin yükleme başlıkları arasına (alt ve üst yükleme plakası) yerleştirilir. Kullanılan bu iki kalın levha (plaka) press başlıkları ve numunenin aynı düşey simetri eksenini üzerinde olmasına dikkat edilmiştir. Deney numunesi yavaş yavaş oynatılarak deney numunesi düşey ekseninin press küresel üst başlık plakasının merkezi ile çakışması sağlanır. Basınç deneyinde numunenin dökümü sırasında üste gelen yüzey uygulanan basınç kuvvetine paralel olmasına dikkat edilmiştir.

Yüklemeye sabit bir hızla ve darbe etkisi yapmayacak tarzda deney numunesi kırılncaya kadar devam edilir ve kırılma anında deney pressinin gösterdiği en büyük yük kaydedilir.



Şekil.4. 1.Kür Süresi Tamamlanan Numunelerin Basınç Dayanım Testine Tabi Tutulması

Deney numunesi parçası basınç dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$\sigma = P/A$ bu formül de;

P = Kırılma yükü

A = Deney yükü uygulama yönüne dik ve yükleme plakası boyutlarına bağlı ortalama kesit alanı

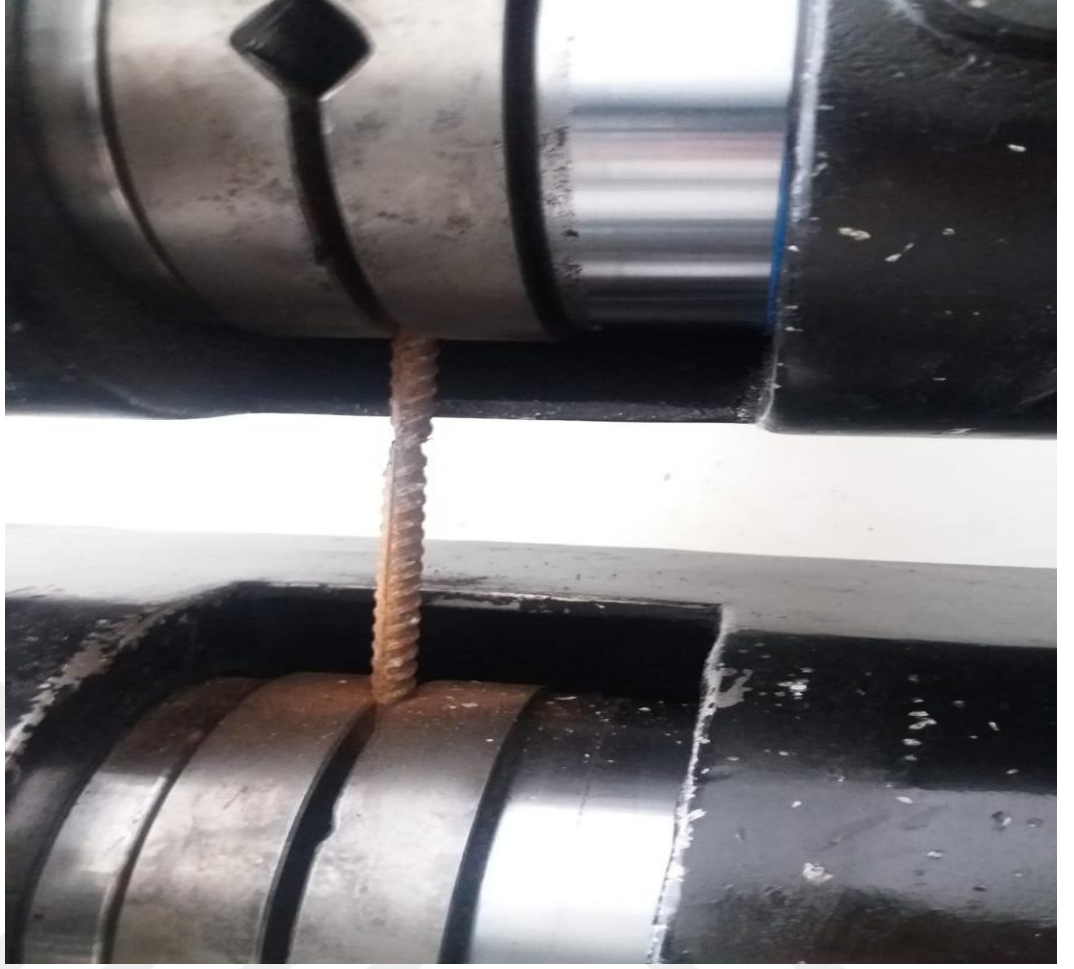
Çizelge.4. 1.Karakteristik Basınç Dayanım Değerleri

NUMUNE ADI	NUMUNE YAŞI (Gün)	BASINÇ DAYANIMI (MPa)
1	7	35,80
2	7	37,10
3	7	38,00
4	28	39,90
5	28	39,80
6	28	39,80

Beton sınıfının; basınç dayanım değerleri TS EN 206-1 standardına göre değerlendirildiğinde C30/37 olduğu görülmektedir.

4.2.Donatı Çeliği Çekme Deneyi

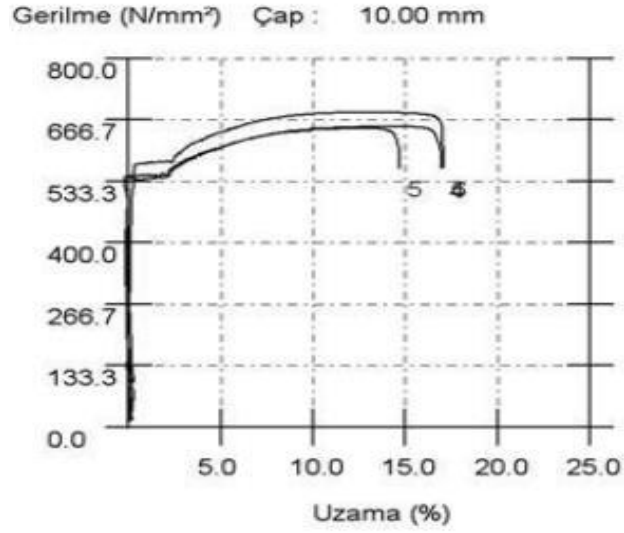
Deney elemanları hazırlanırken Ø10 ve Ø12 donatılarından üçer adet numune alınıp çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler Çizelge.4.2' de verilmiştir.



Şekil.4. 2.Donatı çeliği çekme deneyi

Çizelge.4. 2.Donatı Özellikleri

NUMUNE ADI	ÇELİK SINIFI	NUMUNE ÇAPI (mm)	KÜTLE Kg/m	AKMA DAYANIMI (MPa)	KOPMA DAYANIMI (MPa)
1	S420	Ø10	0,651	413	508
2	S420	Ø10	0,651	417	516
3	S420	Ø10	0,651	418	520
4	S420	Ø12	0,890	425	602
5	S420	Ø12	0,890	432	585
6	S420	Ø12	0,890	423	601



Şekil.4. 3.Donatı Çeliği Gerilme-Uzama Grafikleri

4.3.Yalın kirişler Üzerinde Yapılan Eğilme Deneyleri

Sertleşmiş beton numuneler üzerinde yapılan eğilme deneyi şekilde gösterilmiştir. Herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmayan kontrol numunesi olarak kullanılan yalın deney elemanları KY-1, KY-2 kirişleri, güçlendirilmemiş elemanlar için mukayese edilmek amacıyla deneye tabi tutulmuştur.





