



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**BETONARME KİRİŞLERİN KESMEYE
KARŞI LİFLİ ÖZEL BLOKLAR/PANELLER
İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Mehmet Şükrü KETENCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Şükrü KETENCİ tarafından hazırlanan “BETONARME KİRİŞLERİN KESMEYE KARŞI LİFLİ ÖZEL BLOKLAR/PANELLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması 06/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması bilimsel araştırma projeleri (BAP) tarafından 231004003 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet Şükrü KETENCİ

06/07/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME KİRİŞLERİN KESMEYE KARŞI LİFLİ ÖZEL BLOKLAR/PANELLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Mehmet Şükrü KETENCİ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN

2023, 87 Sayfa

**Jüri
Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN
Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ**

Beton teknolojindeki gelişmeler ile yapı alanında ultra yüksek performanslı lifli betonların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ultra yüksek performanslı lifli betonlar (UYPLB) lifli yapıları ile sahip oldukları yüksek dayanım, yüksek durabilite, yüksek süneklik gibi avantajlarından dolayı yapı teknolojilerinde birçok kullanım alanına sahiptir. Özellikle yapıların güçlendirme çalışmalarında UYPLB kullanımı yaygınlaşmaktadır. Betonarme yapılarda deprem, yangın gibi etkilerin yanı sıra yapı stokunda kullanılan malzeme kalitesinin kötü olması, denetim ve mühendislik hizmetleri noksanlığından dolayı yapı taşıyıcı elemanlarında hasarlar meydana gelmektedir. Meydana gelen hasarlara bağlı olarak yapı elemanlarında güçlendirme yapılmakta, hasarın cinsi, yapının kullanım şekli ve güçlendirme maliyetleri dikkate alınarak uygun güçlendirme metodu seçilmektedir. Yapı elemanlarında meydana gelen hasarlardan biri de yeteriz ve uygun olmayan donatı detaylandırmaları sebebiyle betonarme kirişlerde görülen kesme hasarlarıdır. Bu tez çalışması kapsamında kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin farklı ve yeni bir güçlendirme yöntemi olarak gelişmiş mekanik özelliklere sahip lifli özel bloklar/paneller ile prefabrikasyon tipi güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda kesme dayanımı açısından yetersiz şekilde tasarlanmış 6 adet kiriş numunesi deneysel olarak test edilmiştir.

Lifli özel blokların/panellerin kiriş elemanı üzerindeki etkilerini araştırmak için ½ ölçekli 6 adet betonarme T-kiriş numunesinden 1 adedi referans numune olarak seçilmiştir. Üretilen 5 adet kiriş ise farklı geometrik boyutlara ve uygulama ilkelerine sahip lifli özel blokların/panellerin yüksek mukavemetli epoksi ile kiriş ilgili bölgelerine yapıştırılmasıyla prefabrikasyon tipi güçlendirilmiştir. Lifli özel bloklar/paneller etriye aralıklarına benzer şekilde belirli aralıklar ve kirişi tam saran blok modeli ile farklı şekillerde sabitlenmiş ve performansları test edilerek optimum güçlendirme tipi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre güçlendirilen numunelerde dayanım referans kiriş numunesine göre % 36 - % 53 düzeyinde, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinde de % 61 - % 111 oranında artış gözlemlenmiştir. En optimum model olarak ise kirişin tam sargılı olarak teşkil edildiği güçlendirme tipinde gözlemlenmiştir. Bu güçlendirme tipi ile kirişte özellikle süneklik ve enerji tüketme performansı açısından oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada önerilen lifli özel bloklar/paneller ile güçlendirme metodunun diğer güçlendirme uygulamalarına göre daha ekonomik olması, kolay bulunabilir malzemelerden üretilmesi ve özel işçilik gerektirmemesi, prefabrikasyon üretim pratikliği ile de uygulama kolaylığı sağlaması önemli avantajlardır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Kirişlerin Güçlendirilmesi, Betonarme Kirişlerde Kesme Hasarı, Ultra Yüksek Performanslı Betonlar, Lifli Özel Bloklar ile Güçlendirme.

ABSTRACT

MS THESIS

REINFORCEMENT OF RC BEAMS WITH SPECIAL FIBROUS BLOCKS/PANELS AGAINST SHEARING

Mehmet Şükrü Ketenci

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Gamze DOĞAN

2023, 87 Pages

**Jury
Assist. Prof. Dr. Üyesi Gamze DOĞAN
Assist. Prof. Dr. Ali Serdar ECEMİŞ
Assoc. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL**

With developments in concrete technology, the use of ultra high-performance fibre concretes in construction is becoming more widespread. Ultra High-Performance Fibre Concrete (UHPFC) has many applications in civil engineering due to its fibre structure and its advantages such as high strength, high durability and high ductility. The use of UYPLB is becoming increasingly widespread, particularly in the strengthening of structures. In reinforced concrete structures, damage occurs to the structural elements due to effects such as earthquakes and fire, as well as the poor quality of the materials used in the building stock, the lack of inspection and engineering services. Depending on the type of damage that has occurred, the structural elements are reinforced and the appropriate method of reinforcement is chosen, taking into account the type of damage, the use of the structure and the cost of reinforcement. One of the damages that occur in structural elements is the shear damage in reinforced concrete beams due to insufficient and inappropriate reinforcement detailing. The aim of this thesis is to strengthen reinforced concrete beams with insufficient shear strength, as a different and new strengthening method, with special fibre blocks/panels with advanced mechanical properties. To this end, 6 samples of beams with inadequate shear strength have been experimentally tested.

In order to investigate the effect of special fibre blocks/panels on the beam element, 1 out of 6 reinforced concrete T-beams in 1/2 scale samples was selected as a reference sample. The 5 beams produced were of the prefabricated type reinforced by bonding special fibre blocks/panels with different geometric dimensions and application principles to the relevant parts of the beam with high strength epoxy. The special fibre blocks/panels were fixed in different ways with certain spacings and the block model surrounding the beam, similar to the stirrup spacing, and the optimum type of reinforcement was determined by testing its performance. According to the results obtained, the strength of the reinforced specimens increased by 36 – 53 % compared to the reference beam specimen, and the ductility and energy consumption capacities increased by 61 – 111 %. The most optimal model was observed for the type of reinforcement where the beam was formed as a fully confined beam. With this type of reinforcement, very good results were obtained in the beam, especially in terms of ductility and energy consumption performance. In addition, one of the important advantages is that the reinforcement method proposed in the study, using special fibre blocks/panels, is more economical than other reinforcement applications, is made from readily available materials, does not require special labour and is easy to apply due to its prefabrication production practicality.

Keywords: Reinforcement of RC Beams, Shear Damage in RC Beams, Ultra High-Performance Concretes, Reinforcement with Special Fibre Blocks.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması kapsamında betonarme kirişlerde kesme hasarına karşı pratik, ekonomik ve özel işçilik gerektirmeyen farklı bir güçlendirme yöntemi olarak lifli özel bloklar/paneller test edilmiştir. Yüksek lisans eğitimim boyunca sabırla bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, değerli vaktini ayırarak beni cesaretlendirip teşvik ve yönlendirmeleriyle bana yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN'a ve tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen ve tecrübelerini benimle paylaşan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL'a teşekkür ederim. Ayrıca tez aşamasında kiriş ve güçlendirme bloklarının üretiminde yardımcı olan iş arkadaşlarıma ve Betokav Beton Mamülleri A.Ş. firmasına teşekkür ederim. Hayatım boyunca bana destek olan, hiçbir zaman manevi desteklerini esirgemeyen ve benim her zaman yanımda olan aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Şükrü KETENCİ

KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Ultra Yüksek Performanslı Betonlar.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	6
1.3. Tezin Önemi	7
1.4. Tezin Kapsamı	9
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Deney Numuneleri	17
3.2. Malzeme Özellikleri	20
3.2.1. Kiriş deney elemanları betonu	20
3.2.2. Kiriş deney elemanları donatı düzeni	23
3.2.3. Güçlendirme elemanı lifli özel blokların ve panellerin betonu	25
3.2.4. Çelik lif	27
3.2.5. Epoksi	28
3.3. Deney Numunelerinin Üretimi	29
3.3.1. Tablalı kiriş elemanların üretimi.....	30
3.3.2. Lifli özel blokların ve panellerin üretimi	33
3.3.3. Lifli özel blokların ve panellerin tablalı kirişlere yapıştırılması.....	40
4. DENEY DÜZENİĞİ VE ÖLÇME TEKNİĞİ.....	45
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	48
5.1. Deney Sonuçları.....	48
5.1.1. B1 numunesi deneyi (Referans numunesi)	48
5.1.2. B2 numunesi deneyi.....	51
5.1.3. B3 numunesi deneyi.....	55
5.1.4. B4 numunesi deneyi.....	58
5.1.5. B5 numunesi deneyi.....	62
5.1.6. B6 numunesi deneyi.....	67
5.2. Deney Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi	71
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79

6.1. Sonuçlar	79
6.2 neriler	81
KAYNAKLAR	83



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

f_{ck} : Karakteristik beton dayanımı

f_c : Beton basınç dayanım

f_{yk} : Donatı akma dayanımı

f_{su} : Donatı çekme dayanımı

Kısaltmalar

RPB: Reaktif pudra beton

SIFCON: Slurry infiltrated fibre concrete

SIMCON: Slurry infiltrated mat concrete

TBDY-2018: 2018 Türkiye bina deprem yönetmeliği

YPB: Yüksek performanslı beton

LVDT: Lineer yer değiştirme algılayıcısı

TBDY: Türkiye bina deprem yönetmeliği

UYPB: Ultra yüksek performanslı beton

UYPLB: Ultra yüksek performanslı lifli beton

CFRP: Karbon lifli polimer

GFRP: Cam fiber takviyeli polimer

LDB: Lif donatılı beton

LDBP: Lif donatılı beton paneller

BFRP: Bazalt elyaf takviyeli polimer

FRP: Lifli polimer

ÇAAYD: Çatlak ağzı açıklık yer değiştirme

LVDT: Lineer değişken diferansiyel transformatör

B420C: Betonarme elemanlar için beton çeliği

1. GİRİŞ

21. Yüzyılın ikinci çeyreğine yaklaştığımız şu yıllarda gelişen dünya şartlarında medeniyetimizin oluşturduğu ihtiyaçlar gereği daha yüksek binalar, özel gereksinimli kompleks yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçların ekonomik, güvenli ve sürdürülebilir olarak giderilebilmesi için beton teknolojisi ne kadar yol kat etmiş olsa da bu gereksinim katlanarak artmaktadır. Yapılar için farklı ihtiyaçlar doğrultusunda beton teknolojisi geliştirilmektedir. Betonun mekanik özelliklerini arttırmak için beton karışımı içerisine çeşitli katkı malzemeleri eklenerek ultra performanslı betonlar ortaya çıkmıştır. Ultra performanslı betonlar kesme dayanımı, çekme dayanımı, durabilite, eğilme, hafiflik gibi mekanik özelliklerinin gelişmiş olması sebebi ile betonun farklı alanlarda kullanımında avantajlar sağlamaktadır.

1.1. Ultra Yüksek Performanslı Betonlar

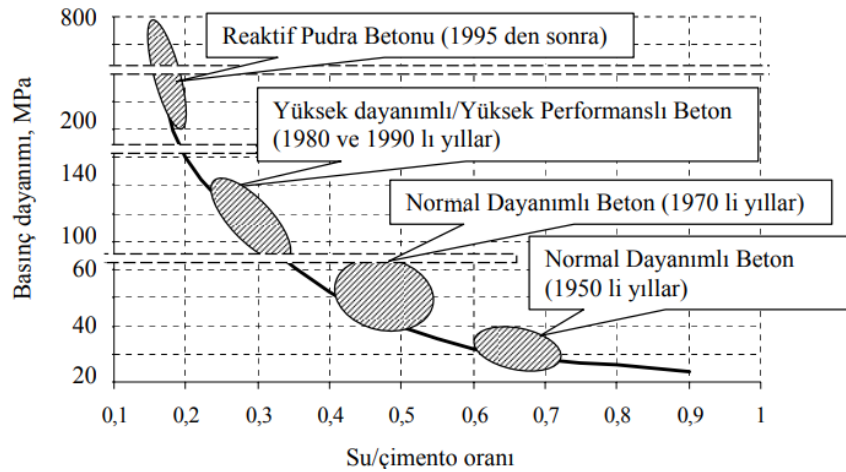
Ultra yüksek performanslı betonlar sahip oldukları birçok avantajlar ile geniş kullanım alanına sahip yüksek dayanıklılık ve gelişmiş mekanik özellikleri olan betonlardır. Çağımızda yaşanan gelişmeler ve artan nüfusa yetebilirlik açısından sınırlı kaynakların verimli ve ekonomik kullanımı büyük önem kazanmaktadır. Çimento üretimi ve yapı üretimi aşamalarında yüksek enerji sarfıyatı, yakılan fosil yakıtlardan oluşan gazlar ve ortaya çıkan karbondioksit gazı seviyeleri göz önünde bulundurulması gereken başlıca konulardandır. Yeni yapıların üretim aşamalarında çevrede oluşan olumsuz etkilerin azaltılması için kullanılan yapı malzemelerinin çevre ve doğa dostu olmasına doğal kaynakların korunmasına, yapım atıklarının değerlendirilmesine, enerji tüketimi azaltılmasına dikkat edilmeli ve gelecek ihtiyaçlara yönelik rasyonel planlamaların yapılması gerekmektedir. Bu rasyonel planlama doğrultusunda kalıcı ve uzun ömürlü yapılara olan ihtiyacımız için ultra yüksek performanslı betonlar ortaya çıkmıştır.

Son kırk yılda malzeme üzerine yapılan çalışmalar sonucu, beton karışımı içine değişik tiplerde malzemeler eklenmesi genel olarak "ultra yüksek performanslı beton" olarak tanımlanan farklı betonların ortaya çıkmasını sağlamıştır (Richard ve Cheyrezy, 1994; Özyurt, 2000; Taşdemir ve ark., 2004; Topçu ve Karakurt, 2005; Yazıcı ve ark., 2006; Ateş, 2008; Voo ve ark., 2010; Shann, 2012; Khalil ve Tayfur, 2013; Brühwiler ve Denarié, 2013; Yavaş ve ark., 2015; İpek ve ark., 2015; Lampropoulos ve ark., 2016; Al-Osta ve ark., 2017; Salih ve ark., 2018; Tayfur ve ark., 2018; Prem ve ark., 2018; Sargın,

2019; Türker ve ark., 2019; Yin ve ark., 2019; Zhu ve ark., 2020; Topçu ve ark., 2021). Beton teknolojisindeki bu gelişmeler farklı alanlarda optimum dayanıklılığa ve sünekliliğe sahip betonun arayışına itmiştir. Oluşturulan ürünün ekonomik olması da gözetilerek farklı sektörler için birçok kompozit denemesi yapılmıştır. Geleneksel betonun yeterli olmadığı şartlarda ultra yüksek performanslı betonlar tercih edilmeye başlamıştır. Ancak ultra yüksek performanslı betonların üretim ve tasarım esasları; geleneksel beton uygulamalarından daha karmaşık ve zordur.