Şekil.4. 4.Referans Kirişlerin Deney Öncesi Fotoğrafları

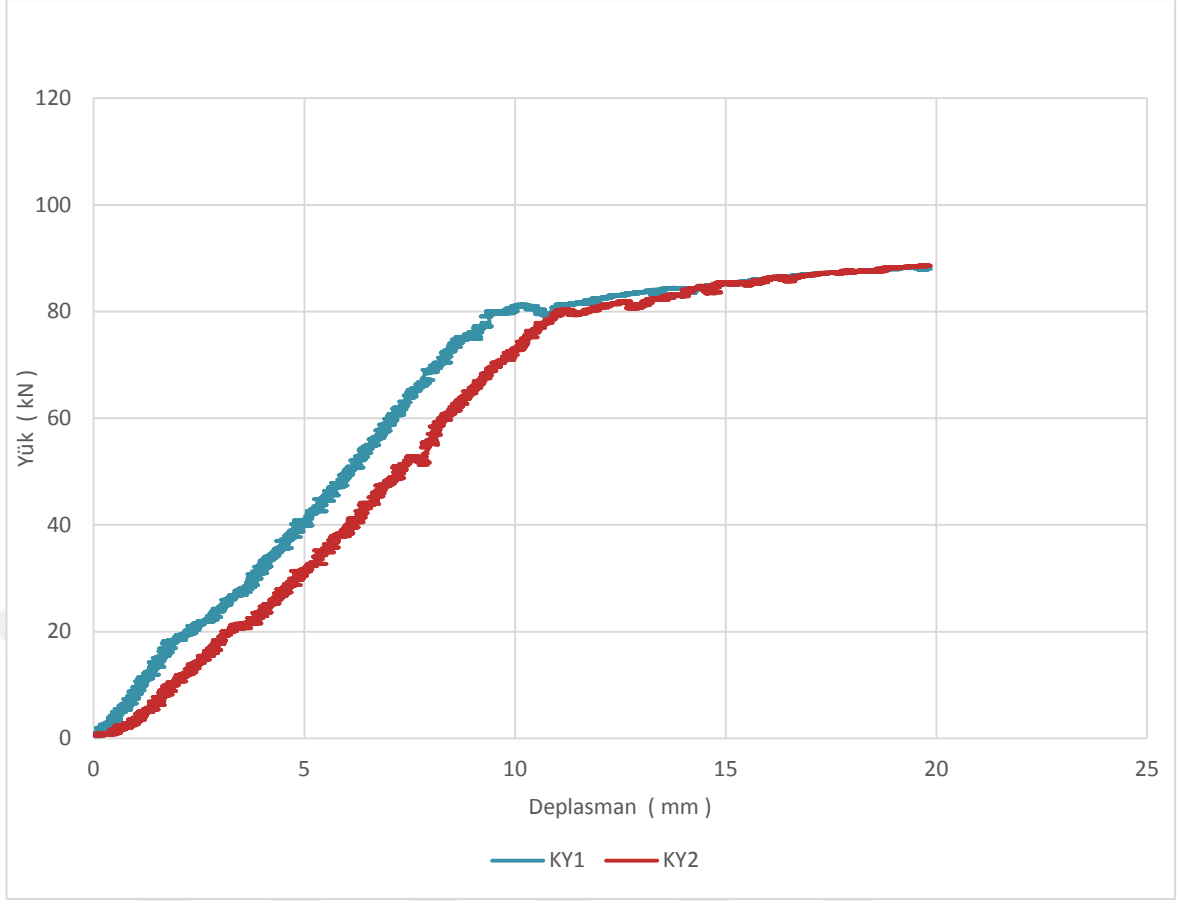




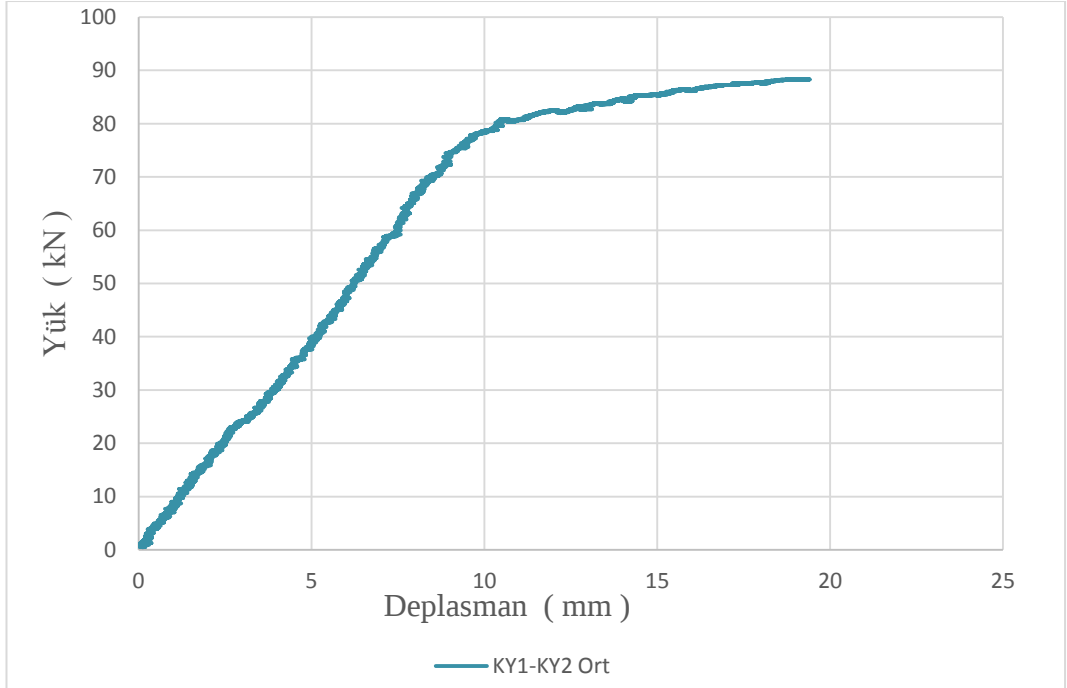


Şekil.4. 5.Referans Kirişlerin Deney Sonrası Fotoğrafları

Güçlendirme çalışması yapılmayan yalın kirişler, başlangıçtan göçme anına kadar arttırılan düşey yükleme ile dört nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen değerler ile Yük-Deplasman ilişkisi Şekil.4.6’da gösterilmiştir.



Şekil.4. 6.Referans Kirişlerin Yük-Deplasman Grafikleri

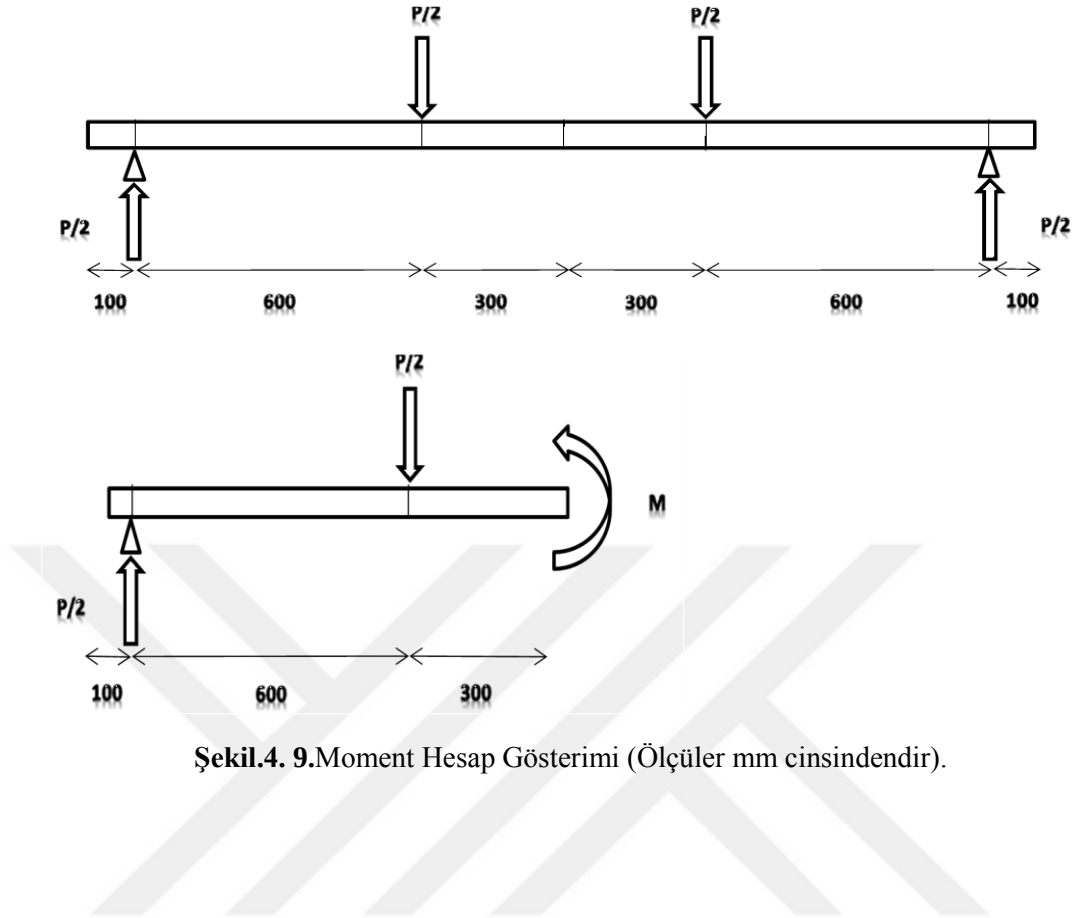


Şekil.4. 7.KY-1,KY-2 Kirişlerinin Ortalama Değer Grafiği

Yük-Deplasman grafiğinden (Şekil.4.6) referans yalın kirişlerin homojen yapıda hazırlandığı görülmektedir. Grafikteki verilerin ortalama değeri referans yalın kirişlerin davranışı olarak esas alındığında, referans yalın kirişlerinin 80,60 kN yük değerine ulaştığında çekme donatısının akmaya başladığı görülmüştür. Akma anındaki orta nokta deplasman değeri ise 9,75 mm olarak ölçülmüştür. Akabinde kirişler yük almaya devam etmiş olup ve nihai yük taşıma kapasitesine ulaştığında değer 88,01 kN olarak ölçülmüştür. Nihai yük taşıma kapasitesinden sonra göçme meydana gelmiştir. Deney elemanları üzerindeki yük değeri azalmaya başlarken Deplasman değeri artmaya devam etmiş olup maksimum deplasman değeri 19,36 mm olarak okunmuştur. Deney elemanlarında kiriş merkez noktasının sağ (Şekil. 4.8. KY-1 ve KY-2) açıklığında eğilme çatlakları meydana gelmiş, kesme çatlaklarının ise oluşmadığı görülmüştür. KY kirişlerinde deney sonunda 6' şar adet çatlama meydana gelmiştir, bu çatlaklar basınç bölgesine kadar aynı hat boyunca devam etmiş olup çatlak Aralıkları 2,00 mm ila 5,00 mm arasında değişmektedir. En büyük çatlaklar orta bölgelerde oluşmuştur, betonda dağılmalar meydana geldiği görülmüştür.



Şekil.4. 8.KY-1 ,KY-2 Kirişleri Üzerinde Görülen Kırılma-Çatlak Fotoğrafi



Şekil.4. 9.Moment Hesap Gösterimi (Ölçüler mm cinsindendir).

$$M + \frac{P}{2} * 300 - \frac{P}{2} * 900 = 0$$

$$M = \frac{P}{2} * (900 - 300)$$

$$M = 300P$$

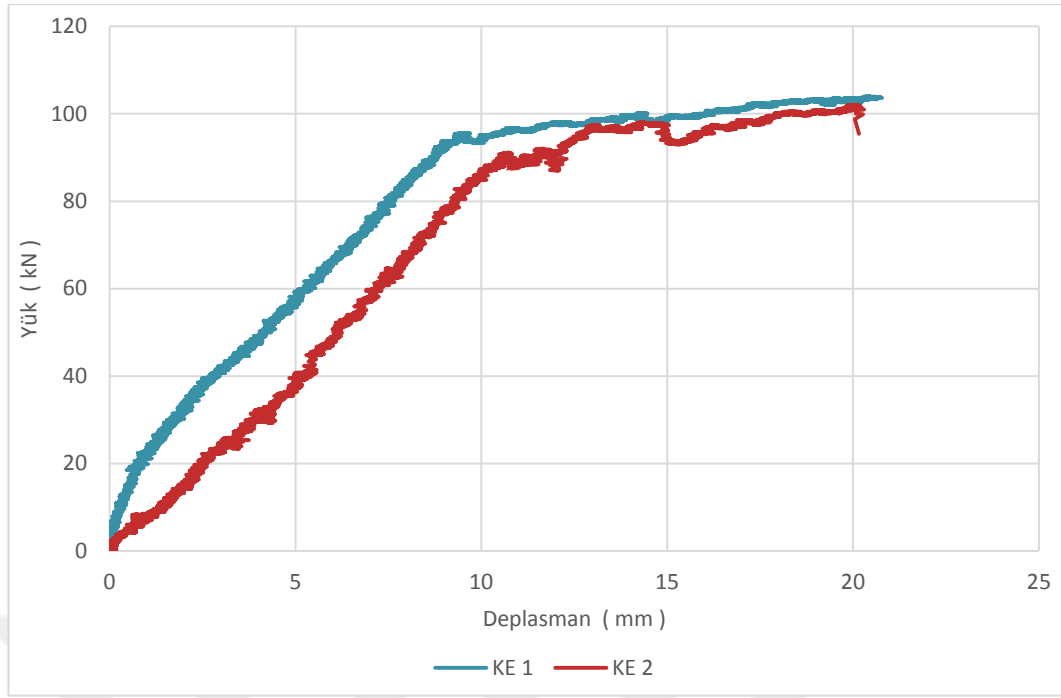
4.4. Güçlendirilmiş Kirişler Üzerinde Yapılan Eğilme Deneyleri

5 mm kalınlığında epoksi esaslı harçla güçlendirme yapılmış deney elemanlarıdır. Kirişin her iki uç noktalarından 100'er mm boşluklar bırakılarak (alt yüzeyine) epoksi esaslı harç uygulaması yapılmıştır.