Normal betonlar, su, çimento, agrega ve bazı durumlarda katkı maddesi kullanılarak üretilen ekonomik malzemelerdir. Beton kimyanın yapı sektöründeki temel ürünlerinden ilkidir. Basınç dayanım değerleri 20MPa- 60MPa, kırılma enerji değerleri 100 J/m^2 - 120 J/m^2 civarındadır (Taşdemir ve Bayramov, 2002; Kiremitçi, 2008). Diğer yapı elemanlarına göre ilkel olmasına rağmen hala en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Ancak geleneksel betonlar sünekliliği ve enerji sönmleme yeteneği düşük son derece gevrek bir yapı malzemedir. Geleneksel beton kullanım gereksinimleri doğrultusunda, performansını artırmak için karışımın içerisine donatı, lif ve çelik tel gibi malzemeler eklenerek kompozitlere dönüştürülür.

İlerleyen satırlarda daha fazla örneği verilecek kompozitler Şekil 1.1’de görüldüğü gibi yıllara göre geliştirilen farklı tiplere ayrılmaktadır. Örneğin yüksek dayanımlı betonların en büyük sorunu gevrekliktir. Su/çimento oranını azaltmak dayanıklılık açısından bize avantaj sağlasa da süneklilik açısından dezavantaj sağlamaktadır. Teknolojimizin son ürünlerinden reaktif pudra betonlarında, beton karışımına çelik lif katılmaktadır. Bu sayede dayanıklılığın yanında dezavantajı minimuma indirecek süneklilik de kazandırılmaktadır.

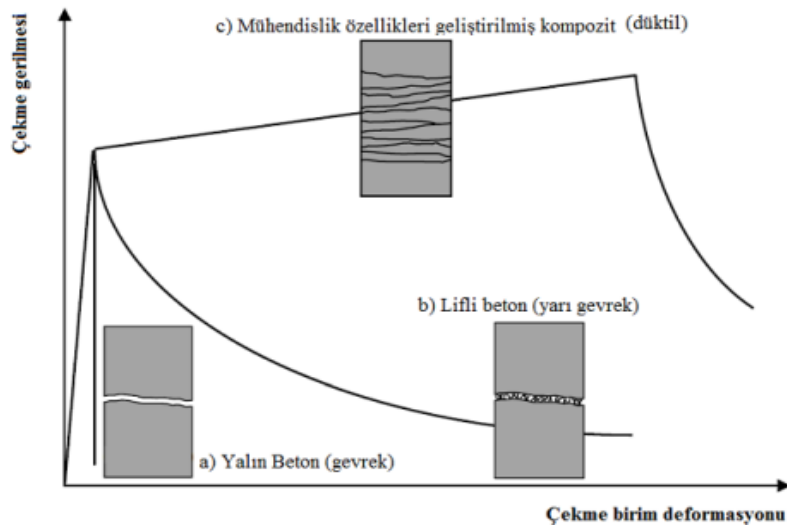


Şekil 1.1. Su/Çimento oranının değişiminin basınç dayanımına etkisi (Taşdemir ve Bayramov, 2002)

Çimento esaslı kompozitleri kabaca şu şekilde listeleyebiliriz (Kiremitçi, 2008):

1. Normal betonlar
2. Yüksek dayanımlı yüksek performanslı betonlar
3. Yüksek oranda çelik tel içeren çimento bulamacı (SIFCON)
4. Karma lif donatılı çimento esaslı kompozit malzemeler
5. Reaktif pudra betonu (RPB)
6. Geleneksel çelik tel donatılı betonlar
7. Sentetik lifli yüksek performanslı betonlar

Ultra yüksek performanslı betonda dayanım değeri su/çimento oranından ziyade; karışım içine konan çelik tel, sentetik lif, silis dumanı gibi ilave malzemelere bağlıdır. Ultra yüksek performanslı betonlarda yüksek mukavemet değerlerine ulaşmak için beton karışımı içindeki hava boşluklarını en az düzeye inmesi gerekmektedir. Bu yüzden geleneksel beton karışımlarında kullanılan büyük tane boyutlu agregaların kullanılmaması gerekir. Ultra yüksek performanslı betonlarda geleneksel betonlara göre farklı granülometri değerlerinde ve bazalt agregası, silis agregası, genel kuvars agregası gibi farklı agrega türleri bulunmaktadır. Bunlarla beraber yüksek mukavemet ve homojenliği sebebi ile ultra yüksek performanslı betonlar gevrek malzemelerdir. Bu dezavantajın azaltılması ve malzemenin süneklik kazanması için çelik elyaflar, çelik lifler kullanılabilir. Özel beton tiplerinin çekme gerilmesi-deformasyon grafiği Şekil 1.2’de verilmiştir (Gödek ve ark., 2016).

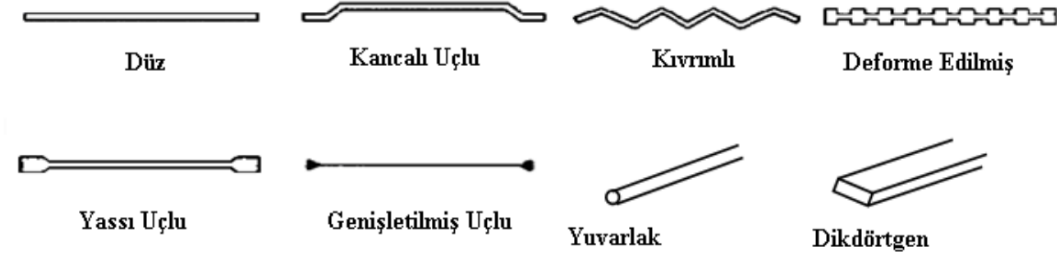


Şekil 1.2. Beton tiplerinin çekme gerilmesi-deformasyon grafiği (Gödek ve ark., 2016)

Lifli beton; su, ince veya ince ile kaba agrega karışımının içerisinde belli aralıklarla dağıtılmış küçük doğal veya yapay lifler kullanılarak üretilmiş kompozit bir malzemedir. Betonun güçlendirme çalışmalarında ortaya çıkan kırılabilirlik ve yetersiz çekme dayanımı problemi çözümü üzerine yapılan araştırma ve geliştirmeler sonucu üretilmeye başlanmıştır. Genel olarak betona lif eklenmesi ile betonun sünekliği, eğilme ve çekme dayanımı, darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerini arttırmak amaçlanmaktadır. Betonda farklı gerilmeler ve malzemede mikro çatlaklar bulunması nedeniyle beton düzensiz bir yapıya sahiptir. Betona eklenen lifler küçük köprüler gibi davranıp betona gelen gerilmeleri aktarırlar. Beton özelliklerini iyileştirmek için taze betona çeşitli yöntemlerle farklı miktarlarda lifler eklenir. Lifli betonların en çok kullanılan çeşitleri arasında cam lifli betonlar, çelik lifli betonlar, polimer betonu, mika levhali betonlar ve plastik lifli betonlar vardır.

Ultra yüksek performanslı beton karışımının içerisinde lif olarak kullanılan malzemelerin yapısına göre kullanım alanları farklılık göstermektedir. Örneğin püskürtme beton uygulamalarında, beton yol üst yapılarında, beton boru uygulamalarında, askeri güvenlik yapılarında, yangına dayanıklı beton yapılarda ve daha birçok alanda polipropilen esaslı lifler kullanılmaktadır. Daha çok eğilme etkisine maruz kalan otoyol döşemelerinde, kazıklı zeminlerde, köprü ayaklarında, endüstriyel tesislerin zeminlerinde, havaalanı pistlerinde ve tünel inşaatlarında çoğunlukla sağladığı avantaj sebebi ile çelik lifler kullanılmaktadır. Ayrıca cam lif esaslı betonlar ise bina cephesi ve çatı kaplamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Kozak, 2013).

Çelik lifler katılarak yapılan performans iyileştirmesi geleneksel betonlardaki gibi su/çimento oranı, kullanılan çimento miktarı ve cinsi, agrega granülometrisi ve cinsine bağlı olmasının yanında çelik liflerin çeşitliliği ve betona karışım oranına da bağlı olmaktadır. Betonun çekme dayanımını etkileyen diğer kriterler, kullanılan çelik telin tipi, çelik tel miktarı, çelik telin narinliği ve çelik lif dayanımıdır denilebilir (Kiremitçi, 2008). Çelik telin tipinde pürüzlü olup olmaması, çelik telin boylu boyunca olan yapısal farklılıkları ve kancalı uçlu olup olmaması değerlendirme kriterlerindendir. Çelik lif çeşitleri ve kesitleri Şekil 1.3’de gösterilmiştir (Bayasi ve Soroushian, 1991; Kiremitçi, 2008).



Şekil 1.3. Çelik lif çeşitleri ve kesitleri (Bayasi ve Soroushian, 1991)

Çelik telin, beton içindeki optimum oranıyla ilgili de çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Dugat ve ark. (1996) yaptıkları çalışmalar sonucunda betondaki lif miktarının optimum yüzdesinin %2~%3 arasında olduğunu belirlemişlerdir. Kullanılan çelik tel içeriğinin performansa olan katkılarının yanında optimum değerin üstüne de çıkmaması gerekliliği gözlemlenmiştir. Ayrıca çok yüksek oranda lif kullanımının beton karışımının işlenebilirlik özelliğini azalttığını ve liflerin dağılımındaki homojenliğin kaybolduğunu gözlemlemişlerdir (Bayramov, 2004; Kiremitçi, 2008).

Çelik lifler katılarak elde edilen özel betonlar ile yapılan performans iyileştirme/güçlendirmelerde dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli kriter kullanılan çelik telin narinlik oranıdır. Beton karışımlarında genel olarak kullanılan çelik lif malzemesinin narinlik oranı 30 ile 150 arasında değerler almaktadır. Çelik liflerin narinlik oranı ne kadar yüksek olursa, karışımda yığılma olasılığı o kadar yüksek ve liflerin düzgün bir şekilde dağılma olasılığı da bir o kadar düşük olmaktadır. Yani beton içerisindeki çelik liflerin narinlik oranının yüksek olması işlenebilirliği azaltmaktadır (Kızıllığın, 2009). Çelik tel donatılı betonların mekanik davranışlarına çelik lif dayanımının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada yüksek dayanımlı betonlarda kırılma enerjisi ve eğilme dayanımı yönünden en iyi sonuçlara yüksek dayanımlı çelik lif kullanılarak erişilebileceği gözlemlenmiştir (Taşdemir ve ark., 2005).

Tüm bu sebepler ile betonarme yapı elemanlarında çelik tel lifli betonlar ile güçlendirme çalışmalarında en optimum performans hedefini sağlamak için yüksek lif oranı ile birlikte bu orandaki lif karışımının betonda işlenebilirliği de sağlayacak şekilde oluşturulması sonucuna ulaşılmıştır. Böylelikle liflerin betonun içine karıştırılması yerine lif matrisi oluşturularak betonun üzerine serildiği özel lifli beton türleri ortaya çıkmıştır. Ultra performanslı yüksek lif oranına sahip lifli betonlar, SIFCON (Slurry Infiltrated Fibered Concrete- Yüksek Oranda Çelik Tel İçeren Çimento Bulamacı) ve SIMCON (Slurry Infiltrated Mat Concrete) olmak üzere iki türe ayrılır. Bu iki tekniğin arasındaki

temel fark SIFCON'da lifler kalıba konularak çimento bulamacı enjekte edilirken, SIMCON'da lifler yerine çelik hasır kullanılmasıdır.

SIFCON; su, çimento, silis dumanı, çok ince kum ve süper akışkanlaştırıcının oluşturduğu bulamacın kalıplar içine yerleştirilmiş çelik liflerin üzerine dökülmesi ile oluşturulur. Burada önemli olan nokta harcın liflerin arasına girebilecek ve düzgün karışımın homojen dağılımda olmasının başarısıdır. Oluşturulan harç, liflerin arasında boşluk oluşturmayacak şekilde dağılmalıdır ki dayanım ve durabilite işlevsel değerlere ulaşabilsin. SIFCON'da uygulanan bu teknikle geleneksel donatılı betonlara oranla çelik oranı 10 kata kadar çıkarılabilmektedir. Bu sayede çelik tel donatılı betonlara kıyasla SIFCON çok daha yüksek süneklik değerlerine ulaşılabilir (URL 1; Bayrak ve ark., 2019).

Gelişen dünya şartlarında geleneksel betonun yapı alanında yetersiz kalması sonucu beton teknolojisindeki gelişmeler ile ultra yüksek performanslı betonlar ortaya çıkmıştır. Bizi geleneksel betonlardan, ultra yüksek performanslı betona getiren bu süreçte betonun dayanımını artırmak, sünekliliğini korumak ve uzun ömürlülüğü sağlamak için farklı teknikler denenmiştir. Metalürji biliminin katkılarının yanında beton harcına eklenen liflerin cinsi, şekli, boyutu ve betonun hazırlanma şekli bu tekniklerden başlıcalarıdır. Bu çalışmada ultra yüksek performanslı betonların sahip oldukları yüksek dayanım, yüksek durabilite, yüksek süneklik gibi avantajlardan ve ultra yüksek performanslı betonların yapılarda kullanımı sonucu bu avantajların ekonomik, ekolojik katkılarından faydalanılmak istenmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Ultra performanslı betonların kullanımı her geçen gün yaygınlaşmakta ve bunun ötesinde farklı katkı maddeleri, lif türlerinin çeşitli kompozisyonları ile gelişmektedir. Bu gelişmenin sonucu gökdelenlerin kat sayısında yükselme, köprülerin taşıma kapasitesinde artış, sığınaklarda dayanıklılık artışı ve yüksek dayanımlı yollar ortaya çıkmaktadır. Yeni yapılarda kullanımının yanında riskli yapıların güçlendirme çalışmalarında da kullanılmaktadır. Özel beton teknolojileri yapı elemanlarının kullanım ömrünü uzatarak çevreye olan zararın minimuma indirilmesi ve ekonomik faydalar sağlaması yönünden oldukça önemlidir.