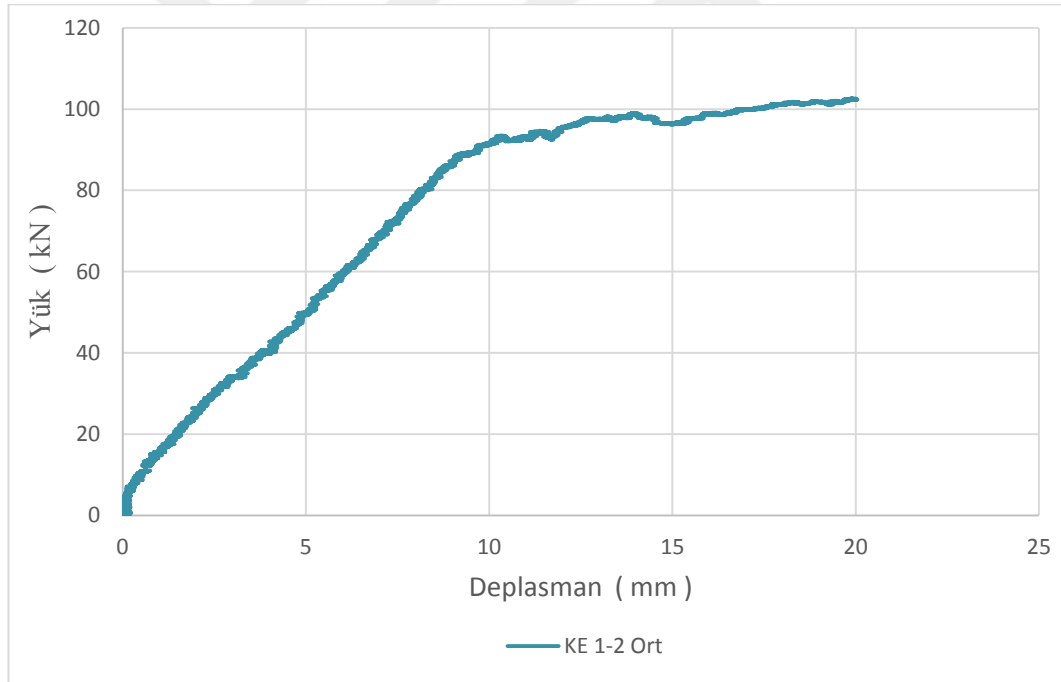


Şekil.4. 10.KE-1 Ve KE-2 Deney Öncesi Ve Sonrası Fotoğrafları

Epoksi esaslı harç ile güçlendirme yapılan kirişler, deneyin başından göçme anına kadarki arttırılan düşey yükleme ile dört nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen veriler ile Yük-Deplasman değerleri Şekil.4.11’de verilmiştir.



Şekil.4. 11.KE-1 Ve KE-2 Kirişlerinin Yük-Deplasman Grafikleri



Şekil.4. 12.KE-1 Ve KE-2 Kirişlerinin Ortalama Değer Grafiği

Yük-Deplasman grafiğinden (Şekil. 4.11.) güçlendirme yapılan kirişlerin homojen yapıda hazırlandığı görülmektedir. Grafikteki verilerin ortalama değerleri güçlendirme yapılan kirişlerin davranışı olarak esas alındığında, epoksi ile güçlendirilen kirişlerin 85,62 kN yük değerine ulaştığında çekme donatısının akmaya başladığı görülmüştür. Akma anındaki orta nokta deplasman değeri ise

8,50 mm olarak ölçülmüştür. Akabinde kirişler yük almaya devam etmiş olup ve nihai yük taşıma kapasitesine ulaştığında yük değeri 104,85 kN olarak ölçülmüştür. Yük artışıyla beraber eğilme çatlaklarının da sayısı artış göstermiştir. Uygulanan epoksi güçlendirme harcı işlevini kaybetmiştir. Bu nedenle deneyde sonlandırılmaya gidilmiştir. Deney elemanları üzerindeki yük değerleri düşmeye başlarken deplasman değerlerinde artışlar devam ederek ve maksimum 19,95 mm deplasman değeri okunmuştur. KE kirişlerinde deney sonunda 5' şer adet büyük çatlak meydana gelmiştir, bu çatlaklar basınç bölgesine kadar aynı hat boyunca devam etmiş olup çatlak aralıkları 1,00 mm ila 2,00 mm arasında değişmektedir. En büyük çatlaklar orta bölgelerde oluşmuştur, betonda dağılmalar meydana gelmediği görülmüştür.



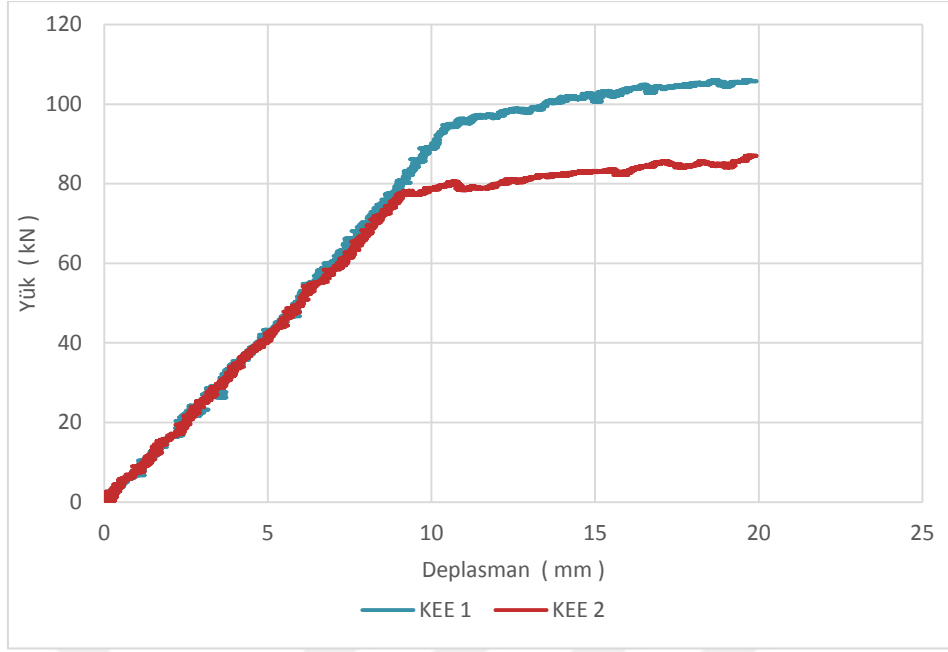
Şekil.4. 13.KE-1 ,KE-2 Kirişleri Üzerinde Görülen Kırılma-Çatlak Fotoğrafi

4.5. Elyafli Epoksi Harçlı Kirişte Eğilme Deneyi

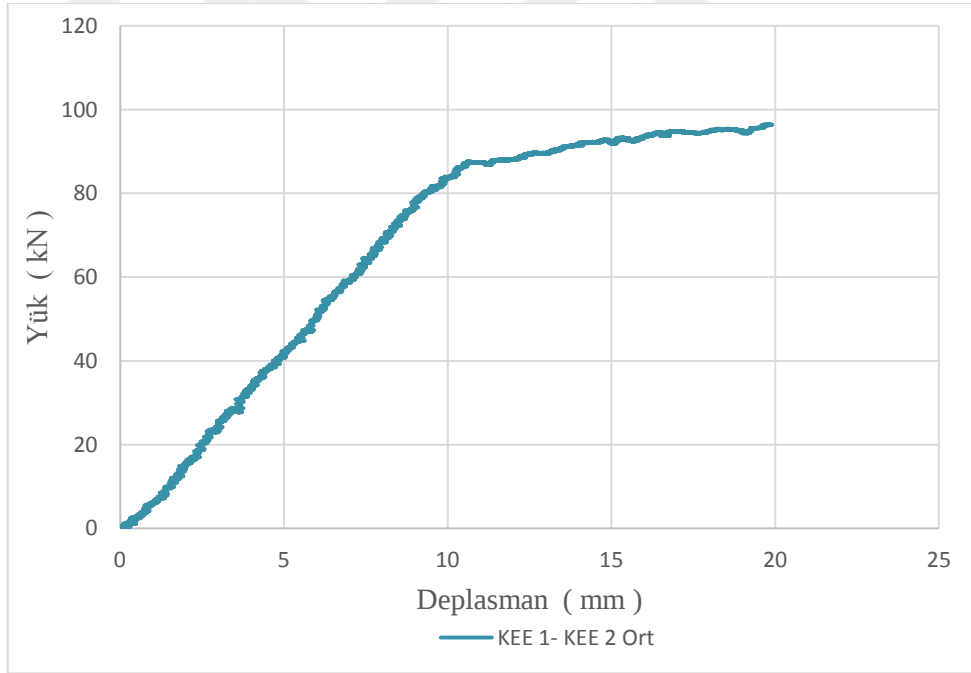
Elyaf lifli epoksi esaslı 5 mm kalınlığında harç ile güçlendirme yapılmış deney elemanlarıdır. Kirişin her iki uç noktalarından 100'er mm boşluklar bırakılarak (alt yüzeyine) elyaf lifli epoksi esaslı harç uygulaması yapılmıştır.



Şekil.4. 14.Elyaf Lifli Epoksi Harç ile Güçlendirilmiş Kirişler



Şekil.4. 15.KEE-1 Ve KEE-2 Kirişlerinin Yük-Deplasman Grafikleri



Şekil.4. 16.KEE-1 Ve KEE-2 Kirişlerinin Ortalama Değer Grafiği

Yük-Deplasman grafiğinden (Şekil.4.15.) güçlendirme yapılan kirişlerin homojen yapıda hazırlandığı görülmektedir. Grafikteki verilerin ortalama değerleri güçlendirme yapılan kirişlerin davranışı olarak esas alındığında, elyaf lifli epoksi ile güçlendirilen kirişlerin 89,23 kN yük değerine ulaştığında çekme donatısı akmaya başladığı görülmüştür. Akma anındaki orta nokta Deplasman değeri ise 10,72 mm olarak ölçülmüştür. Akabinde kirişler yük almaya devam

etmiş olup ve nihai yük taşıma kapasitesine ulaştığında değer 98,01 kN olarak ölçülmüştür. Yük artışıyla beraber eğilme çatlaklarının da sayısı artış göstermiştir. Uygulanan elyaf lifli epoksi güçlendirme harcı işlevini kaybetmiştir. Bu nedenle deneyde sonlandırılmaya gidilmiştir. Deney elemanları üzerindeki yük değerleri düşmeye başlarken deplasman değerlerinde artışlar devam ederek ve maksimum 19,70 mm deplasman değeri okunmuştur. KEE kirişlerinde deney sonunda 5 ila 6 adet büyük çatlak meydana gelmiş, bu çatlaklar basınç bölgesine kadar aynı hat boyunca devam etmiş olup çatlak aralıkları 2,00 mm ila 4,00 mm arasında değişmektedir. En büyük çatlaklar orta bölgelerde oluşmuştur, betonda dağılmalar basınç bölgesinde meydana geldiği çekme bölgesinde dağılmanın olmadığı görülmüştür.