Bu çalışma kapsamında son yüzyılda yapılarda ihtiyaç duyulan gereksinimler doğrultusunda ortaya çıkan ultra performanslı betonların beton karışımı içine katılan

farklı malzemeler ile betonun mekanik özellikleri üzerindeki pozitif etkileri doğrultusunda betonarme yapıların güçlendirme çalışmalarında kullanımı araştırılmıştır. Ultra performanslı betonların yapı elemanlarında kullanımı yapı elemanı performansını etkilemekte, dayanım, deformasyon kapasitesi ve süneklik anlamında katkılar sağlamaktadır. Bu katkıların betonarme yapıların güçlendirilmesinde ne derece avantaj sağladığının araştırılması bu çalışmanın temel amacıdır.

Tek parça halinde çalışan betonarme taşıyıcı sistemleri genel olarak döşeme plağı, kiriş, kolon, perde ve temellerden oluşmaktadır. Birçok kullanım avantajını içinde barındıran betonarme taşıyıcı sistemler tüm dünyada ve ülkemizde yaygın olarak tercih edilen bir sistemdir. Sağlamış olduğu ekonomik avantaj ve temel yapı malzemesi betonun plastik özelliği nedeniyle yüksek işlenebilirliği, birçok farklı alanlarda ve farklı şekillerde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ancak betonarme yapılarda zamanla oluşan deprem, yangın gibi dış etkenler sebebiyle hasarlar meydana gelebilmektedir. Ayrıca ülkemizdeki yapı stokunda kullanılan malzeme kalitesinin kötü olması yanında denetim ve mühendislik eksikliklerinden dolayı ekonomik ömürleri dolmadan taşıyıcı elemanlarda özellik kayıpları ya da hasarlar meydana gelmektedir. Bunlardan bir tanesi de kirişlerde meydana gelen kesme hasarlarıdır. Betonarme yapılarda güçlendirme yapılırken meydana gelen hasarın cinsi, yapının kullanım şekli ve güçlendirme maliyetleri dikkate alınmaktadır. Bu doğrultuda yapısal hasarların giderilmesinde birçok farklı yöntem araştırılmış ve geliştirilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında da betonarme kirişlerin, farklı ve yeni bir güçlendirme yöntemi olarak, gelişmiş mekanik özelliklere sahip yüksek oranda çelik lif içeren ultra yüksek performanslı betonla üretilmiş lifli özel bloklar/paneller ile güçlendirilmesi hedeflenmiştir.

1.3. Tezin Önemi

Dünyada ve sismik aktivitesi yüksek ülkemizde son yıllarda birçok deprem meydana gelmektedir. Depremler sonrası yeterli mühendislik hizmeti almamış, projelendirme ve imalat hataları bulunan, uygun malzemenin kullanılmadığı ve yetersiz detaylandırmaların bulunduğu yapılarda büyük hasarlar meydana gelmektedir. Özellikle aktif fay hatları üzerinde bulunan ülkemiz için yapı güvenliği büyük önem arz etmektedir. Can ve mal güvenliği için deprem sonrası meydana gelen hasarların yanında mevcut betonarme yapılarda zamanla yanlış tasarım, kullanım amacının değiştirilmesi ve üretim hataları yüzünden meydana gelen hasarlardan ötürü güçlendirme çalışmaları

gerekmektedir. Bu doğrultuda dünyada ve ülkemizde birçok güçlendirme yöntemleri kullanılmakta ve yeni güçlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan farklı çalışmalar ışığında yapı elemanlarının güçlendirmesinde birçok farklı yöntemler ortaya çıkmıştır. Bu yapılan çalışmalarla yapı güçlendirmelerinde oldukça ilerleme sağlanmıştır. Ancak ortaya çıkarılan yöntemlerin sahip olduğu eksiklikler ve çağın gerekliliklerinin değişmesinden ötürü her zaman yeni yöntemlere ihtiyaçlar duyulmaktadır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerde kirişler deprem, rüzgâr ve düşey yüklerin taşıyıcı kolonlara iletilmesini sağlayan yapı elemanıdır. Kirişlerde yükleme ve mesnetlenme koşullarına göre; burulma momenti, eğilme momenti ve kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Kirişlerde yetersiz kesme kapasitesi durumunda tehlikeli kesme hasarları oluşabilmektedir. Kesme hasarlarına karşı literatürde uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmış farklı güçlendirme metotları mevcuttur. Kesmeye karşı güçlendirme için betonarme mantolama, çelik levhalar ve karbon lifli uygulamalar mevcuttur. Özellikle gelişen malzeme teknolojisi ile kumaş türü lif sargılama son yıllarda popüler güçlendirme uygulamalarındandır. Ancak güçlendirme çalışmalarında kriter olarak betonarme elemanların dayanım ve deformasyon kabiliyetlerinin artırılmasının yanı sıra yöntemin ekonomik olması da önemli bir parametredir. Bu tez çalışmasında, kesme hasarına karşı yapılacak güçlendirme yönteminde kesme kuvvetlerine karşı yüksek dayanım gösteren lifli özel bloklar ve paneller ile güçlendirme metodu araştırılmıştır. Ayrıca önerilen metot alternatif güçlendirme yöntemlerine göre yapı elemanına dışarıdan uygulama kolaylığı ile pratik, kolay bulunan malzemeler ile üretim yönünden ekonomiktir. Güçlendirme yönteminde kullanılan lifli özel blokların/panellerin özel işçilik gerektirmeyecek şekilde üretim ve imalatı mümkün olmakla birlikte güçlendirme uygulaması esnasında mimarinin bozulmadan ve yapıların güçlendirme periyotlarında kullanımına devam etmesi parametreleri ile de avantajlı ve pratik olarak uygulanabilir bir yöntem olduğu görülmüştür. Tez çalışmasında yeni önerilen bu güçlendirme metodu betonarme kiriş elemanlarda gevrek kırılmaları önleyecek şekilde test edilmiş ve yeterli performansa eriştiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde lifli özel blok/panel güçlendirmenin yapı elemanında kesme davranışını iyileştirmesi sebebiyle de diğer betonarme elemanlara da uygulanabilirliğinin mümkün olacağı düşünülmekte ve gelecekteki çalışmalarda deneysel testleri ile gözlemlenmesi planlanmaktadır.

1.4. Tezin Kapsamı

Yapı elemanlarında güçlendirme çalışmalarında başlıca husus; yapılan güçlendirmenin dayanıma yapmış olduğu katkı, enerji tüketme ve taşıma kapasitesindeki sağlamış olduğu artıştır. Bunların yanında yapıların güçlendirmesinde uygulanabilirlik büyük bir sorundur. Genel olarak ultra performanslı yüksek lif içerikli betonların güçlendirme çalışmalarında tercih edilmesinin sebepleri: hızlı mukavemet gelişimi ve ıslak-kuru ortamda uygulanmalarının mümkün olmasıdır. Bu bilgiler ışında tez çalışması kapsamında yüksek lif matrisi ile üretilen çelik lifli özel bloklar/paneller kullanılarak kesme bakımından yetersiz betonarme kirişler üzerinde yeni bir güçlendirme metodu test edilmiştir. Amaçlanan güçlendirme metodu için 6 adet ½ ölçekte T-kesitli güçlendirilmiş betonarme kirişler yüklemeye maruz bırakılarak deneysel olarak test edilmiştir. Betonarme kirişlere yüksek mukavemetli epoksi yardımıyla özel lifli bloklar ve paneller yapıştırılarak geliştirilen prefabrikasyon güçlendirme metodu deneysel performans neticelerine göre yüksek dayanım ve süneklik özelliği göstermiştir. Ayrıca kullanılan lifli blokların/panellerin üretim ve uygulama parametrelerine göre pratik, hızlı, kolay bir işçilikle yapı mimarisini bozmadan güçlendirme imkânı sağlaması ile de mevcut yapılar için de kullanımının mümkün olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gelişen dünya şartlarında betonun kullanım şekilleri hızla değişmektedir. Bu gelişim sonucu oluşan yüksek dayanıklılık, yüksek süneklik, üstün durabilite gibi gereksinimlerin karşılanabilmesi amacıyla farklı malzemeler geliştirilmektedir. Ultra performanslı betonlar da bu geliştirilen malzemeler arasındadır. Yapı malzemesi olarak ultra yüksek performanslı betonların kullanımının avantajları ve dezavantajları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Mısır (2011) betonarme yapıların deprem davranışının iyileştirilmesinde SIFCON kullanımı üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında laboratuvar şartları doğrultusunda, düzlemsel ve döşeme içermeyen mevcut binaların taşıyıcı sistemini temsil edecek şekilde 2/3 geometrik ölçekli kolon-kiriş birleşim numuneleri kullanmıştır. Bu kolon-kiriş birleşimleri enerji tüketimi düşük deprem esnasında gevrek göçme davranışı gösterebilecek; beton dayanımı düşük, düz donatılı ve kayma donatısı bulunmayacak şekilde dizayn etmiştir. Deneyde kullanılan dış kolon kiriş birleşimleri yatay yüklere maruz kalan çok katlı bir çerçeve sisteminde oluşacak moment sıfır noktalarından ayrılmış şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan yetersiz kolon-kiriş birleşim numunelerini çimento şerbeti emdirilmiş lifli beton (SIFCON) ankrajları ile güçlendirilip sabit eksenel yük ve tersine tekrarlanan yatay yükler altında test etmiştir. Deneyler minimum %3,5 ötelenme oranına ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre etriyeli tasarlanan N2 numunesinin, N1 referans numunesine göre biraz daha yüksek süneklik değerlerine sahip olduğu gözlemlenirse de en yüksek süneklik değerlerine SIFCON kullanılarak güçlendirilen numunelerinin ulaştıkları ortaya konulmuştur. N1 referans numunesine nazaran SIFCON ile güçlendirilen numunelerin %110-%250 oranları arasında daha yüksek tepe yüklerine ulaştıkları saplanmıştır. Kayma donatılı tasarlanan N2 kontrol numunesinin N1 kontrol numunesine göre daha yüksek enerji tüketim değerlerine ulaşmıştır. Ancak çimento şerbeti emdirilmiş lifli beton (SIFCON) ile güçlendirilmiş kolon-kiriş numunelerinin iki kontrol numunesine göre çok daha yüksek enerji tüketim değerlerine ulaştıkları gözlemlenmiştir.

Cengiz (2016) çalışmasında genellikle mimariye estetiklik sağlamak için çatı ve cephelerde kullanılan panellerin üretiminde; sağladığı kolay işlenebilirlik, dayanıklılık, kimyasallara karşı direnci ve hafiflik gibi özellikleriyle ultra performanslı betonun tercih edilmesinin nedenlerini incelemiştir. Geleneksel betonlara göre ekonomik ömrünün fazla

ve bakım maliyetlerinin düşük olduğu görülmüştür. Ultra performanslı beton ile üretilen panellerin diğer betonlara göre daha yoğun ve düktil bir malzeme ile üretildiği için üretilen panellerin kalınlığı azalmıştır. Hafifliği sayesinde inşaat sahasına taşınması, kurulumu ve sökümünde avantaj sağladığı sonucuna ulaşmıştır.

Bilim (2019) yapmış olduğu çalışmada çeşitli mühendislik ve ürünlerde son zamanlarda sık sık adını duyduğumuz nano teknolojisini ultra performanslı beton üretiminde kullanımını araştırmıştır. Yapmış olduğu bu çalışmanın temel amacı yüksek dayanım elde etmek için nano partiküllerden karma lifli yüksek performanslı nano beton üretimidir. Beton karışımında nano fiber malzeme olarak TiO_2 , agrega olarak kuvars, bazalt ve silis dumanı; ilave malzeme olarak lifler kullanılmıştır. Çalışma sırasında araştırılan materyali farklı niteliklerde değerlendirmek için 15 farklı yüksek performanslı nano beton karışım tasarlamıştır. Lif çeşidinin ve miktarının değiştirildiği bu karışımlarda öncelikle 3 farklı gradasyon ile 3 farklı agrega tipi mekanik testlere tabi tutulmuştur. Bu mekanik testler sonucunda en iyi sonucu veren karışıma nano katkı (TiO_2) ilave edilmiştir. Daha sonra nano katkı ilave edilmiş karışıma miktarı ile çeşidinin değiştiği PVA, cam ve bazalt lifler ayrı ayrı veya karma olarak eklenerek deney setleri oluşturulmuştur. Yaptığı deneylerin sonucunda beton karışımındaki lif oranı arttıkça beton kıvamında ciddi oranda düşüşler görülmüştür. Beton karışımı içine liflerin katılmasının beton basınç dayanımı üzerinde etkisinin az olduğu görülmüştür. Karışımın içerisindeki liflerin miktarı ile doğru orantılı olarak homojen dağılımının azalması sonucu betonda boşluk oranının artışı ile basınç dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. En yüksek basınç dayanım değerlerine 115,87 MPa ile %0 lif içeren referans numuneleri sahip olduğu görülmüştür. Ancak karışım içerisindeki lif miktarının artması eğilme dayanım değerlerini artırttığı görülmüştür.

Salim ve ark. (2019) yapmış oldukları çalışmada betonarme bir kirişin eğilme etkisi sonucu çekme bölgesinden çatlamış kesitine çelik plaka yerine içerisinde kuvars tozuyla karıştırılmış ultra performanslı betondan yapılmış bir levha ile güçlendirmiştir. Deney esnasında kullanılan betonda 0,15 mm çaplı 13 mm ile 6 mm boyları arasında karışımın %6'sı oranında kısa kesilmiş çelik teller kullanılmıştır. Levhalar çatlaklara yapıştırılıp kiriş tekrar yüklendiğinde yüksek dayanım değerlerine ulaşılmıştır.

Jahangiri (2019) yapmış olduğu çalışmada kesme ve eğilme yetersizliğine sahip betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde ultra yüksek performanslı betonların kullanımını araştırmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle ultra performanslı beton malzeme deneyleri yapılmış ve gerçek boyutlu güçlendirme plakaları üretilmiştir. Daha sonra çeşitli

kalınlıklarda üretilen güçlendirme plakalarının deney düzeneğinde iki tekil yük altında deplasman ve birim deformasyon değerleri ölçülmüştür. Bu ön çalışmanın ışığı altında ultra yüksek performanslı betonun kirişlerin eğilme ve kesme dayanımını artırmaya yönelik güçlendirilmesindeki kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yapmış olduğu deneylerde eğilme dayanımı dışarıdan uygulanan UYPB plakalar ile artırılan elemanlarda referans elemanına göre 1,21-2,18 kat aralığında değişen oranlarda artış sağlanmıştır. Yapılan deneyler doğrultusunda en küçük eğilme dayanımı 30 mm kalınlığındaki boyuna donatısız plakayla güçlendirilmiş kirişte, en büyük eğilme dayanımı ise 50 mm kalınlığındaki boyuna donatılı deney elemanında elde edilmiştir. Eğilme dayanımı düşük olacak şekilde tasarlanmış numune ile 30 mm kalınlığa sahip ultra performanslı beton ile güçlendirilmiş numuneyi enerji tüketimi bakımından karşılaştırmıştır. Deney sonucunda ultra performanslı beton ile güçlendirilmemiş numunenin 1,17 kat daha az enerji tüketmiştir.

Kayacık (2022) kısa kolon etkisindeki betonarme çerçevelerin SIFCON panellerle güçlendirilmesini araştırmıştır. Çalışmanın temel amacı ülkemizdeki betonarme yapılarda da çok sık rastlanan kısa kolon etkileri sonucu oluşan kesme hasarlarını önlemek için ultra yüksek performanslı beton ile üretilmiş paneller ile pratik bir güçlendirme yöntemi araştırılmıştır. Araştırma da ülkemizdeki mevcut yapı stokunu temsil edecek şekilde özde iki katlı tek açıklıklı 1/3 ölçeğinde 14 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Çerçevelerde kısa kolon etkilerini oluşturmak için ilk katlarının yükseklikleri, ikinci katlarından daha yüksek üretilmiştir. Ayrıca çerçevelerde ülkemizdeki yapıların zemin ve bodrum katlarında aydınlatma ve havalandırma için açılan bant pencerelere benzer etkilerin ortaya çıkmasını sağlayacak şekilde duvar işçiliği yapılmıştır. Çerçeveler donatı detayları ve geometrik boyutları aynı olacak şekilde üretilmiştir. Çerçevelerin güçlendirilmesi için her tip çerçeve için hacimsel olarak %10 lif oranına sahip, 3 farklı SIFCON güçlendirme panelleri üretilmiştir. SIFCON karışımı içerisinde çekme mukavemeti 1300 MPa ve narinliği 80 olan 0,75 mm çapında, 60 mm uzunluğunda çelik lif kullanılmıştır. Bu çalışmada bant pencerelere montajı yapılan SIFCON paneller hasar bölgesine hasar oluşmadan önce montajlanmıştır, Çalışmada L panel (S1), U panel (S2) ve dikdörtgen panel (S3) olmak üzere üç tip güçlendirme elemanı kullanılmış ve kısa kolon hasarını engellemek üzere en etkin güçlendirme tipinin S3 yani dikdörtgen panel olduğu görülmüştür. Genel olarak kolon kesme kapasitelerinin artırılmasında SIFCON panellerin etkili oldukları görülmüştür. Ayrıca SIFCON

panellerle güçlendirilen çerçevelerin enerji yutma kapasitelerinde de artış gözlemlenmiştir.

Betonarme taşıyıcı sistemler çağımızda en çok tercih edilen yapı sistemlerinden biridir. Betonarme taşıyıcı sistemle inşa edilmiş yapılar imalat hataları, depremler ve zamanın etkisi ile dayanım, rijitlik ve süneklik gibi özelliklerini ekonomik ömürleri dolmadan kaybetmektedirler. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarından kirişler; deprem, rüzgâr ve düşey yüklerin taşıyıcı kolonlara iletilmesini sağlayan yapı elemanıdır. Kirişlerde yetersiz kesme kapasitesi durumunda tehlikeli kesme hasarları oluşabilmektedir. Betonarme kirişlerde kesme hasarının gevrek ve ani bir şekilde olması can ve mal güvenliği açısından tehlike arz etmektedir. Betonarme kirişlerin sünek davranış gösterebilmeleri için güçlendirme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda betonarme yapıların güçlendirilmesi için birçok çalışma yapılmıştır.

Aktan ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmada üç noktalı eğilme altındaki betonarme kirişlerde karbon lifli polimerin (CFRP) etkin ve ekonomik kullanımını araştırmışlardır. Çalışmalarında 150x250x1500 mm boyutlarında 7 adet dikdörtgen kesitli kiriş karbon lifli polimer ile dıştan salgılanarak üç noktalı eğilme deneyine tâbi tutulmuştur. Deney numunelerinin 3 tanesi 1990 yılından önce ülkemizde yapılmış yapıları temsil etmesi amacıyla düşük basınç dayanımına sahip olacak şekilde üretilmiştir. 3 farklı şekilde güçlendirilen kirişlerin göçme mekanizmaları ve eğilme davranışları incelenmiştir. Çalışmada kirişlerin süneklik ve nihai yük açısından CFRP güçlendirilmesinin verimli olabilmesi için beton dayanım değerinin 10 MPa'dan yüksek olması gerektiği gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada kirişlerin alt yüzeyleri ile beraber çekme donatısını içine alacak şekilde 50 mm yüksekliğinde yan yüzeyleri CFRP ile dıştan sargılamış deney numunelerinin sadece kirişin alt yüzeyine CFRP yapıştırılmış olan deney numunelerinden daha etkili olduğu ve dıştan U şeklinde sargılamadan daha ekonomik olduğu gözlenmiştir.

Ling-Zhi Li ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmada yangından zarar görmüş betonarme kirişlerin cıvatalı yan kaplama kullanılarak kesme hasarına karşı güçlendirilmesini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında uluslararası standartlar sıcaklık eğrisine uygun 30 mm beton örtü kalınlığına sahip 200x400 mm kesitli 2600 mm boyutlarında 6 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Üretilen betonarme kirişlerden bir tanesi yangında meydana gelen hasar sonucu yük taşıma kapasitesi, süneklik ve rijitlik değerlerindeki değişimleri karşılaştırmak için referans numune olarak ayrılmıştır. Yangın hasarını oluşturmak için geri kalan beş adet betonarme kiriş 2 saat süresince ateşe maruz

bırakılmıştır. Bu kirişlerden dört tanesi çelik levhalar ve cıvatalar yardımı ile güçlendirilmiştir. Daha sonra tüm kirişler sabit yük altında test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda yangın hasarlı kirişlerin kesme kapasitelerinde, sünekliklerinde ve rijitliklerinde azalış görülmüştür. Yangın hasarı almış kontrol numunesinin yangın hasarı almamış kontrol numunesine göre kesme kapasitesinde %15,94, sünekliğinde %32,03 ve rijitlik değerinde %10,28 azalış görülmüştür. Yan kısımları çelik levhalar ve cıvatalar kullanarak güçlendirilen betonarme kirişlerin süneklik, rijitlik ve taşıma kapasiteleri değerlerinde artışlar görülmüştür. En büyük taşıma kapasitesindeki artış 300 mm yüksekliğindeki ve 100 mm aralıklar ile 3 sıra cıvata kullanılmış levhalar ile güçlendirilen deney numunesinde görülmüştür. Bu deney numunesinde yangın hasarı almış referans kiriş numunesine göre sünekliğinde %692,95, rijitliğinde %42,95 ve kesme kapasitesinde %77,59 artış görülmüştür. Güçlendirilmiş kirişlerin yangın hasarı almamış referans kirişe göre daha büyük süneklik, rijitlik ve taşıma kapasitesi değerlerine ulaştığı görülmüştür. Ayrıca güçlendirilmiş kirişlerin diyagonal çatlakların oluşumunu geciktirdiği görülmüştür.

Abodan (2019) yapmış olduğu çalışmada betonarme kirişlerin kesmeye karşı farklı sarım yöntemi kullanarak bazalt elyaf takviyeli polimer (BFRP) ile güçlendirilmesini araştırmıştır. Çalışmada bir tarafı kesme kapasitesi yeterli, bir tarafı kesme kapasitesi yetersiz olacak şekilde 15x25x200 cm boyutlarında dikdörtgen kesitli 2 adet referans olmak üzere 10 adet kiriş deneyi yapılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında tüm kirişler beton kalitesi C16 olacak ve eğilme taşıma kapasiteleri yeterli olacak şekilde üretilmiştir. Kirişlerin güçlendirilmesinde diğer FRP'ler yerine farklı avantajlara sahip bazalt elyaf kullanılmıştır. Çalışma sonucunda betonarme kirişlerin kesme hasarına karşı güçlendirilmelerinde BFPR kompozitler etkili olduğu gözlemlenmiştir. BFPR kompozitler ile güçlendirilmiş kirişlerde kiriş eğilme rijitliklerinde artışlar ve kesme dayanımına karşılık gelen deplasman değerlerinde azalışlar görülmüştür. Kesme dayanım değerlerinde referans kiriş numunesine göre 45° açıyla tam sarım şerit yöntemi ile güçlendirilen kirişte %89 oranında ve tam sarım kumaş yöntemi ile güçlendirilen kirişte %113,32 oranında artış görülmüştür. BFPR kompozitler ile güçlendirmede en verimli sonuçlar 45° açıyla tam sarım şerit ve tam sarım kumaş yöntemleri ile elde edilmiştir.

Hamad (2021) çalışmasında kesme açısından yetersiz betonarme T kirişleri farklı CFRP konfigürasyonu ile güçlendirilmiş ve güçlendirme etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışma kapsamında 9 adet tablalı kiriş üretilmiştir. Üretilen tablalı kirişlerden bir tanesi tam sargı diğerleri ise parçalı olacak şekilde CFRP ile kesme

hasarına karşı güçlendirilmiştir. Ayrıca çalışmada deney numunelerinden iki tanesinde CFRP güçlendirme elemanları ankrajlama ile kirişlere sabitlenmiştir. CFRP ile güçlendirilen tüm deney numunelerinde referans kirişe göre yük taşıma kapasitelerinde artış görülmüştür. CFRP sargılarının kesme çatlak oluşumunu geciktirdiği görülmüştür. Tablalı kirişin gövde kısmının yan ve alt yüzeyleri ile beraber tabla alt kısmına şeritler halinde CFRP sargılandıktan sonra 45° açıyla fan tipi ankrajlanan deney numunesinin referans kirişe göre 1,37 kat daha fazla rijitlik değerine ulaştığı görülmüştür. Deney sonucunda ise ankrajsız ve tam sargılı olmayan deney numunelerinde CFRP elemanların numuneden ayrıldığı ve kirişlerde hasarların oluştuğu görülmüş, ankraj uygulamalarının önemi vurgulanmıştır. Ayrıca tablalı kirişin gövde kısmını tam saracak şekilde CFRP şeritleriyle sargılanan deney numunesinde diğer deney numunelerine göre %42,10 ile %80 arası daha fazla süneklik değerine ulaştığı görülmüştür.

Al-Shalif (2022) yapmış olduğu çalışmada cam fiber takviyeli polimer kompozit (GFRP) levhalar kullanılarak güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kesme davranışlarını incelemiştir. Kesme göçmesini belirlemek için 9 adet zayıf donatılı tablalı T-kiriş test edilmiştir. 6 kiriş GFRP ile farklı sargılama şekillerinde tek katlı sargılanırken 2 adet kiriş ise 45 ve 90 derecelik farklı açılardan ankrajlar yardımıyla cam fiber malzemeler kullanılarak güçlendirilmiştir. Alternatif güçlendirmeleri kıyaslamak için 1 adet referans kiriş güçlendirilmemiştir. Tablalı kirişlere yük kontrollü olarak simetrik tek düze bir yükleme yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda cam fiber polimer kompozitler kullanılarak güçlendirilen kirişlerde kesme deformasyonlarında azalma sağladığı görülmüştür. Bununla beraber test edilen bazı güçlendirme şekillerinde kırılma modunun kesme hasarı yerine sünek bir davranış ile beraber eğilme hasarından kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sünek eğilme davranışı elde edebilmek için GFRP ile güçlendirme uygulamalarında tam sargılama, U-şekli sargılama, sürekli sargılamanın ve ankrajlarla sabitlenmesinin oldukça önemli olduğu görülmüştür.