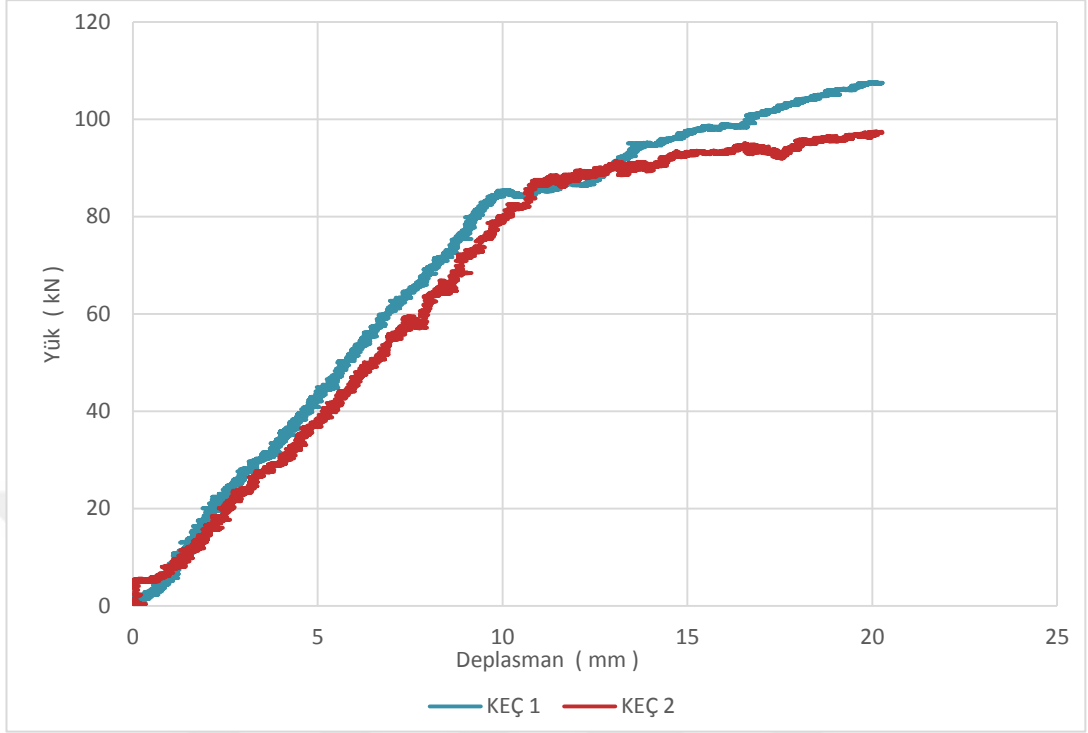
Şekil.4. 17.KEE-1 ,KEE-2 Kirişleri Üzerinde Görülen Kırılma-Çatlak Fotoğrafi

4.6.Çelik Lifli Harçlı Kirişlerde Eğilme Deneyi

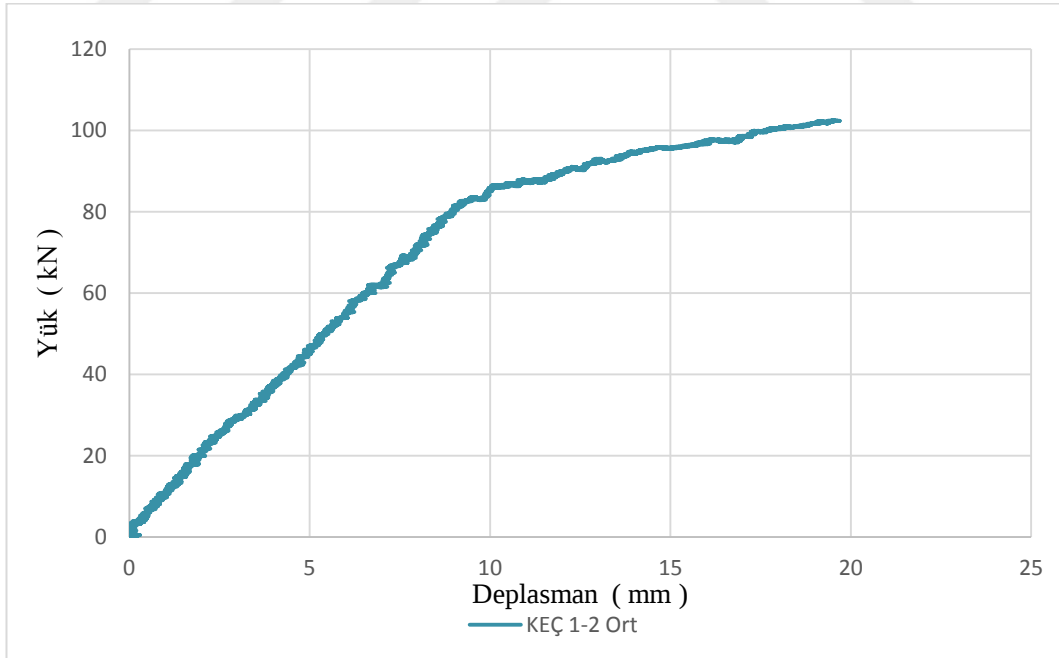
Çelik lifli epoksi esaslı 5 mm kalınlığında harç ile güçlendirme yapılmış deney elemanlarıdır. Kirişin her iki uç noktalarından 100'er mm boşluklar bırakılarak kirişin alt yüzeyine çelik lifli epoksi esaslı harç uygulaması yapılmıştır.



Şekil.4. 18.Çelik Lifli Epoksi Harç ile Güçlendirilmiş Kirişler



Şekil.4. 19.KEÇ-1 Ve KEÇ-2 Kirişlerinin Yük- Deplasman Grafikleri



Şekil.4. 20.KEÇ-1 Ve KEÇ-2 Kirişlerinin Ortalama Grafiği

Yük-Deplasman grafiğinden (Şekil.4.19) güçlendirme yapılan kirişlerin homojen yapıda hazırlandığı görülmektedir. Grafikteki verilerin ortalama değerleri güçlendirme yapılan kirişlerin davranışı olarak esas alındığında, çelik

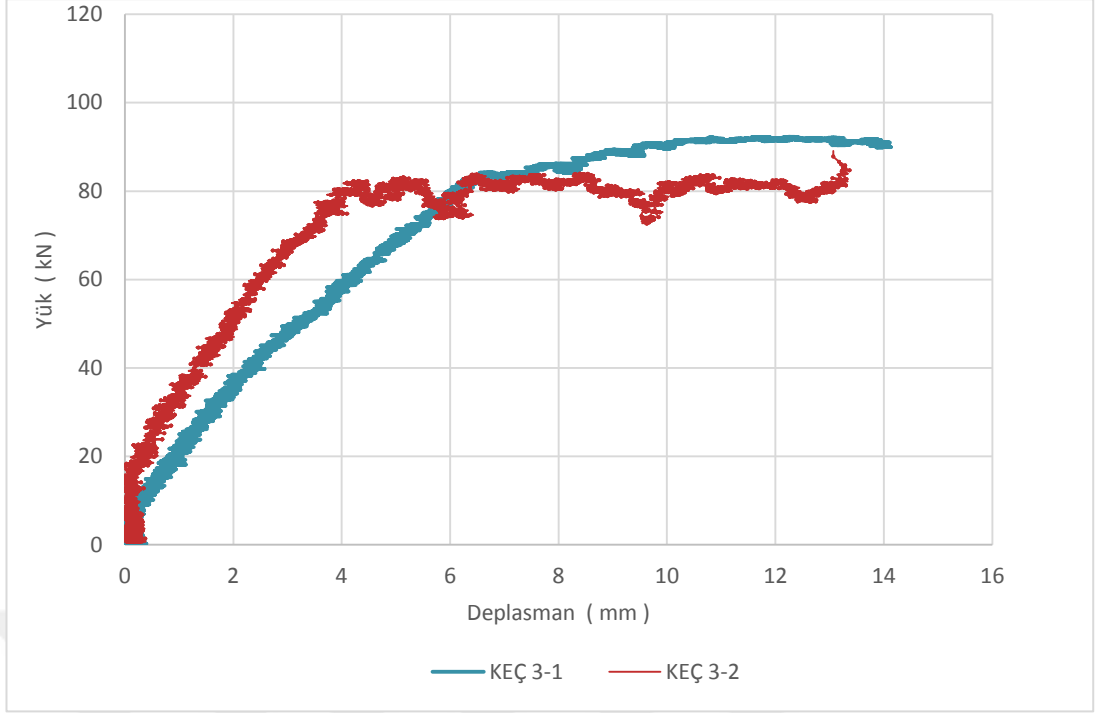
lifli epoksi ile güçlendirilen kirişlerin 85,62 kN yük değerine ulaştığında çekme donatısı akmaya başladığı görülmüştür. Akma anındaki orta nokta Deplasman değeri ise 9,90 mm olarak ölçülmüştür. Akabinde kirişler yük almaya devam etmiş olup ve nihai yük taşıma kapasitesine ulaştığında değer 105,60 kN olarak ölçülmüştür. Yük artışıyla beraber eğilme çatlaklarının da sayısı artış göstermiştir. Uygulanan çelik lifli epoksi güçlendirme harcı işlevini kaybetmiştir. Bu nedenle deneyde sonlandırılmaya gidilmiştir. Deney elemanları üzerindeki yük değerleri düşmeye başlarken Deplasman değerlerinde artışlar devam ederek ve maksimum 20,00 mm Deplasman değeri okunmuştur. KEÇ kirişlerinde deney sonunda 4 ila 6 adet çatlama meydana gelmiştir, bu çatlaklar basınç bölgesine kadar aynı hat boyunca devam etmiş olup çatlak aralıkları 1,00 mm ila 3,00 mm arasında değişmektedir. En büyük çatlaklar orta bölgelerde oluşmuştur, betonda dağılmalar meydana gelmediği görülmüştür.



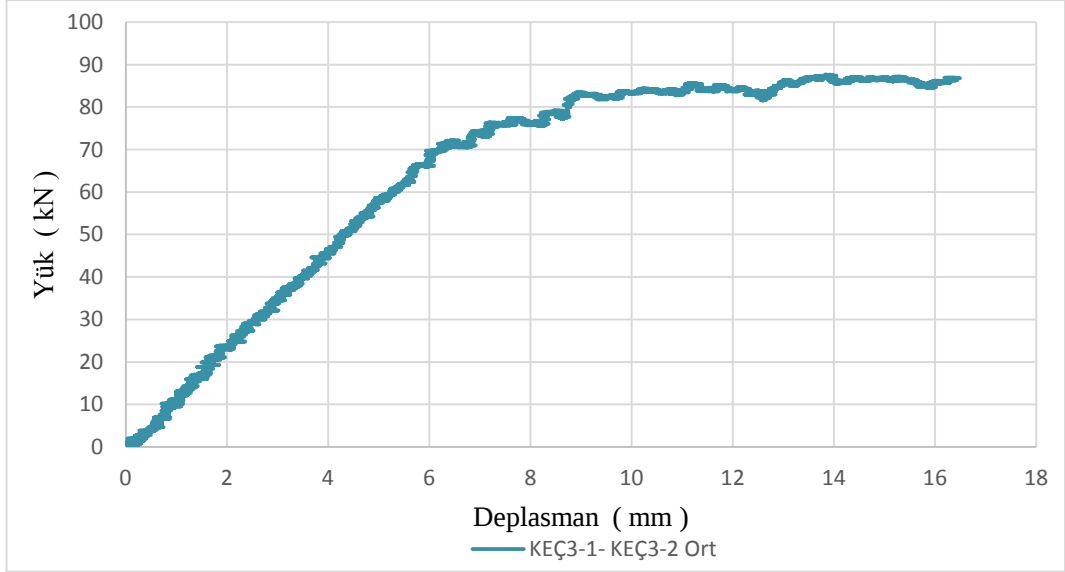


Şekil.4. 21.Çelik Lifli Harç ile Güçlendirilmiş Kirişler (3 Yüzü)

Çelik lifli epoksi esaslı 5 mm kalınlığında harç ile güçlendirme yapılmış deney elemanlarıdır. Kirişin her iki uç noktalarından 100'er mm boşluklar bırakılarak (3 yüzeyine) çelik lifli epoksi esaslı harç uygulaması yapılmıştır.