Bayrakçı (2022), lif donatılı çimento malzemeler ile güçlendirilmiş konsol betonarme kirişlerin yapısal davranışlarının incelenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapmış olduğu bu çalışmada ülkemizin mevcut yapı stokundan sık karşılaşılan konsol kiriş uygulamalarında kolon-kiriş birleşim bölgelerini etkili ve hızlı bir şekilde lif donatılı betonlar ile güçlendirilmesini araştırmıştır. Çalışma kapsamında 9 adet konsol kiriş deney elemanı üretilmiştir. Lif donatılı betonlar ile üretilen paneller kiriş açıklığı boyunca ve mesnet bölgelerine uygulanmıştır. Lif donatılı beton paneller (LDBP) kiriş elemanlarına ankraj çubukları ve epoksi yardımı ile sabitlenmiştir. Daha sonra deney numuneleri

konsol kiriş uç noktalarından tersinir tekrarlanır yatay yük altında test etmiştir. Çalışma kapsamında kolon-kiriş birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi için üretilen lif donatılı beton karışımı, beton davranışını iyileştirmek için normal beton karışımından farklı olarak çimento bağlayıcı malzemeler içermektedir. Lif donatılı beton karışımı içerisinde su, portland çimento, kum, uçucu küller, beton katkısı ve polivinil alkol lif bulunmaktadır. Güçlendirilmede kullanılan LDB2 panellerin üretiminde LDB1 panellerden farklı olarak çimento miktarı azaltılmışken uçucu kül miktarı arttırılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan güçlendirilmiş elemanların genel olarak süneklik değerleri referans elemana göre düşük çıkmıştır. İki tarafına uzun LDB2 panel yerleştirilmesiyle güçlendirilmiş deney elemanı en yüksek yük taşıma kapasitesine ve oldukça yüksek enerji tüketim seviyesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

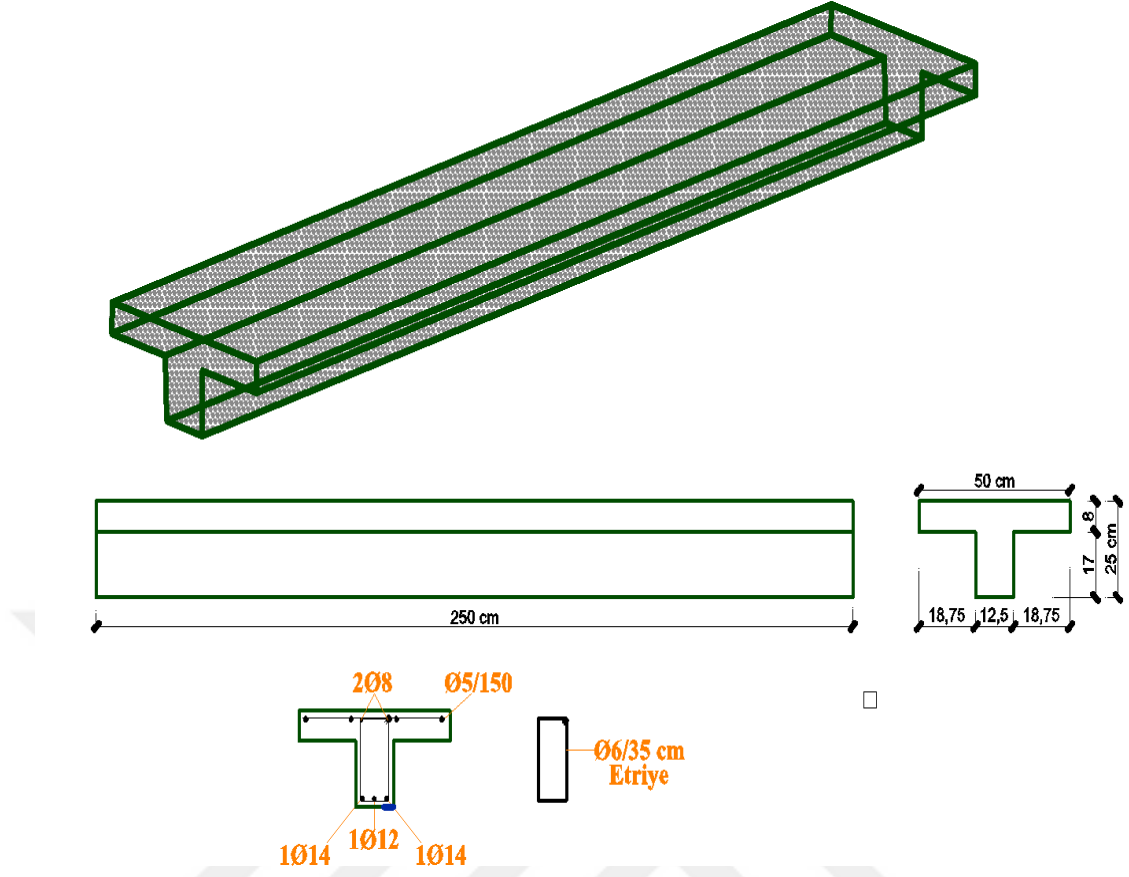
Ali (2022) çalışmasında saplama kiriş uygulamasından dolayı ana kirişte oluşan hasarları ve hasarların önlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında 6 adet numune üretilmiştir. Üretilen numunelerden 2 tanesi ana kirişte hasar alması muhtemel bölgelere FRP malzeme ile güçlendirilerek deneysel olarak incelemiştir. Referans numuneye göre FRP ile güçlendirilen kirişlerin yük taşıma kapasitelerinde artış olduğunu gözlemlemiştir. CFRP ile güçlendirilen kiriş numunesinde referans numuneye göre sünekliğinde % 6,57 azalma olurken başlangıç rijitliğinde % 65,73 ve enerji tüketme kapasitesinde % 17,14 artış görülmüştür. GFRP ile güçlendirilen kiriş numunesinde ise referans numuneye göre sünekliğinde % 10,72 azalma olurken başlangıç rijitliğinde % 113,53 ve enerji tüketme kapasitesinde % 31,90 artış görülmüştür. Çalışmanın önemli bir diğer sonucu olarak ise; sünek davranışın güçlendirilmiş kirişlerden ziyade, donatı yeterliliği saplama kiriş detayına uygun olarak teşkil edilen numunelerde daha iyi olduğu durumudur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Betonarme taşıyıcı sistemlerde oluşabilecek kiriş kesme hasarlarının temsil edebilmesi amacıyla etriye çapları küçük ve aralıkları fazla şekilde 6 adet tablalı kiriş (T kesitli) numunesi üretilmiştir. Yapılarda imalat esnasında döşemeler ile kirişlerin bir dökümü ile kirişler T kesit olarak çalışmakta ve döşemelerin varlığı sebebiyle T kesit kirişler daha zor güçlendirilmektedir. Gerçekte yapı sistematiğine uygunluğu açısından yapılan tez çalışmasında da bu geometrik özelliklere sahip kiriş testlerine yer verilmiştir. Bu numunelerin ve güçlendirmede kullanılacak lifli özel blokların/panellerin malzeme özellikleri, geometrik özellikleri ve üretim şekilleri anlatılmıştır. Kesme dayanımını arttırılacak şekilde lifli özel bloklar ve paneller ile güçlendirilen tablalı kiriş numunelerine hidrolik krikoyu yardımı ile iki tekil yük hız kontrollü bir şekilde uygulanarak test edilmiştir. Daha sonra kesme dayanımına etkileri yük hücresi ve LVDT cihazları ile yapılan ölçümlerden yük-birim deformasyon, dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik performansı yönünden incelenmiştir.

3.1. Deney Numuneleri

Tez çalışmasında kesme dayanımı yeterli olmayan tablalı kesitli donatılı kirişler, kesme hasarına karşı lifli özel bloklar ve paneller ile güçlendirilerek yapı güvenliğine olan katkıları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 6 adet betonarme kiriş deneyi yapılmıştır. Üretilen bütün kiriş numunelerinde boyut ve donatı detayları aynı olacak şekilde ½ ölçekli olarak tasarlanmıştır. Kirişlerin uzunlukları 250 cm, yükseklikleri 25 cm, gövde genişlikleri 12,5 cm ve tabla genişlikleri 50 cm'dir. Kiriş numunelerin boyutları tüm kirişler için Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kiriş numunelerinin boyut ve donatı detayları

Lifli özel blokların ve panellerin kiriş elemanı üzerindeki etkilerini araştırmak için 125x250x2500 mm boyutlarında bir tanesi referans numune olmak üzere toplam 6 adet betonarme kiriş deney numunesi üretilmiştir. Üretilen kirişlerin boyut ve donatı detayları aynıdır. Daha sonra bu kirişler çeşitli şekil ve ebatlarda üretilen lifli özel blokların ve panellerin yüksek mukavemetli epoksi reçinesi ile kiriş ilgili bölgelerine yapıştırılmasıyla güçlendirilmiştir.

Numunelerden ilki yetersiz detaylandırmaya sahip, güçlendirilmemiş referans kiriş numunesidir. Diğer numuneler ve güçlendirme detayları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Deney numunelerinin kurgusu

3.2. Malzeme Özellikleri

3.2.1. Kiriş deney elemanları betonu

Tez çalışması kapsamında üretilen 6 adet betonarme kiriş numunesi için diğer çalışmalar doğrultusunda kesme hasarını net görebilmek adına su/çimento oranı 0,66 olacak şekilde hazır beton kullanılmıştır. Kirişler için beton santralinde Çizelge 3.1’ de verilen malzeme karışım oranlarında beton üretilmiştir.

Çizelge 3.1. Betonarme kirişlerin malzeme karışım oranları

Malzeme adı	Formül miktarı (kg/m ³)	1 m ³ betondaki hacimsel miktar (%)
Portland çimento (Cem 42,5)	300	13,01
Su	198	8,59
0-4 Agregat	1000	43,37
8-16 Agregat	808	35,04
TOPLAM	2306	100

Betonarme kirişlerin beton sınıfını tayin etmek amacı ile beton dökümleri esnasında küp numuneler alınmıştır (Şekil 3.3). Daha sonra termostat kontrollü kür havuzunda bekleyen numunelere yapı laboratuvarında hidrolik pres yardımı ile beton basınç dayanım testleri yapılmıştır (Şekil 3.4). Beton basınç dayanım değerleri Çizelge 3.2’ de gösterilmiştir.





Şekil 3.3 Kirişlerin beton dökümü esnasında alınan küp numuneler



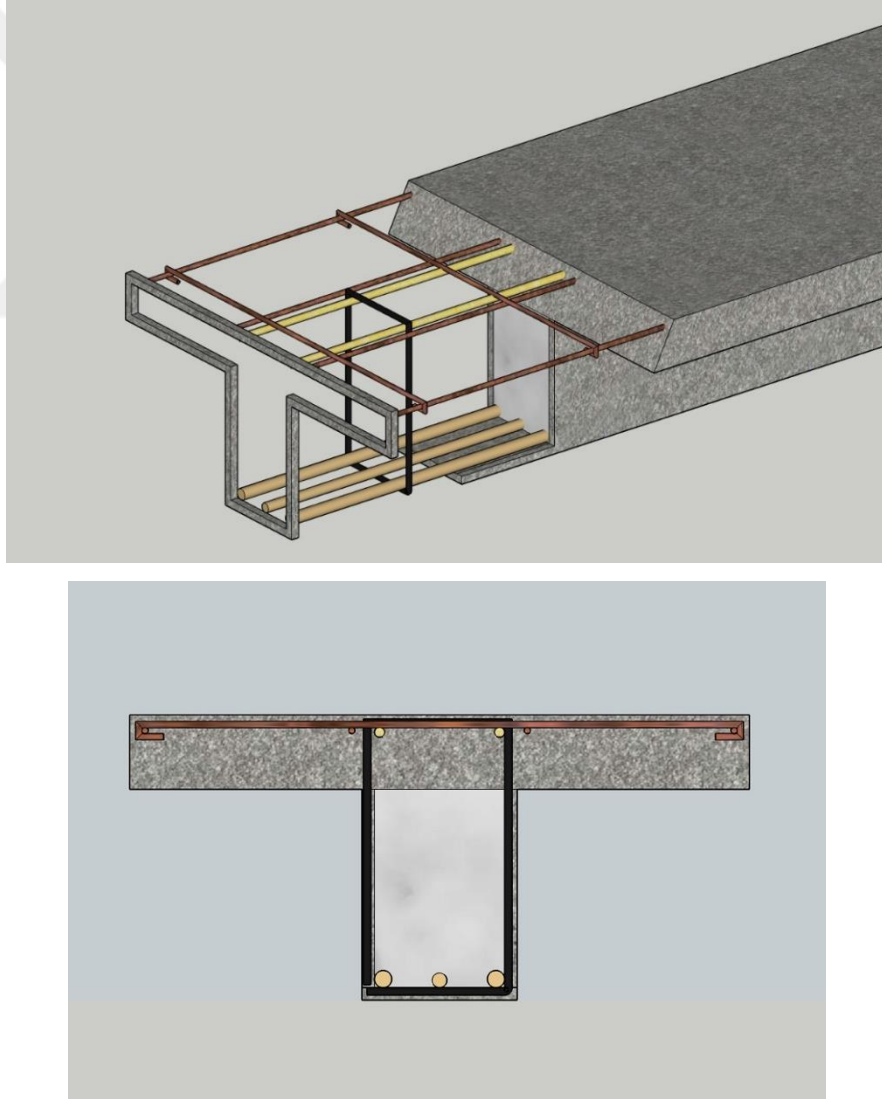
Şekil 3.4 Termostat kontrollü kür havuzu ve hidrolik pres

Çizelge 3.2. Betonarme kirişlerin beton basınç dayanım değerleri

Döküm adı	A						B						C					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Numune yaşı (Gün)	7						7						7					
Birim hacim ağırlığı (gr/cm ³)	2,28	2,29	2,3	2,31	2,3	2,3	2,33	2,33	2,3	2,33	2,34	2,34	2,28	2,28	2,28	2,32	2,34	2,3
Numune kırılma yükü (kN)	505	467	495	676	717	710	488	490	508	686	642	656	490	489	500	662	687	707
Basınç gerilmesi (N/mm ²)	22,4	20,8	22	30	31,9	31,5	21,7	21,8	22,6	30,5	28,6	29,1	21,8	21,8	22,2	29,4	30,5	31,4
Ortalama basınç gerilmesi (N/mm ²)	21,74						22,02						21,91					
Ortalama basınç gerilmesi (15x30 standart silindir cinsinden N/mm ²)	17,39						17,62						17,53					

3.2.2. Kiriş deney elemanları donatı düzeni

Tez çalışması kapsamında üretilen kirişlerde donatı olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY,2018) göre B420C kalitesinde nervürlü çelik çubuklar kullanılmıştır. Betonarme kirişler Türk standartları doğrultusunda; basınç donatısı 2Ø8, çekme donatısı 2Ø14+1Ø12 olacak şekilde dizayn edilmiştir. Kirişlerdeki kesme hasarı oluşumunun amaçlanmasıyla benzer çalışmalar ışığında Ø6 çapında, 35 cm aralıklarla etriyeler kullanılmıştır. Üretimde donatı parametrelerine göre eğilme kapasitesi yeterli kesme kapasitesi yetersiz betonarme kirişler test edilmiştir. Üretilen betonarme kirişlerin donatı detayları Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Betonarme kirişlerin donatı iskeleti Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Üretilen betonarme kirişlerin donatı detayları



Şekil 3.6 Betonarme kirişlerin donatı iskeleti

Donatı iskeletinde kullanılan B420C sınıfı demirlerin firma tarafından yapılan çekme testi sonucu akma ve çekme dayanımları Çizelge 3.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Donatı çeliğinin akma ve çekme dayanım değerleri

Donatı çapı (mm)	Akma dayanımı f_{yk} (MPa)	Maksimum çekme dayanımı f_{su} (MPa)
8	479,8	570,6
12	484,4	568,8
14	492,0	581,3

3.2.3. Güçlendirme elemanı lifli özel blokların ve panellerin betonu

Tablalı kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılacak lifli özel blokların ve panellerin üretiminde kullanılacak beton karışımını belirlerken dikkat edilen başlıca husus çelik lif oranının yüksek olmasıdır. Lifli özel blokların ve panellerin hacimsel olarak %10'u çelik tellerden oluşmaktadır. Bu doğrultuda kullanacak betonun çelik liflerin arasına girebilmesi için ince taneli, akışkan ve yüksek işlenebilirlik özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Literatürde lifli özel blokların ve panellerin betonu için çimentonun yanında silis dumanı, doğal kum, kireçtaşı gibi farklı katkı malzemeleri ve karışım oranları bulunmaktadır.

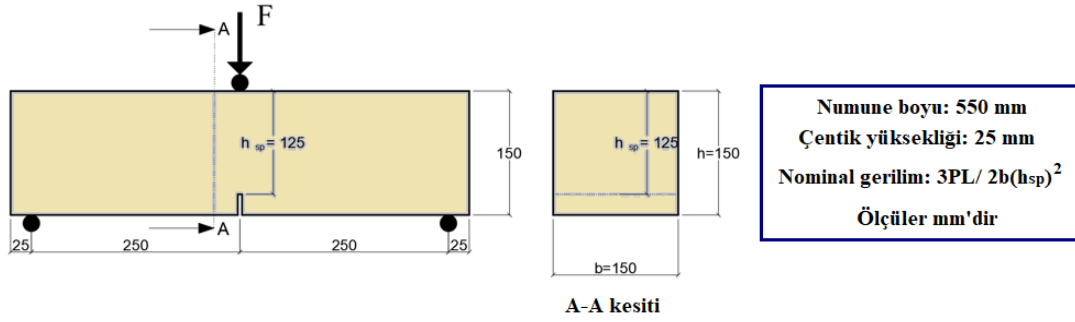
Bu çalışma için Kayacık ve ark. (2023) yaptıkları çalışma ile Kayacık (2022)'ın kısa kolon etkisindeki betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi çalışmasında güçlendirme elemanlarında kullanılan malzemeler ve karışım oranından faydalanılmıştır. Kayacık, karışım oranını belirlerken Elnono ve ark. (2009) ve Mısır (2011)'in çalışmalarında kullandıkları karışım oranlarını denemiş ve beton basınç testlerini yapmıştır. Bu yapılan denemelerin sonucunda literatürden farklı olarak güçlendirme elemanlarının betonu için Çizelge 3.4'deki oranı elde etmiştir.

Çizelge 3.4. Güçlendirme elemanı betonunun karışım oranları Kayacık (2022)

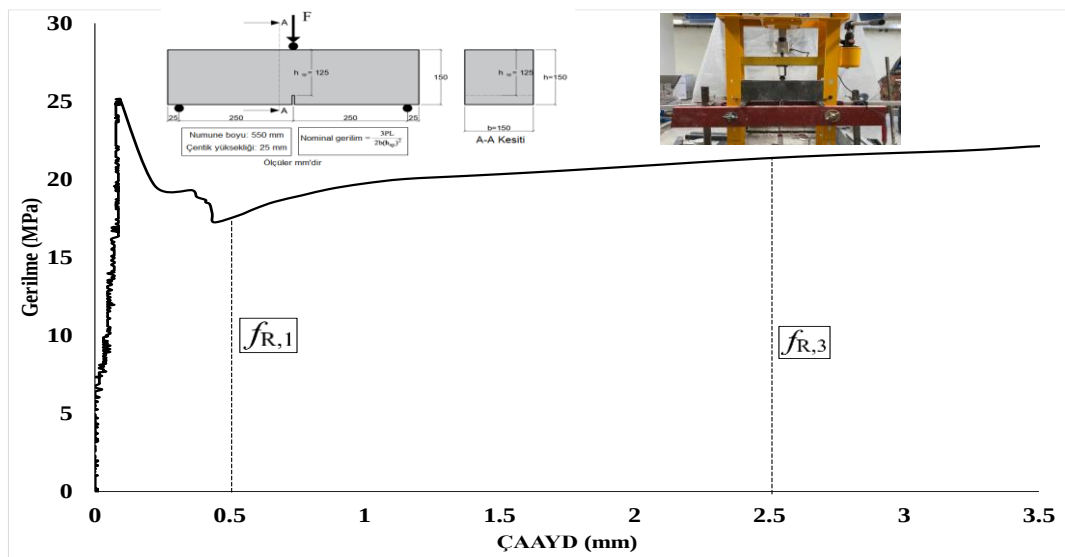
Malzeme adı	Formül miktarı (kg/m ³)	1 m ³ betondaki hacimsel miktar (%)
Portland çimento (CEM 42,5)	900	41,45
Su (su/çimento oranı: 0,40)	360	16,58
0,40 mm İnce kum	900	41,45
Hiperakışkanlaştırıcı katkı (Glenium ACE 30)	11,5	0,53
Toplam	2171,5	100

Kayacık (2022) çalışmasında SIFCON bloklarının mekanik özelliklerini ve çatlak dağılımını incelemek için 15 × 15 × 55 cm boyutlarındaki numunelere eğilme testi yapmıştır. Numune detayları ve deney sonucunda oluşan çatlak görünümü Şekil 3.7.'de verilmiştir. Üç noktalı eğilme deneyi sonucunda kırılma anına kadar numunede önemli bir değişiklik görülmemiştir. Kırılma anından sonra çatlak ağzı açıklığı yer değiştirme (ÇAAYD) ölçümü 0,5 mm oluncaya kadar maksimum yükte düşüş görülmüştür. Daha sonra gerilme değeri ÇAAYD 2,5 mm olana kadar yükselmiştir. Numune içindeki lifler birim yer değiştirme ile beraber yük taşıma kapasitesinde de artış sağlamıştır. Üç nokta

yüklemeye deneyinden elde edilen yer değıştirme değeri ve grafik Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Numune detayları ve deney sonucunda oluşan çatlak görünümü (Kayacık 2022)



Şekil 3.8. Çatlak ağız açıklığı yer değıştirme -gerilim eğrisi (Kayacık 2022)

Bu çalışmaların ışığında üretilen lifli özel blokların ve panellerin betonu için erken ve yüksek dayanımlı CEM II/42,5-R portland çimentosu, ince taneli AFS40/45 temizlenmiş silis kumu, içilebilir özellikte su kullanılmıştır. Çelik liflerin arasına beton şerbetinin iyi yerleşebilmesi için katkı olarak hiperakışkanlaştırıcı Glenium ACE 430 TR tercih edilmiştir. Glenium ACE 430 TR diğer akışkanlaştırıcılara göre betonun çeliğe aderansını, geçirimsizliğini, erken basınç ve çekme dayanımını arttırmaktadır. Glenium ACE 430 TR yüksek oranda su/çimento oranını azaltan polikarboksilik eter esaslı yeni nesil bir süper akışkanlaştırıcıdır. Tez çalışması kapsamında üretilen lifli özel blokların ve panellerin üretiminde kullanılan betonun karışım oranları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

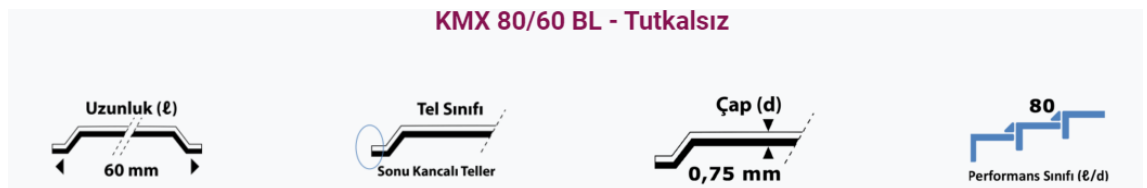
Çizelge 3.5. Lifli özel blokların ve panellerin üretiminde kullanılan betonun karışım oranları

Malzeme adı	Formül miktarı (kg/m ³)	1 m ³ betondaki hacimsel miktar (%)
Portland çimento (CEM 42,5)	900	41,51
Su (S/Ç oranı: 0,40)	360	16,61
0,40 mm İnce kum	900	41,51
Hiperakışkanlaştırıcı katkı (Glenium ACE 430 TR)	8	0,37
Toplam	2168	100

Çizelgedeki karışım oranı kullanılarak üretilen lifli özel blokların ve panellerin beton şerbetinin 28 günlük basınç dayanım değeri $f_{ck} = 35$ MPa olarak ölçülmüştür.

3.2.4. Çelik lif

Lifli özel blokların ve panellerin üretimi esnasında KMX 80/60 BL ticari kodlu, soğuk çekilmiş, çekme mukavemeti 1300 N/mm² olan yüksek mukavemetli, uçları kancalı çelik lifler kullanılmıştır. Çelik lifler 60 mm uzunluğunda ve 0,75 mm çapındadır. Çelik liflerin performans sınıfını gösteren narinlik değeri (l/d) 80’dir. Ayrıca bir lifin hacmi 26,49375 mm³’tür. 4580 adet tel bir kilogramdır. Çelik liflerin özellikleri ve görünümü Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Çelik liflerin özellikleri ve görünümü (URL 2)

3.2.5. Epoksi

Tez çalışması kapsamında üretilen lifli özel blokların ve panellerin T-kiriş yüzeylerine yapıştırılması için yüksek mukavemetli epoksi tercih edilmiştir. İlk olarak lifli özel blokların ve panellerin yüzeylere daha iyi yapışmasını sağlamak için kiriş yüzeylerinin astarlanmasında MapeWrap Primer 1 ürünü kullanılmıştır.

MapeWrap Primer 1 ürünü A ve B şeklinde adlandırılan kullanım esnasında karıştırılan iki bileşene sahiptir. İki bileşenin karışım oranı firma tarafından belirtilen ürün karıştırıldıktan sonra düşük viskoziteli bir sıvı haline gelmektedir. Solvent içermeyen epoksi bazlı bu ürün alt yüzeylerin astarlanması ve güçlendirilmesi için tercih edilmektedir. Ürünün teknik özellikleri Çizelge 3.6’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. MapeWrap Primer 1, epoksi astarının mekanik/fiziksel özellikleri (URL 3)

Açıklama	A bileşeni	B bileşeni
Kıvam	Sıvı	Sıvı
Renk	Transparan sarı	Transparan sarı
Yoğunluk (g/cm ³)	1,12	1
Karışım Oranı	3	1
Çalışılabilirlik süresi		
+10°C		120'
+23°C		90'
+30°C		60'
Priz alma süresi:		
+10°C:		5-6 saat
+23°C:		3-4 saat
+30°C:		2-3 saat
Uygulama sıcaklığı	+10°C ile +30°C arası	
Tamamen prizini alma süresi	7 gün	
Betona yapışma mukavemeti (N/mm ²)	> 3 (+23°C ortam sıcaklığında, 7 günün sonunda betonun çatlaması)	

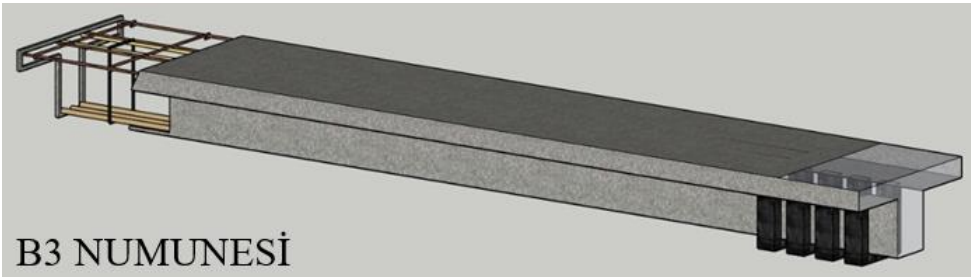
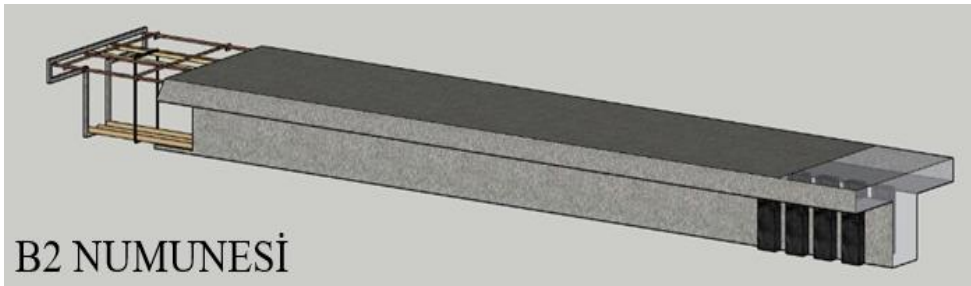
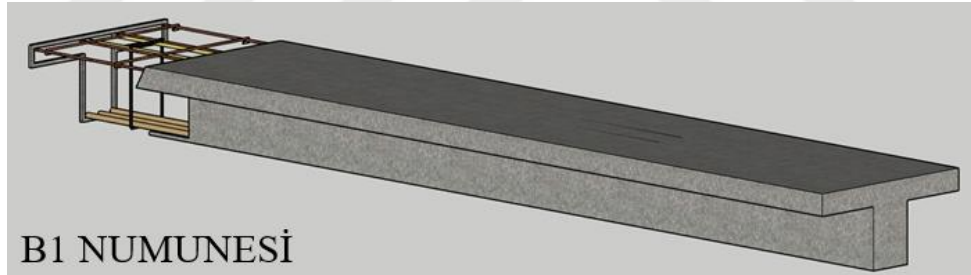
Astar uygulaması yapıldıktan sonra lifli özel blokları ve panelleri kiriş yüzeylerine yapıştırmak için MapeWrap 31T yüksek mukavemetli epoksi kullanılmıştır. MapeWrap 31T ürünü de MapeWrap Primer 1 ürünündeki gibi A ve B şeklinde adlandırılan kullanım esnasında karıştırılan iki bileşene sahiptir. Reçine ve katalizör bileşenlerinin karışım oranı firma tarafından belirtilen ürün karıştırıldıktan sonra jel haline gelmektedir. Solvent içermeyen epoksi bazlı bu ürün sertleştğinde yüksek mukavemet değerlerine ulaşmaktadır. Ürünün teknik özellikleri Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