Şekil.4. 22.KEÇ3-1 Ve KEÇ3-2 Kirişlerinin Yük-Deplasman Grafikleri



Şekil.4. 23.KEÇ3-1 Ve KEÇ3-2 Kirişlerinin Ortalama Değer Grafiği

Yük-Deplasman grafiğinden (Şekil.4.22) güçlendirme yapılan kirişlerin homojen yapıda hazırlandığı görülmektedir. Grafikteki verilerin ortalama değerleri güçlendirme yapılan kirişlerin davranışı olarak esas alındığında, çelik lifli epoksi ile güçlendirilen kirişlerin 82,30 kN yük değerine ulaştığında çekme donatısının akmaya başladığı görülmüştür. Akma anındaki orta nokta deplasman değeri ise 5,70 mm olarak ölçülmüştür. Akabinde kirişler yük almaya devam etmiş olup ve nihai yük taşıma kapasitesine ulaştığında değer 94,07 kN olarak

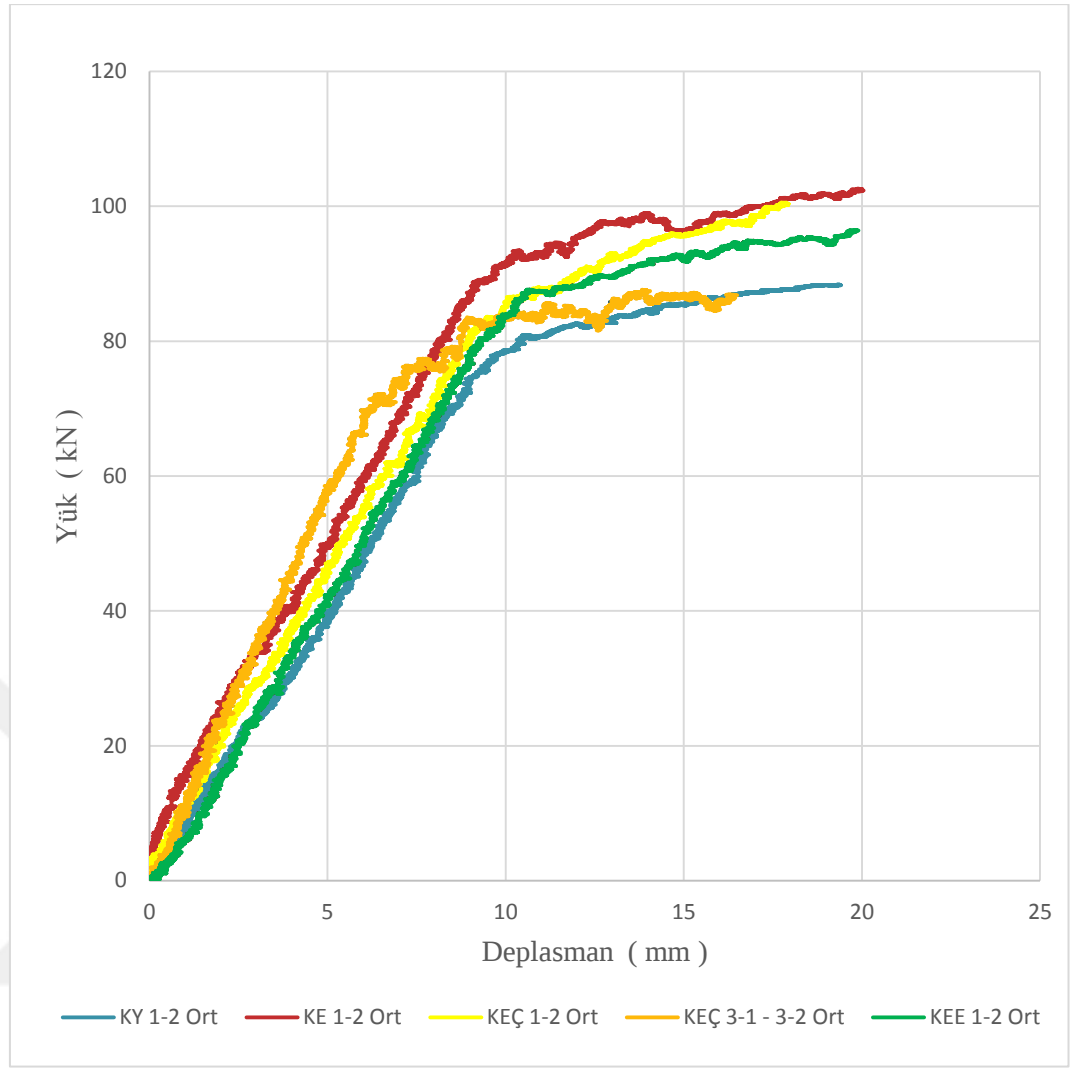
ölçülmüştür. Yük artışıyla beraber eğilme çatlaklarının da sayısı artış göstermiştir. Bu esnada yapıştırılan çelik lifli epoksi esaslı güçlendirme harcı işlevini kaybetmiştir. Bu nedenle deneyde sonlandırılmaya gidilmiştir. Deney elemanları üzerindeki yük değerleri düşmeye başlarken Deplasman değerlerinde artışlar devam ederek maksimum 13,56 mm Deplasman değeri okunmuştur. KEÇ3 kirişlerinde deney sonunda 2 ila 3 adet çatlama meydana gelmiştir, bu çatlaklar basınç bölgesine kadar aynı hat boyunca devam etmiş olup çatlak aralıkları 1,50 mm ila 3,50 mm arasında değişmektedir. En büyük çatlaklar orta bölgelerde oluşmuştur, betonda dağılmalar meydana gelmediği görülmüştür.



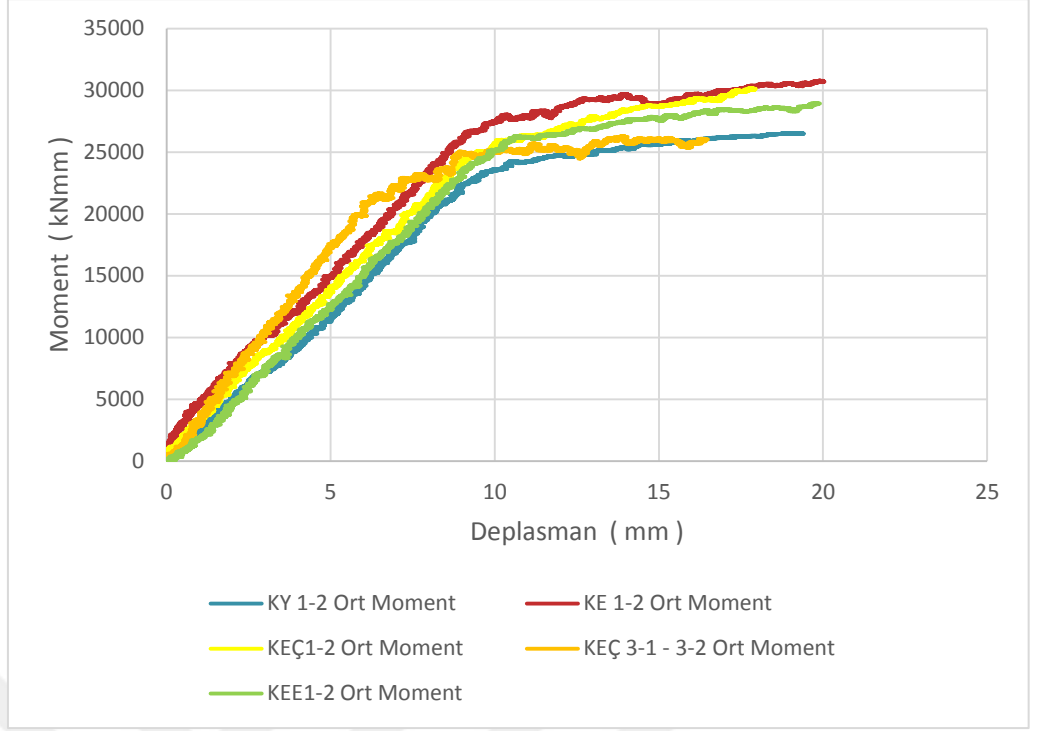
Şekil.4. 24.KEÇ3-1 Kirişi Üzerinde Görülen Kırılma-Çatlak Fotoğrafı

4.7.Yaln Kirişler ile Güçlendirilmiş Kirişlerin Kıyaslanması

Deneyler sonucunda güçlendirme yapılmayan ve yapılan serilerin birbiri ile kıyaslanabilmesi için elde edilen verilerin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler tek grafik üzerinde birleştirilerek Şekil.4.25'te elde edilmiştir.



Şekil.4. 25.KY, KEE, KEÇ, KEÇ-3, KE Kirişlerinin Ortalama Yük- Deplasman Grafikleri



Şekil.4. 26.KY, KEE, KEÇ, KEÇ-3, KE Kirişlerinin Ortalama Moment Deplasman Grafiği.

Moment sapmaları bütün kirişlerde oluşan tepkiler, Şekil.4.26'da gösterilmiştir. Başlangıçta yalın kirişlerin ve güçlendirilmiş kirişlerin davranışları doğrusaldır ve mukavemet benzerlik gösterir. Sikadur-31 epoksi malzemesi ile güçlendirilen kiriş, yalın kiriş içindeki epoksi malzemesinin potansiyel katkısı ile yalın kirişlerine kıyasla güçlendirme yapılan kirişlerde daha fazla bir süre boyunca dayanmıştır. Betonarme kirişe uygulanan Sikadur-31 epoksi bazlı malzeme, güçlendirme yapılan bölgelerin genel olarak sertliğini arttırmış olup, bu da yüksek çatlama yükü, maksimum kapasite, orta kiriş sapmalarında, çatlama genişliğinde ve çatlama aralığında yalın kirişlerine kıyasla düşmeler sağlamıştır. Yine Şekil 4.26'da moment hesap gösterimi verilmiş ve kirişlere gelen aynı yüklemelere karşı göstermiş oldukları mukavemetlerde farklılıklar olduğu görülmüştür.

Süneklik, sürekli olarak güçlendirilme yapılan kirişlerde önem arz etmektedir, sebebi ise anlık tekrarlanan dağılımlarını sağlar ve muhtemel sorunlara dair ikazlar yapar. Ayrıca, güçlendirme yapılan kirişlerin bir bölümü önemli süneklik sağlayamasa da, bu tür kirişlerin tam bir kompozit tasarımına izin

vermek için yeterli olması gereken önemli ölçüde olumlu olarak taşıma kapasitesi ve enerji absorbe kapasitesi artmış olduğu söylenebilir.