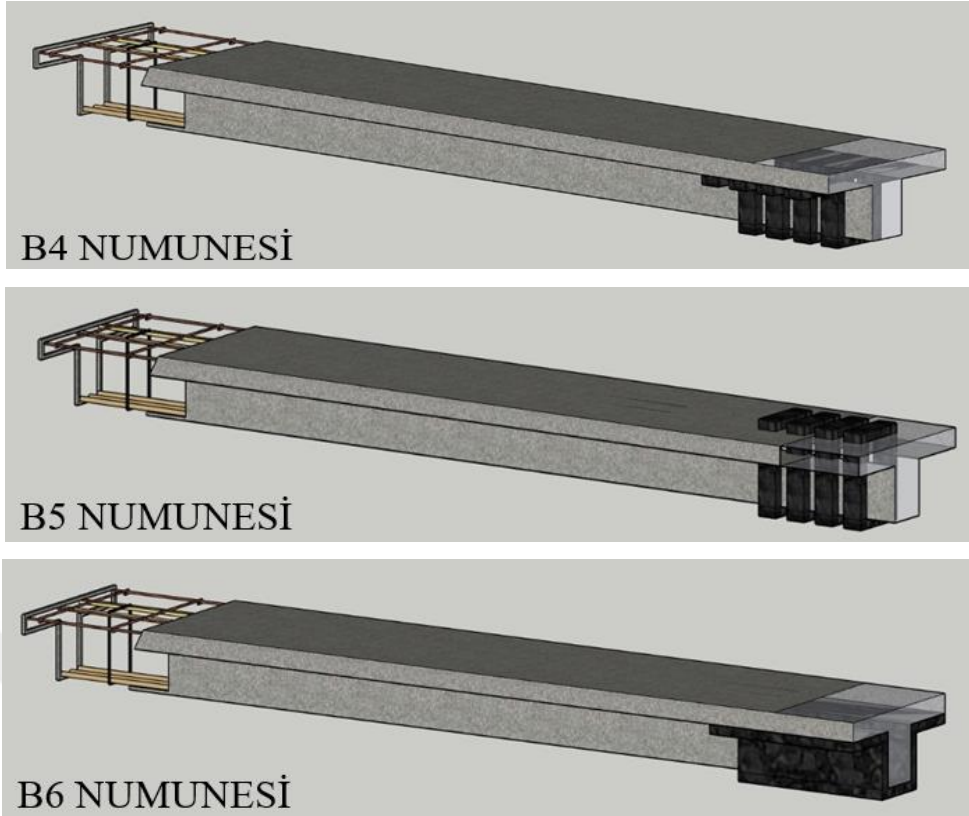
Çizelge 3.7. MapeWrap 31 T, epoksi yapıştırıcının mekanik/fiziksel özellikleri (URL 4)

Açıklama	A bileşeni	B bileşeni
Kıvam	Macun	Macun
Renk	Koyu sarı	Açık sarı
Yoğunluk (g/cm ³)	1,34	1,25
Karışım Oranı	4	1
Çalışılabilirlik süresi: +23°C	50 dakika	
Priz alma süresi: +23°C	4 saat	
Uygulama sıcaklığı	+5°C ile +30°C arası	
Tamamen prizini alma süresi	7 gün	
Betona yapışma mukavemeti (N/mm ²)	> 3 (+23°C ortam sıcaklığında, 7 günün sonunda betonun çatlaması)	
Çekme dayanımı* (ASTM D 638) (N/mm ²):	≥ 20	

3.3. Deney Numunelerinin Üretimi

Deney numunelerinin şematik görünüşleri Şekil 3.10'da verilmiştir. 6 adet betonarme tablalı kesit kiriş numunesinden 1 adeti referans numune olarak seçilmiş, 5 adet kiriş ise farklı geometrik boyutlara ve uygulama ilkelerine sahip lifli özel bloklar/paneller ile prefabrikasyon tipi güçlendirilmiştir.





Şekil 3.10 Deney numunelerinin şematik görüntüleri

3.3.1. Tablalı kiriş elemanlarının üretimi

Tablalı kiriş elemanlarının üretilmesi için ilk olarak 2 adet kalıp hazırlanmıştır. Kalıplar hazırlanırken 2 cm kalınlığındaki plywood parçaları kullanılmıştır. Öncelikle plywood parçaları ile 250 cm uzunluğunda, yükseklikleri 25 cm, gövde genişlikleri 12,5 cm ve tabla genişlikleri 50 cm olacak şekilde T-kiriş kalıpları üretilmiştir. Tablalı kiriş kalıplarının hazırlanması Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Tablalı kiriş kalıplarının hazırlanması

Daha sonra donatı iskeleti Bölüm 3.2.2’de verilen detaylara uygun olarak çekme donatısı $2\text{Ø}14+1\text{Ø}12$, basınç donatısı $2\text{Ø}8$ olacak şekilde teşkil edilmiştir. Laboratuvar testlerinde kiriş kesme hasarının net görülebilmesi için $\text{Ø}6$ çapında 35 cm aralıklara etriyeler bağlanmıştır. Kirişin tabla kısmında Q131 hasır çelik kullanılmıştır. 2,5 cm beton örtü kalınlığını sağlamak için donatı çeliğine plastik pas payları takılmıştır. Kalıplara donatılar yerleştirilmeden önce kalıplar kalıp yağı ile yağlanmıştır. Ardından donatılar kalıplara yerleştirilip döküme hazırlanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Donatıların kalıplara yerleştirilmesi

Donatılar kalıplara yerleştirildikten sonra beton dökümüne başlanmıştır. Beton kova yardımı ile kalıplara dökülmüştür. Betonun iyi yerleşmesi ve betondaki hava boşluklarının giderilmesi için döküm esnasında vibrasyon işlemi uygulanmıştır. 6 adet tablalı kiriş 3 ayrı döküm ile imal edilmiştir. Beton döküm aşamaları Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Döküm işleminden 2 gün sonra tablalı kirişler kalıplardan sökülümüştür (Şekil 3.14).



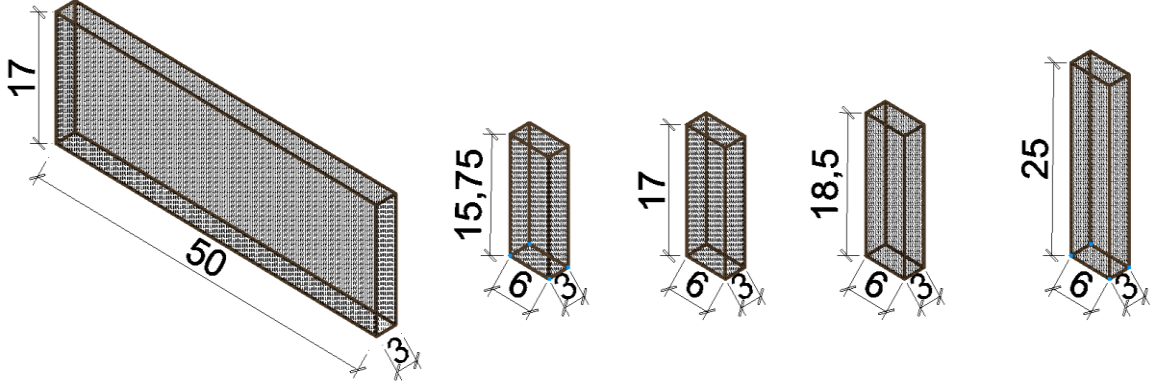
Şekil 3.13 Beton döküm aşamaları



Şekil 3.14 Üretilen tablalı kiriş numuneleri

3.3.2. Lifli özel blokların ve panellerin üretimi

Tablalı kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılacak lifli özel blokların ve panellerin üretimi için öncelikle güçlendirme elemanlarının boyutları ve adetleri belirlenmiştir. Blokların boyutları ve adetlerinin belirlenmesinde Şekil 3.2'deki deney numune kurgusunda belirtilen farklı güçlendirilme şekillerinden yararlanılmıştır. Üretilen lifli özel blokların ve panellerin ebatları ve şematik şekilleri Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Çizelge 3.8'de numune şekillerine göre kullanılan güçlendirme elemanlarının boyutları ve toplam adetleri verilmiştir.



Şekil 3.15 Lifli özel blokların/panellerin ebatları ve şematik şekilleri

Çizelge 3.8. Üretilen lifli özel blokların/panellerin boyutları ve adetleri

Numune	En (cm)	Kalınlık (cm)	Yükseklik (cm)	Adet
B2	6	3	17	16
B3	6	3	17	16
	6	3	18,5	8
B4	6	3	17	16
	6	3	18,5	8
	6	3	15,75	16
B5	6	3	18,5	16
	6	3	25	16
B6	50	3	17	4
	50	3	18,5	2
	50	3	15,75	4

Lifli özel blokların/panellerin üretiminde kullanılacak betonun slumpı çok yüksek olduğu ve çelik liflerin arasına beton şerbetinin iyi yerleşmesi için vibrasyon işlemi uygulanacağından dolayı çelik kalıplar imal edilmiştir. Kalıplar hazırlanırken öncelikle yüksekliği fazla olan bloklardan başlanmıştır. Ayrıca çelik kalıplar kaynaklandıktan sonra beton şerbetinin akmaması için kalıp iç kısımlarına silikon çekilmiştir. Üretilen çelik kalıplar Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Lifli özel blokların ve panellerin üretiminde kullanılan kalıplar

Lifli özel bloklar/paneller için beton karışımı hazırlanmadan önce blokların/panellerin çelik kalıplardan kolay ayrılması ve kalıptan sökümü sırasında yüzeylerinin istenilen düzgünlükte kalmasını sağlamak için ince bir tabaka halinde kalıp yağ uygulanmıştır. Daha sonra kalıp yağ uygulanan çelik kalıplara çelik lif yerleştirme aşamasına geçilmiştir. Çelik liflerin tüm lifli özel blokların/panellerin içinde belirlenen miktarda, eşit ve homojen şekilde olmasını sağlamak amacı ile çelik lif matrisi şeklinde yerleştirilmiş, beton karışım içine atılmamıştır. Yerleşimde lifler kalıplara paralel yönde serilmiştir. Bu doğrultuda farklı ebatlardaki her bir lifli özel bloklar ve paneller için hacimlerinin %10'una tekabül eden çelik lif miktarı belirlenmiştir. Her blok ve panel ebattı için belirlenen çelik lif miktarı hassas terazi yardımı ile tartılarak hazırlanmıştır. Daha sonra kalıplara çelik lifler tek doğrultuda yerleştirilmiştir. Kalıplara çelik lif yerleştirme aşamaları Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Kalıplara çelik lif yerleştirme aşamaları

Blok ve panel kalıplarına çelik lifler yerleştirildikten sonra Çizelge 3.5.'te belirtilen beton karışım oranlarına göre lifli özel blokların/panellerin beton karışımı hazırlanmaya başlanmıştır. Toplam kullanılacak beton miktarına göre karışım oranı belirlenmiş, kum, çimento, su, katkı gramajları hesaplanmıştır. İlk etapta 1/1 karışım oranına sahip ince taneli kum ve CEM II/42,5-R portland çimentosu belirlenen miktarlarında terazide tartılarak bir kova içerisine alınmıştır. Karıştırıcı yardımı ile kuru karışım 5 dakika karıştırılmıştır. Kum ve çimento iyice karıştıktan sonra hesaplanan

miktarlarda kullanılacak su ve katkı tartılarak bir kap içinde karıştırılmıştır. Daha sonra karıştırma işlemi devam ederken kuru karışımın içine yavaş yavaş su ve katkı karışımı eklenmiştir. Homojen bir karışım elde edene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Lifli özel blokların ve panellerin beton karışımının hazırlanma aşamaları Şekil 3.18’de gösterilmiştir



(a) Kuru Karışım

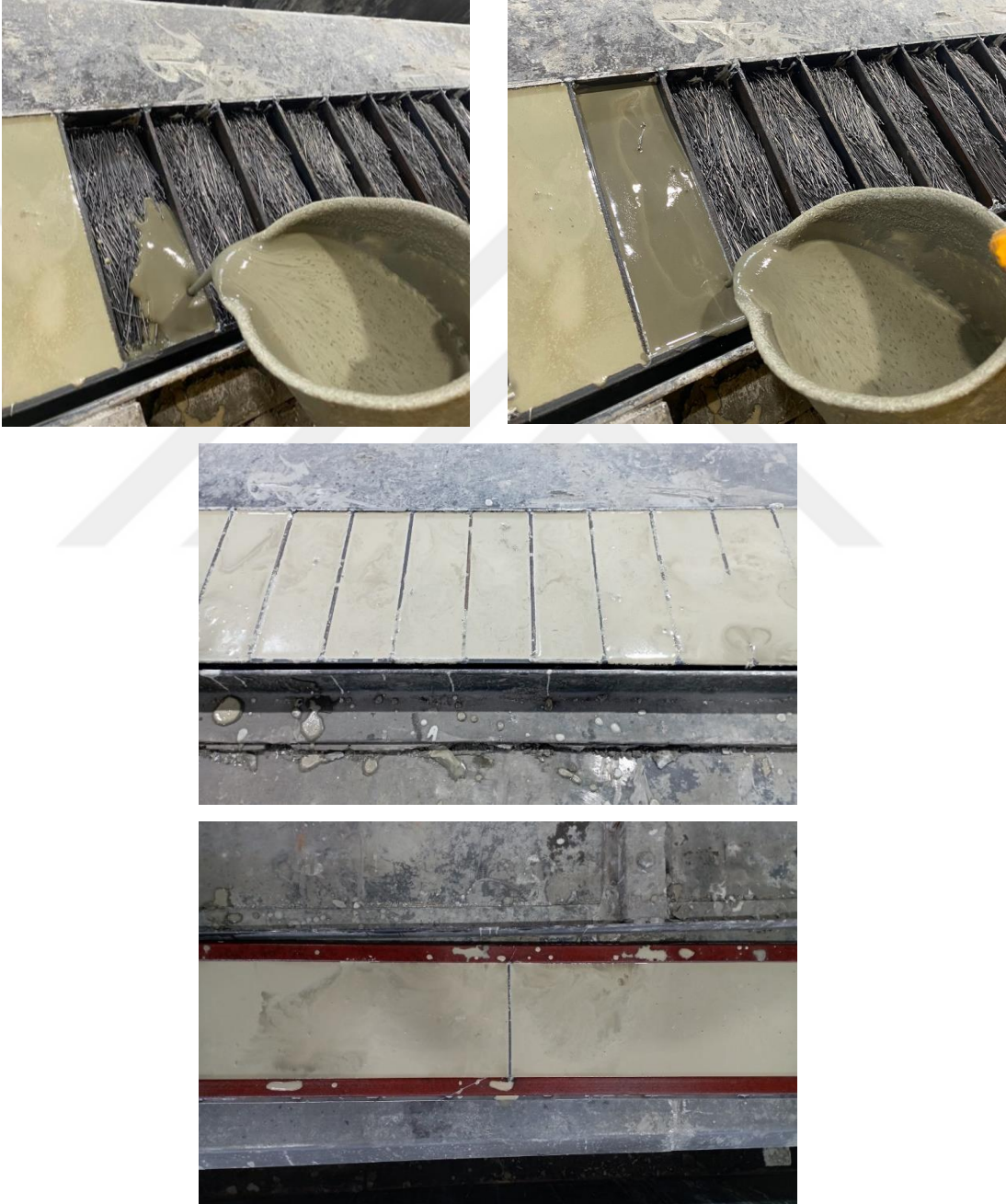


(b) Yaş Karışım



Şekil 3.18 Lifli özel blokların ve panellerin beton karışımının hazırlanma aşamaları (a) kuru karışım, (b) yaş karışım