Köse ve Özgen (2003) tarafından çelik lamaların epoksi ile kiriş yüzeyine yapıştırılmasıyla hazırlanan güçlendirilmiş betonarme kirişlerin eğilme ve çekme kuvvetlerinde belirgin artışlar olduğu ifade edilmiştir. Mosallam ve Banerjee (2007) tarafından fiber takviyeli polimer şeritler ile yapılan güçlendirme işleminin, betonarme kirişlerin kayma mukavemetini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Vulaş (2010) tarafından farklı elastisite modülüne sahip fiber takviyeli polimerler (FRP) kullanılarak güçlendirilen kirişlerin daha fazla yük taşıma kapasitesine bağlı olduğu belirlenmiştir. Acar (2008) tarafından yapılan güçlendirme çalışmasında karbon kumaş ve çelik levhaların beraber kullanılmasıyla betonarme kirişlerin enerji absorbe kapasitesinde %20 oranında artış meydana geldiği ifade edilmiştir.

Zand vd. (2016) tarafından karbon fiber takviyeli polimer ile güçlendirilen betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitesinde %26 oranında artış sağladığı gözlemlenmiştir.

Akroush vd. (2017) tarafından karbon fiber takviyeli polimer ile güçlendirilen betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitesinde %21 oranında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Hawileh vd. (2018) tarafından betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde çelikle güçlendirilmiş fiber kumaş epoksi ile kiriş alt yüzeyine yapıştırılmıştır. Bu güçlendirme işleminin kirişlerin yük taşıma kapasitesinde %29 artış sağladığı belirtilmiştir.

Chen vd. (2018) tarafından yapılan güçlendirme çalışmasında bazalt fiber takviyeli polimer şeritler kiriş alt ve yan yüzeylerine yapıştırılmıştır. Bazalt fiber takviyeli polimer tabakaların betonarme kirişlerin eğilme dayanımını arttırmak için etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Koç (2018) Çalışma kapsamında, malzeme biliminin son keşiflerinden olan bal peteği yapılı kompozit malzemelerin güçlendirmeye etkisi araştırılmıştır. Honeycomb çekirdek kalınlığının artması, yük taşıma kapasitesinde dikkate değer bir farklılık oluşturmamıştır. 6 mm ve 11 mm çekirdek kalınlığına sahip paneller birbirine yakın sonuçlar verirken 14,3 mm kalınlığa sahip panelden daha düşük

veriler elde edilmiştir. Malzeme kalınlığındaki artışın, taşıma yükünde ve enerji absorbe kapasitesinde önemli bir unsur olmadığı ancak 11 mm kalınlıktan sonra etkisinin azaldığı deneysel çalışma sonucunda anlaşılmıştır.

Çizelge.4. 3.Deney Sonucunda Elde Edilen Veriler

KİRİŞ ADI	YÜK KAPASİTESİ (kN)		DEPLASMAN (mm)		ENERJİ ABSORBE KAPASİTESİ (kN. mm)	ORTALAMA MAX. MOMENT DEĞERİ (kN.mm)	ÇATLAK TİPİ
	AKMA YÜKÜ	MAX YÜK DEĞERİ	AKMA YÜKÜ ANINDA	MAX DEPLASMAN DEĞERİ			
KY	80,60	88,01	9,75	19,36	1203,10	26.403	Eğilme
KEE	89,23	98,01	10,72	19,70	1318,98	29.403	Eğilme/ Kesme
KEÇ	85,55	105,60	9,90	20,00	1388,79	31.680	Eğilme/ Kesme
KE	85,62	104,85	8,50	19,95	1454,33	31.455	Eğilme/ Kesme
KEÇ-3	82,30	94,07	5,70	13,56	927,70	28.221	Eğilme/ Kesme

Deneysel laboratuvar çalışmaları sonucunda elde etmiş olduğumuz veriler ile oluşturulan Çizelge.4,3'te; güçlendirilme yapılan betonarme kirişlerin yalın kirişlere kıyasla %10,7 ile %20,0 arasında daha fazla yük taşıyabildiği ve ayrıca enerji absorbe kapasitesinin ise % 21,0 daha fazla olduğu görülmektedir.

4.8.Hasarlı kirişlerin Tekrar Güçlendirilip Üzerinde Yapılan Eğilme Deneyleri

Onarılabilecek düzeyde hasarlı olan kiriş numuneleri seçildikten sonra hasarlı yüzlerindeki parçalanmış ve ezilmiş betonlar temizlenmiştir. Bu kısımlar epoksi harcı ile doldurularak eksilmiş beton hacmi tamamlanmıştır. Kirişlerin üzerindeki diğer kılcal çatlaklar ise tamamen epoksi harcı ile sıvanarak kapatılmış ve bu işlemlerden sonra epoksi harcının sertleşmesi için 24 saat beklenilmiştir.

Hasarlı kirişler üzerinde eğilme deneyi;

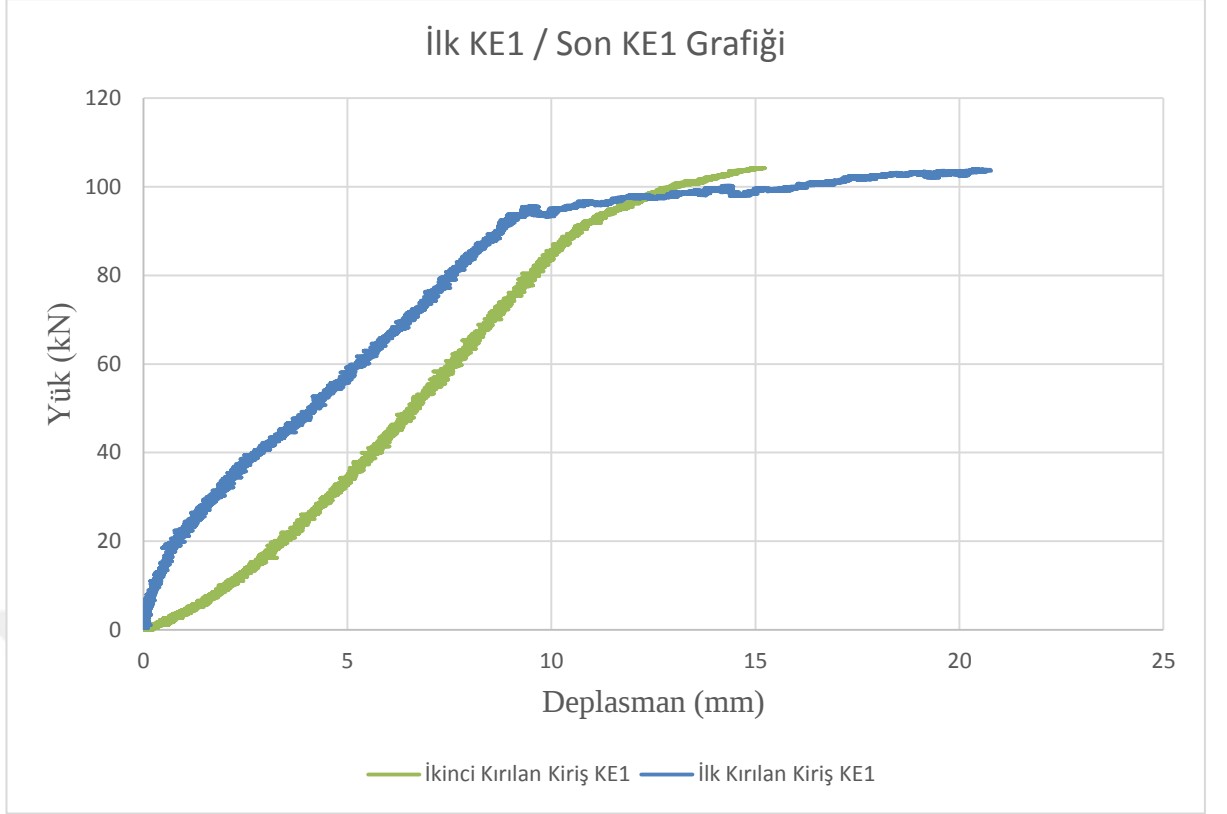


Şekil.4. 27.Deneyde Kullanılan Hasarlı Kirişler



Şekil.4. 28.Güçlendirilmemiş Hasarlı Kiriş KE1 Deney Öncesi Fotoğrafı

Daha önce güçlendirme işlemi yapılmış KE1 kirişi kırma işlemi yapıldıktan sonra tekrar deneyin başından göçme anına kadar düşey yükleme ile eğilme deneyine tabi tutulmuş ve referans kiriş olarak kullanılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler ile Yük-Deplasman değerleri Şekil.4.29'de verilmiştir.



Şekil.4. 29. İlk Defa Kırılan KE1 Ve Hasarlı Olarak Kırılan KE1 Kirişinin Yük Deplasman Grafiği

Grafikteki verilerin ortalama değerleri güçlendirme yapılan kirişlerin davranışı olarak esas alındığında, epoksi ile güçlendirilen kirişlerin 91,82 kN yük değerine ulaştığında çekme donatısı akmaya başladığı görülmüştür. Akma anındaki orta nokta deplasman değeri ise 11,10 mm olarak ölçülmüştür. Akabinde kirişler yük almaya devam etmiş olup ve nihai yük taşıma kapasitesine ulaştığında değer 104,22 kN olarak ölçülmüştür. Yük artışıyla beraber eğilme çatlaklarının da sayısı artış göstermemiştir. Bu esnada yapıştırılan epoksi esaslı güçlendirme harcı işlevini kaybetmişti Bu nedenle deneyde sonlandırılmaya gidilmiştir. Deney elemanları üzerindeki yük değerleri düşmeye başlarken Deplasman değerlerinde artışlar devam ederek ve maksimum 15,20 mm Deplasman değeri okunmuştur. KE1 kirişinde mevcut çatlakların dışında başka çatlaklar-kırılmalar meydana gelmemiştir. Ancak mevcut çatlakların aralıkları 3,00 mm ila 4,50 mm ye kadar çıkmış olup, çatlak boyu uzamış, ani kırılmalar görülmemiştir. Sikadur-31 epoksi güçlendirme malzemesinde dökülmeler meydana gelmiş, tek parça olarak deney tamamlanmıştır. Bu deneyde güçlendirme yapılanarak ilk defa yük etkisi altında kırılan KE1 kirişi, tekrar aynı şartlarda kırıldığında taşıyabildiği yük kapasitesinde değişiklik olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi ise her iki deneyde de kopma

noktasına kadar yükleme devam etmediğinden kirişin tam hasara uğramamış olmasıdır.

Kirişin her iki uç noktalarından 100'er mm boşluklar bırakılarak hasarlı kısımlarına epoksi esaslı harç uygulaması yapılmıştır.

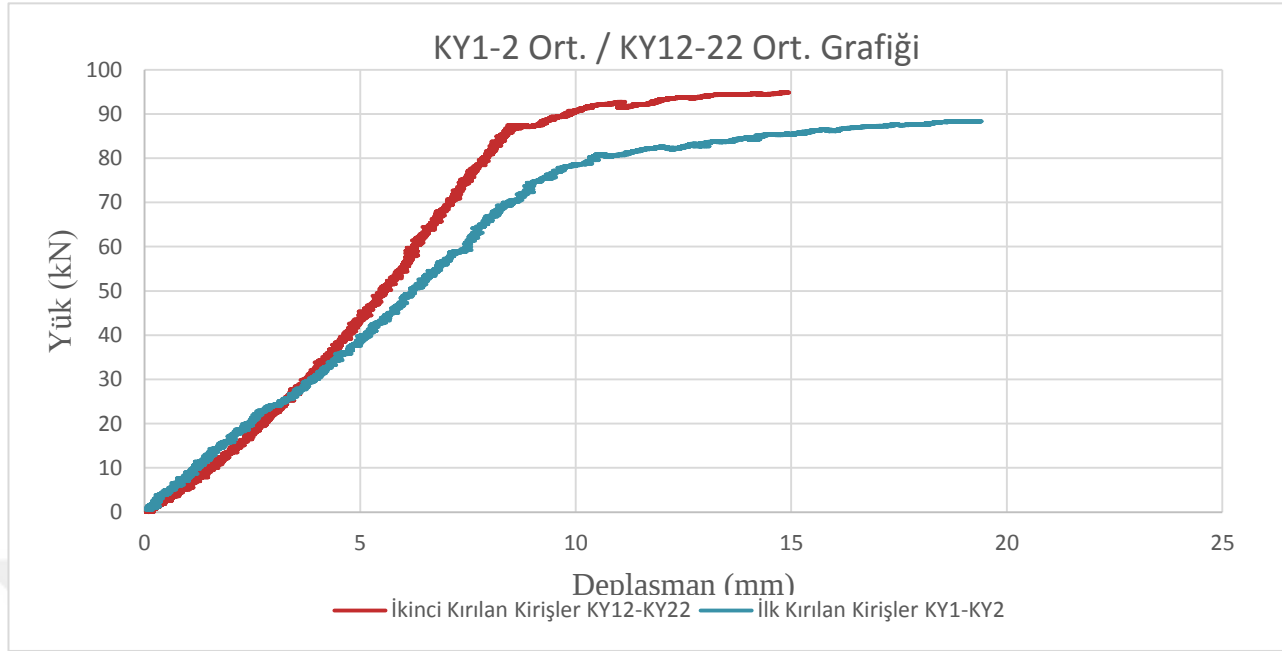


Şekil.4. 30.KY12 Ve KY22 Deney Öncesi Fotoğrafları



Şekil.4. 31.KY12 Ve KY22 Deney Sonrası Fotoğrafları

Epoksi esaslı harç ile güçlendirme yapılan KY hasarlı kirişler, deneyin başından göçme anına kadar ki arttırılan düşey yükleme ile eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda elde edilen veriler ile Yük-Deplasman değerleri



Şekil.4. 32. KY1-2 Ort. / KY12-22 Ort. Yük –Deplasman Grafiği

Grafikteki verilerin ortalama değerleri güçlendirme yapılan kirişlerin davranışı olarak esas alındığında, epoksi ile güçlendirilen kirişlerin 87,47 kN yük değerine ulaştığında çekme donatısı akmaya başladığı görülmüştür. Akma anındaki orta nokta deplasman değeri ise 8,55 mm olarak ölçülmüştür. Akabinde kirişler yük almaya devam etmiş olup ve nihai yük taşıma kapasitesine ulaştığında değer 94,64 kN olarak ölçülmüştür. Yük artışıyla beraber eğilme çatlaklarının da sayısı artış göstermiştir. Bu esnada yapıştırılan epoksi esaslı güçlendirme harcı işlevini kaybetmiştir. Bu nedenle deneyde sonlandırılmaya gidilmiştir. Deney elemanları üzerindeki yük değerleri düşmeye başlarken Deplasman değerlerinde artışlar devam ederek ve maksimum 14,09 mm Deplasman değeri okunmuştur. KY12-KY22 kirişlerinde mevcut çatlakların dışında başka çatlaklar-kırılmalar meydana gelmiş olup, yeni oluşan çatlaklar-kırılmalar önceki çatlaklar-kırılmalar kadar derin olmadığı görülmüştür. Mevcut çatlaklar-kırılmalar Sikadur-31 epoksi güçlendirme malzemesi kapatıldığından deney sonundaki aralıkları 1,50 mm ile 3,50 mm ye kadar çıkmış olup, çatlak boyları uzamış, sayıları artmış ani kırılmalar görülmüştür. Sikadur-31 epoksi güçlendirme malzemesinde dökülmeler meydana gelmemiş, tek parça olarak deney tamamlanmıştır. Bu deneyde güçlendirme yapılmadan ilk defa yük etkisi altında kırılan KY1-KY2 kirişleri, güçlendirme işlemi yapılarak tekrar kırıldığında taşıyabildiği yük kapasitesinde

artış olduğu görülmüş olup, güçlendirme yapılan kırılmış yalın kirişlere uygulanan epoksi malzemesinin faydalı olduğu görülmüştür

4.9.Güçlendirilmemiş Kiriş ile Hasarlı Güçlendirilmiş Kirişlerin Kıyaslanması KE1 Ve KY12 -KY22

Deneyler sonucunda güçlendirme yapılmayan ve yapılan serilerin birbiri ile kıyaslanabilmesi için elde edilen verilerin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler tek grafik üzerinde birleştirilerek Şekil.4.33'te elde edilmiştir.

Çizelge.4. 4.Deney Sonucunda Elde Edilen Veriler

KİRİŞ ADI	YÜK KAPASİTESİ (kN)		DEPLASMAN (mm)		ENERJİ ABSORBE KAPASİTESİ (kN.mm)	ÇATLAK TİPİ
	AKMA YÜKÜ	MAX YÜK DEĞERİ	AKMA YÜKÜ ANINDA	MAX DEPLASMAN DEĞERİ		
KE1	91,82	104,22	11,10	15,20	792,07	Eğilme/Kesme
KY1-KY2 (Ort.)	80,60	88,01	9,75	19,36	1203,10	Eğilme/Kesme
KY12-KY22 (Ort.)	87,47	94,64	8,55	14,09	878,39	Eğilme/Kesme

DeneySEL laboratuvar çalışmaları sonucunda elde etmiş olduğumuz veriler ile oluşturulan Çizelge.4.5'te; güçlendirilme yapılmış önceden tahribata uğramış ve sonra tekrar kırılan KE1 betonarme kirişin, kırıldıktan sonra iyice temizlenerek Sikadur-31 epoksi güçlendirme malzemesi ile güçlendirilmiş KY kirişlere kıyasla artış sağlanamadığı alınan değerlerle tespit edilmiş olup, güçlendirme yapılmamış yalın kirişlere kıyasla % 7,5 daha fazla yük taşıyabildiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz piyasasında genellikle yapıştırma harcı olarak kullanılan epoksi esaslı harçlardan Sikadur-31 epoksi malzemesi aynı ölçülerde betonarme kirişler üzerindeki davranışları incelenmiştir. Laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar yapılmak üzere 2 adet (1 takım) kontrol kiriş numunesi, 8 adet güçlendirilmiş kirişler olmak üzere toplamda 10 adet betonarme kiriş numunesi hazırlanmıştır. Dikdörtgen kesitli betonarme kiriş elemanları Sikadur-31 epoksi malzemesi ile güçlendirilmiştir. Hazırlanmış olan bu kirişler dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuş ve davranışları incelenmiştir. Laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışma sonuçlarının daha doğru verileri yansıtması için her takımdan ikişer adet kiriş numunesi kullanılmıştır. Bu numunelerin deneysel çalışmaları tamamlandıktan sonra daha önce güçlendirme yapılmış kırılmış (1 adet) kiriş ile yalın kirişler (2 adet) temizlenerek Sikadur-31 epoksi malzemesi ile güçlendirilerek tekrar kırılmıştır.

Deneylerden alınan sonuçlar ile yapılan değerlendirme neticesinde;

Deneylerde kullanılan elyaf lif ve çelik lif katkılı Sikadur-31 epoksi malzemesinin güçlendirme üzerinde olumlu yönde katkısı olduğu görülmüştür. Güçlendirme yapılan kirişlerin taşıyabildiği maksimum yük değerinin yalın kirişe (KY) göre;

KE1 elemanında %19.2 oranında, KEE1 elemanında % 11.4 oranında, KEÇ1 elemanında % 19.90 oranında, KEÇ3 elemanında %10.7 oranında arttığı görülmüştür. Sikadur-31 epoksi malzemesi içerisinde farklı oranlarda elyaf lifli, çelik lifli ve sade olarak kullanıldığında kirişlerdeki gerilmeleri karşılamak üzere daha çok yükün taşınabilmesine olanak vermiştir. Kırılma işlemi sonrasında Sikadur-31 epoksi malzemesi ile güçlendirme işlemi yapılan KY12-KY22 kirişlere güçlendirme yapılmamış kırılan yalın kirişlerine KY1-KY2 kıyasla % 7,5 daha fazla yük taşıyabildiği görülmektedir. Bu sebepten, uygulanan kompozit malzemelerin betonarme kirişlerin eğilme dayanımını arttırmak için makul bir güçlendirme yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

- Sikadur-31 epoksi malzemesi güçlendirme yapılan bütün kirişlere 5,00 mm kalınlığında uygulanmış olup, güçlendirme yapılan kirişlerde bu kalınlığın yeterli olduğu saptanmıştır.
- Güçlendirme malzemesinin içerisine farklı oranlarda çelik lif, elyaf lif ve sadece epoksi malzemesi olarak kirişlerin yüzeylerine uygulanan kompozit malzemenin yük taşıma kapasitesinde farklı sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Kirişin 3 yüzeyinin 5,00 mm kalınlığında içerisinde % 3 oranında çelik lif ile karışımı yapılan kirişlerde diğer güçlendirme yapılan kirişlere nazaran taşıma yükünde ve enerji absorbe kapasitesinde daha düşük değerler elde edilmiştir.
- Güçlendirme yapılan ve sadece kirişin çekme bölgesine 5,00 mm kalınlığında, içerisinde % 1 oranında elyaf lif eklenen kirişlerde taşıma yükünde maksimum % 11.4 oranında, enerji absorbe kapasitesinde % 9.6 oranında artış olduğu görülmüştür.
- Yük-Deplasman eğrisinin altında kalan alan, enerji absorbe kapasitesini göstermektedir. Yalın kirişe (KY) göre, KE1 elemanında %20.9 oranında, KEE1 elemanında % 9.6 oranında, KEÇ1 elemanında % 15.5 oranında, daha çok enerji absorbe özelliği görülmüştür.
- Güçlendirme yapılan kirişlerin akma yükü değeri yalın kirişe (KY) göre; KE1 elemanında %6.3 oranında, KEE1 elemanında % 10.1 oranında, KEÇ1 elemanında % 9.6 oranında, KEÇ3 elemanında % 2.5 oranında artışların olduğu görülmüştür.
- Yapılan çalışmalar neticesinde Sikadur-31 epoksi malzemesi ile yapılan güçlendirme işlemlerinde başarı sağlandığı görülmüştür.
- Genel olarak güçlendirme yapılan ve yapılmayan kirişlere bakıldığında kırılmalar çekme bölgesinden çizgisel olarak homojen bir şekilde hat boyunca devam etmiştir.

Yalın kirişler ve güçlendirme yapılan kirişlerindeki çatlama türleri benzerlik göstermiş olup kırılmaların yoğunlaştığı bölgeler genellikle orta bölgelerde yoğunlaşmıştır.

- Üç yüzeyine çelik lif ile güçlendirme yapılan KEÇ3-1, KEÇ3-2 kirişlerindeki kesme ve çekme bölgesinde görülen çatlaklar, bir yüzeyine uygulanan epoksi, elyaf lifli epoksi ve çelik lifli epoksi malzeme ile

güçlendirme yapılan KE-1, KE-2, KEE-1, KEE-2, KEÇ-1, KEÇ-2 kirişlerinin kesme ve çekme bölgesinde görülen çatlaklarla benzerlik göstermiştir.

Tez sürecinde yapılan çalışmalardan toplanan veriler değerlendirilmeye alındığında aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- Kullanılan Sikadur-31 epoksi yapıştırıcı malzemesi yoğun olduğundan yapıştırma esnasında güçlükler çekilmiş olup bunları kolaylaştıracak katkı maddeleri ile çalışma yapılabilir.
- Deneyde kullanılan kompozit malzemenin uygulama kalınlığı değiştirilerek karışıma farklı yardımcı malzemeler ile eklemeler yapılarak oluşturulan yeni malzemenin güçlendirmeye etkisi araştırılabilir.
- Günümüzde çeşitliliği artmış birçok epoksi malzemeleri mevcuttur tek bileşenli, iki bileşenli, üç bileşenli, epoksi esaslı, akrilat esaslı, metakrilat esaslı, polyester esaslı v.s. değerlendirmeler yapılarak farklı bir epoksi malzemesi ile çeşitli kombinasyonlarda çalışmalar yapılabilir.

7.KAYNAKLAR

- [1] TUDAP, 2005 *Türkiye Ulusal Deprem Araştırmaları Programı*, 2005-201.
- [2] Kaplan, H., Yılmaz, S., Çetinkaya, N., Nohutcu, H., Atımtay, E. ve Sarışın, A., *Mevcut Betonarme Yapıların Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi: Deneysel Çalışma, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 7-8 Aralık Pamukkale, Denizli, 361-367, 2006.
- [3] Çalışkan, Ö., *Mevcut Betonarme Binaların Dış Perde Duvar ile Güçlendirilmesinde Ankraj Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 135 s., 2010.
- [4] Su, R.K.L., Zhu, Y., “*Experimental and numerical studies of external steel plate strengthened reinforced concrete coupling beams*”, Engineering Structures, 27, 1537-1550, (2005).
- [5] Altın, S., Anıl, Ö., Kara, M.E., “*Improving shear capacity of existing RC beams using external bonding of steel plates*”, Engineering Structures, 27, 781-791, (2005).
- [6] Arya, C., Clarke, J.L., Kay, E.A., O’ regan, P.D., 2002. Tr 55: *Design Guidance For Strengthening Concrete Structures Using Fibre Composite Materials: A Review*, Engineering Structures, 24, Pp.889- 900.
- [7] Anania, L., Badala, A., Failla, G., 2005. *Increasing the flexural performance of RC beams strengthened with CFRP materials*. Const. and Build. Materials, 19, pp.55-61.
- [8] Almusallam, T.H., Al-Salloum, Y.A., 2001. *Ultimate strength prediction for RC beams externally strengthened by composite materials*, Composites Part B: Engineering, 32, pp. 609-619.
- [9] Norris, T., Saadatmanesh, H.; and Ehsani, M. R., “*Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets*,” , Journal of Structural Engineering, 123 (7): 903-911 (1997).

- [10] Grace, N.F., Ragheb, W.F., Abdel-Sayed, G., 2003. *Development and application of innovative triaxially brided ductile FRP fabric for strengthening concrete beams*, Composite Structures.
- [11] [http://www.dogateknik.com.tr/teknik-belgeler/onarim ve guclendirme-uygulama_ornekleri.pdf](http://www.dogateknik.com.tr/teknik-belgeler/onarim_ve_guclendirme-uygulama_ornekleri.pdf)
- [12] Swamy, R, N., Jones R. and Bloxham J. W., *Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy Bonded Steel Plates*, Structural Engineer London, Part A, 65A, 2, 59-8, 1987.
- [13] Scales G.M., *Epoxies With Concrete*, American Concrete Institute, Publication SP-21, Detroit, Michigan, 1966.
- [14] Kaya F., *Ana Hatları ile Yapıştırıcılar*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.
- [15] Gürbüz T., Seyhan A., İlki A., Kumbasar N., *Güçlendirme Çalışmalarında Kullanılan Kimyasal Ankrajların Eksenel Çekme Etkisi Altında Davranışları*, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Sayfa: 649-660, 2007.
- [16] Binici H., Temiz, H., Zengin, H., Görür, E.B., Kaplan, H., Yılmaz, S., *Epoksi ve Epoksinin Yapı Güçlendirmesinde Kullanımı, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, Sayfa: 147-153, 2006.
- [17] Sayıl B. , (1996). *Ahşap Doğrama Köşe Birleşimlerinin Rijitliğini Arttırma Yolları Üzerine Bir Araştırma*, Doktora Tezi, İ. T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] Lee, H. and Neville, K., (1957). *Epoxy Resins*, Mc Grawhill Book Company.
- [19] Ellis, B., 1993, *Chemistry and technology of epoxy resins*, Blackie Academic and Professional, UK, 332.
- [20] Bayülke N., *Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi*, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir şubesi Yayın No:15, İzmir, 2001.

- [21] Güven B., “*Korozyon Onarımında Kullanılan Beton Tamir Harçlarının Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri*”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2002).
- [22] Adhikary, B. B., Mutsuyoshi, H. and Sano, M., “*Shear strengthening of reinforced concrete beams using steel plates bonded on beam web: experiments and analysis*” , Construction and Building Materials, 14: 237-244 (2000).
- [23] Liu T. C. H. And Chung K. F., “*Steel beams with large web openings of various shapes and sizes: finite element investigation*”, Journal of Constructional Steel Research, 59 (9): 1159-1176 (2003).
- [24] Eun H. C., Lee Y. H., Chung H. S. And Yang K. H., “*On the shear strength of reinforced concrete deep beam with web opening*” The Structural Design of Tall and Special Buildings, 15 (4): 445-466 (2006).
- [25] Yılmaz S., Kaplan H.,” *Epoksi Ankraj Uygulamalarında Dikkat Edilmesi Gerekli Konular*”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Denizli şubesi Yayın Organı, Sayı:60, Sayfa:46-48, 2009 .
- [26] Li, G., John, M., Maricherla,D., “*Experimental study of hybrid composite beams*”, Construction and Building Materials, 20, 311-319, (2006).
- [27] Wang, Y. C., “*Analytical and experimental study on seismic performance of RC T-beams with design deficiency in steel bar curtailment*”, Engineering Structures, 25, 215-227, (2003).
- [28] Arslan, M., “*Betonarme kirişlerin Epoksiyle yapıştırılan çelik levhalarla güçlendirilmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 23-69 (1991).
- [29] Arslan, M., “*Betonarme kirişlerin epoksiyle yapıştırılan çelik levhalarla güçlendirilmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 23-69 (1991).
- [30] Gülenler, C., “*Betonarme elemanların polimer yapıştırıcı kullanarak çelik levhalarla takviyesi*”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 9-21, (1977).

- [31] Alfaiate, J., Appleton, J., “*External reinforcement with steel plates and injected epoxy on concrete beams*”, CREST, Lisbon, 4-16, (1986).
- [32] Barnes, R.A., Mays, G.C., “*Strengthening of reinforced concrete beams in shear by the use of externally bonded steel plates*”, Construction and Building Materials, 20, 396-411, (2006).
- [33] Raoof, M., El-Rimawi, J. A., Hassanen M.A.H., “*Theoretical and experimental study on externally plated R. C. Beams*”, Engineering Structures, 22, 85-101, (2000).
- [34] Kankam, C. K., “*Structural behaviour of bolted end-plated reinforced concrete beams*”, Materials and Design, 24, 367-375, (2003).
- [35] Altın, S., Anıl, Ö., Kara, M.E., “*Improving shear capacity of existing RC beams using external bonding of steel plates*”, Engineering Structures, 27, 781-791, (2005).
- [36] Adhikary, B.B.; Mutsuyoshi, H., Sano, M., “*Shear strengthening of reinforced concrete beams using steel plates bonded on beams webs, experiments and analysis*”, Construction and Building Materials, 14, 237-244, (2000).
- [37] Su, R.K.L., Zhu, Y., “*Experimental and numerical studies of external steel plate strengthened reinforced concrete coupling beams*”, Engineering Structures, 27, 1537-1550, (2005).
- [38] Ünsal, T.Ç., “*Güçlendirilmiş betonarme kirişlerin davranış ve dayanımları*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 16-28, (1989).
- [39] Çelikel, T.F., “*Güçlendirilmiş betonarme kirişlerin yinelenir yük altında davranış ve dayanımları*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 19-24, (1991).
- [40] Özdemir, İ., “*Onarılmış betonarme kirişlerin tersinir yük altında davranış ve dayanımları*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 18-27, (1994).

[41] Altun, F., “*An experimental study of the jacketed reinforced concrete beams under bending*”, Construction and Building Materials, 18, 611- 618, (2004).

[42] Aykaç, S., “*Onarılmış/Güçlendirilmiş betonarme kirişlerin deprem davranışı*”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 52-54, (2001).



8.ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı: Metin KIRTEKE

Doğum Yeri ve Tarihi: MALATYA – 20.04.1988

Adres: Fahri KAYAHAN Bulvarı Çilesiz Mahallesi Buket Sokak Buket Apartmanı
No:4/2 Yeşilyurt / MALATYA

E-Posta: metinkirteke@hotmail.com

Lisans: Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Bilgisayar Programları

- *Auto Cad (İki boyutlu mimari çizim programı)(İleri Seviye)
- * Microsoft Office Word – Excel – Powerpoint (İleri Seviye)
- * İde CAD (Statik(Betonarme) programı)(İleri Seviye)
- * Yığma CAD (Statik(Betonarme) programı)(İleri Seviye)
- * STA4 CAD (Statik(Betonarme) programı)(İleri Seviye)
- * İst CAD (Statik(Karma İstinat Duvar) programı)(İleri Seviye)
- * Oska Hakke diş (Hak ediş ve yaklaşık maliyet hazırlama programı)(İleri Seviye)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

TEMMUZ 2013-EYLÜL 2014

Firma: Malatya Detay Yapı Denetim

Görev: İnşaat Mühendisliği

İş Tanımı: Kontrol Mühendisliği

15.09.2014 - MALATYA Yeşilyurt Belediyesi - (Yeşilyurt
Belediyesi'nde taşeron olarak çalışmaya devam etmekteyim)

Konum: İnşaat Mühendisi - Statik Proje çizimi, yaklaşık maliyeti, hak
edişi ve kontrolörlüğü