Beton karışımı kalıplara yerleştirilirken kalıpların köşelerinden yavaş yavaş dökülmüşlerdir. Yüksek miktarda çelik lif içeren kalıplara beton dökümü yapılırken betonun iyi yerleşmesi ve hava boşluklarının minimuma indirilmesi için yüksek frekanslı elektrikli vibratörler yardımı ile kalıplara vibrasyon uygulanmıştır. Kalıplara beton dökümü yapılırken karışım betonundaki malzeme ayrışmalarına karşı karıştırılmaya devam edilmiştir. Beton karışımının kalıplara dökülmesi Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Beton karışımının kalıplara dökülmesi

Tüm lifli özel blokların ve panellerin kalıplarına beton dökümü tamamlandıktan sonra blokların kalıcı mukavemet değerlerine erken ulaşmasını sağlamak için bloklara buhar kürü uygulanmıştır. Buhar kürüne başlamadan önce dökülen betonun hidratasyona başlaması ve biraz priz alması beklenmiştir. Daha sonra bloklara +100 °C sıcaklığında 3 saat buhar kürü uygulanmıştır. Lifli özel bloklar ve paneller dökümlerinden 24 saat sonra çelik kalıplar kesilerek çıkarılmıştır. Lifli özel blokların ve panellerin kalıplardan söküm işlemi Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Kalıplardan sökülen lifli özel bloklar ve paneller Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



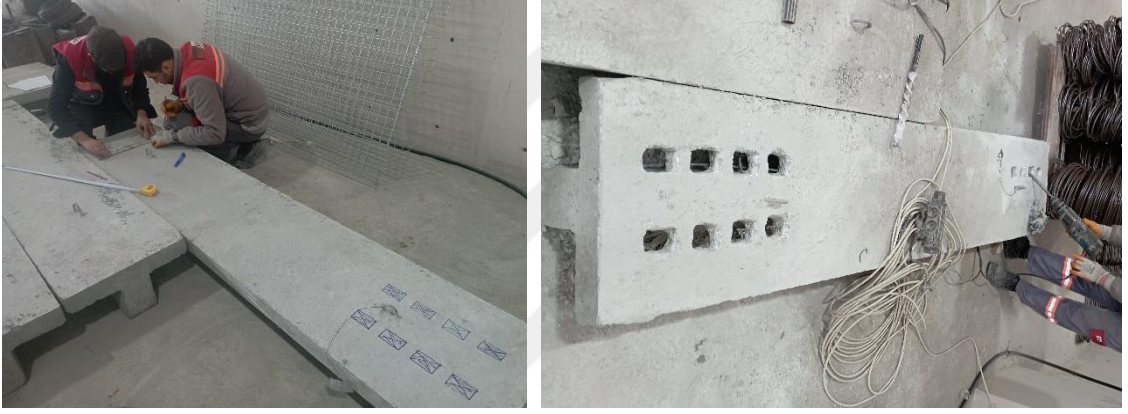
Şekil 3.20 Lifli özel blokların ve panellerin kalıplardan söküm işlemi



Şekil 3.21 Kalıplardan sökülen lifli özel bloklar ve paneller

3.3.3. Lifli özel blokların ve panellerin tablalı kirişlere yapıştırılması

Kiriş ve lifli özel blokların/panellerin üretimleri tamamlandıktan sonra Bölüm 3.1’de belirlenen şekilde güçlendirme işlemlerine başlanmıştır. Öncelikle sarılma bölgesinde kiriş gövde kısmını tam sargılayacak şekilde güçlendirilecek B5 numunesini oluşturmak için lifli özel blokların yapıştırılacakları kısımlar işaretlenmiştir. Lifli özel blokların içinden geçeceği kiriş üst kısımları kırılmıştır (Şekil 3.22). B5 numunesinde lifli özel bloklarla güçlendirilecek kısımların imalat aşamasında boş bırakılmayıp beton dökümü yapıldıktan sonra kırılmasının sebebi pratikte uygulanacağı biçimde test etmek içindir.



Şekil 3.22 B5 numunesinin hazırlanması

Daha sonra lifli özel blokların ve panellerin kirişlere daha iyi yapışmasını sağlamak için güçlendirme şekline göre kiriş yüzeyleri taşlama makinesi yardımı ile zımparalanmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Kiriş numunelerinin yüzeylerinin zımparalanması

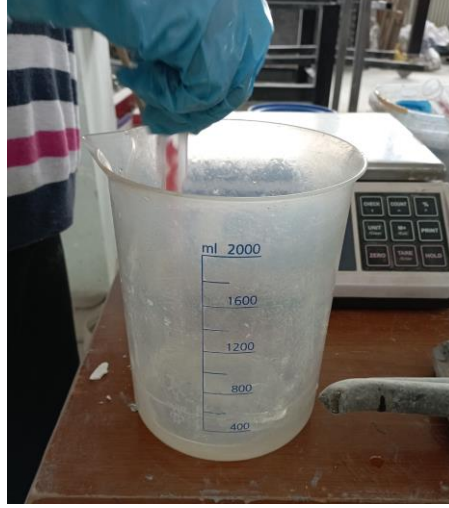
Lifli özel blokların ve panellerin yapışacakları kiriş yüzeylerinin zımparalanma işlemi bittikten sonra yüzeydeki tozlar hava tabancası ile temizlenmiştir. Güçlendirme aşamasına başlamadan önce tablalı kiriş yüzeylerine lifli özel blokları ve panelleri kolay yapıştırmak için güçlendirilecek kirişler dikkatlice ters çevrilmiştir (Şekil 3.24). Daha sonra lifli özel bloklar güçlendirme şemasına göre gruplandırılarak ayrılmış (Şekil 3.25) ve yüksek mukavemetli epoksi ile yapıştırma aşamasına geçilmiştir. Yüksek mukavemetli epoksi karışımı hazırlanmadan önce lifli özel blokların/panellerin ve tablalı kirişlerin yapışma yüzeylerine uygulanmak üzere epoksi astar karışımı hazırlanmıştır (Şekil 3.26). A ve B bileşeninden oluşan epoksi astarı üreticinin teknik veri sayfasında belirttiği gibi 3/1 oranında tartılarak karıştırılmıştır. Hazırlanan epoksi astar karışımı bir fırça yardımı ile lifli özel blokların/panellerin ve tablalı kirişlerin yapışma yüzeylerine ince bir tabaka şeklinde uygulanmıştır (Şekil 3.27).



Şekil 3.24 Tablalı kiriş numunelerinin ters çevrilmesi



Şekil 3.25 Lifli özel blokların kiriş güçlendirilme şekillerine göre gruplandırılması



Şekil 3.26 Epoksi astar bileşenlerinin karıştırılması

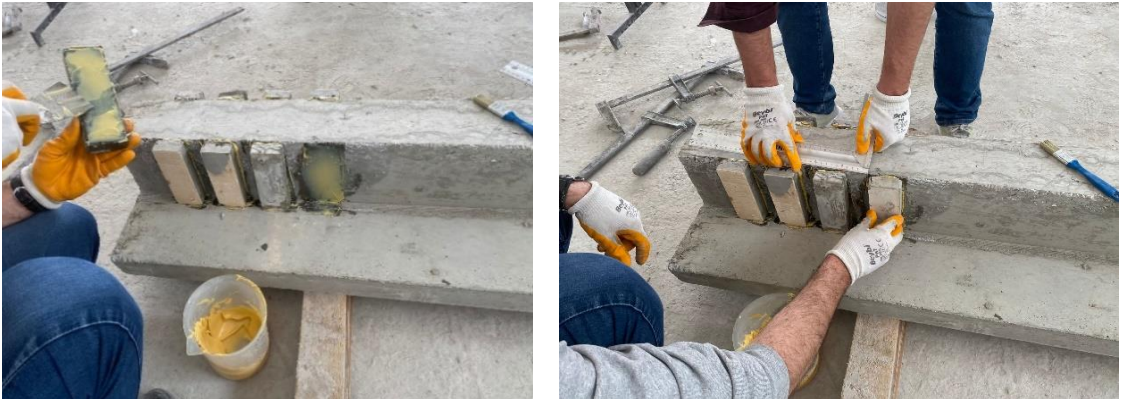


Şekil 3.27 Kiriş ve blok yüzeylerine epoksi astarının uygulanması

Kiriş yüzeylerinin astarlama işlemi tamamlandıktan sonra yüksek mukavemetli epoksi karışımı hazırlanmaya başlanmıştır. Karıştırma oranı önceden ayarlanmış yüksek mukavemetli epoksi 4/1 karışım oranına sahip A ve B bileşeninden oluşmaktadır. A bileşeni 4 kg ve B bileşeni 1 kg olacak şekilde 5 kg'lık setler halinde paketlenmiş yüksek mukavemetli epoksinin işlenebilirlik süresinin kısıtlı olması sebebi ile tüm set tek seferde karıştırılmamıştır. Bu doğrultuda işlenebilirlik süresi dikkate alınarak toplam karışım miktarı ayarlanmıştır. Hassas terazi yardımı ile A ve B bileşenlerinin dozaj miktarları ayarlanarak karıştırma işlemine geçilmiştir. Bir matkaba karıştırma aparatı takılarak plastik kap içerisinde homojen bir karışım elde edilene kadar yavaş hızda karıştırma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.28). Elde edilen yüksek mukavemetli epoksi karışımı bir spatula yardımı ile epoksi astarı sürülen yüzeylere uygulanmıştır (Şekil 3.29). Güçlendirme elemanlarının kiriş kesme kritik bölgesine yerleştirilmelerinin ardından elde edilen güçlendirilmiş betonarme kiriş deney numuneleri Şekil 3.30 - Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



Şekil 3.28 Yüksek mukavemetli epoksi karışımının hazırlanması





Şekil 3.29 Lifli özel blokların ve panellerin yüksek mukavemetli epoksi ile tablalı kiriş yüzeylerine yapıştırılması



Şekil 3.30 B2 deney numunesi



Şekil 3.31 B3 deney numunesi



Şekil 3.32 B4 deney numunesi



Şekil 3.33 B5 deney numunesi

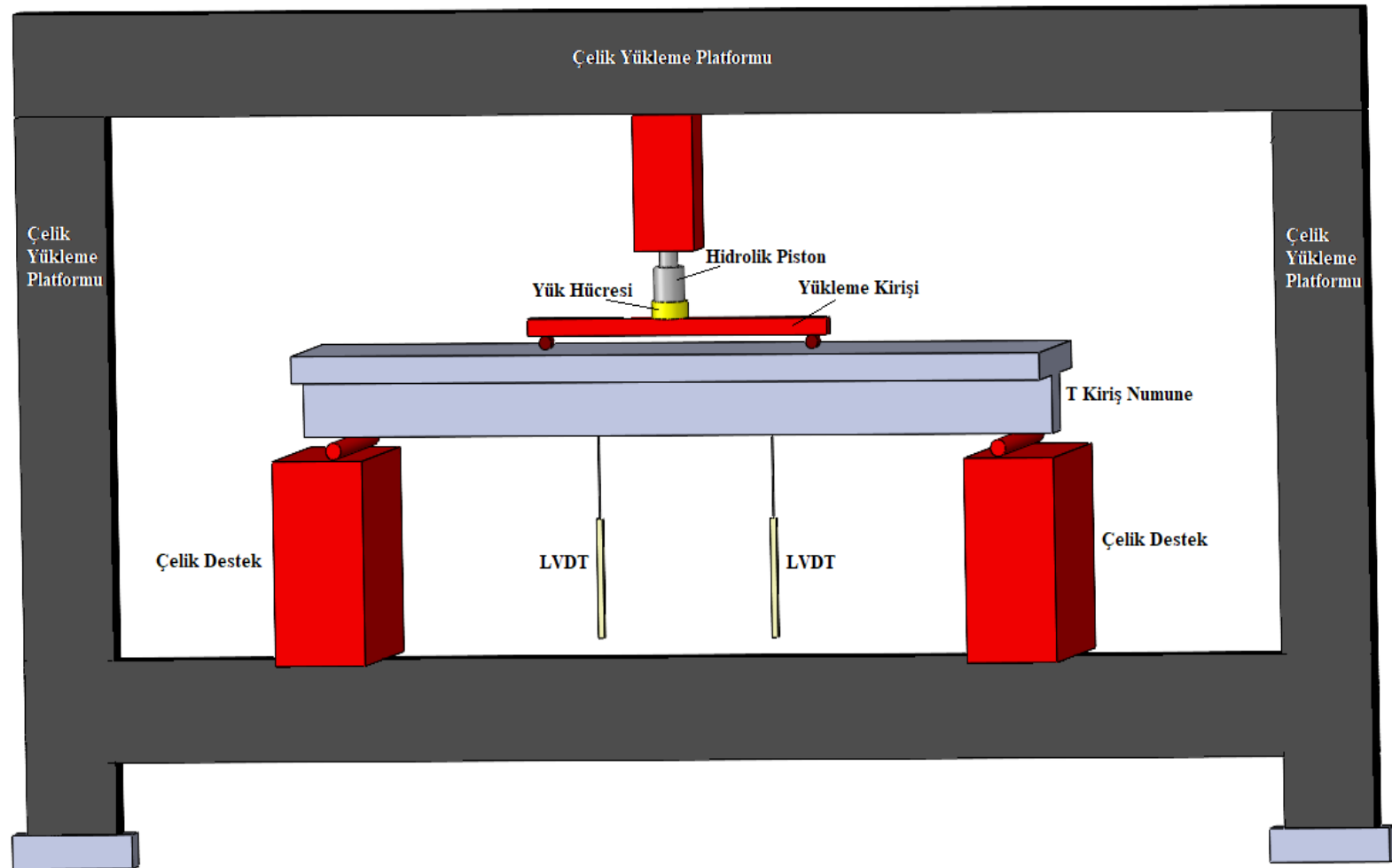


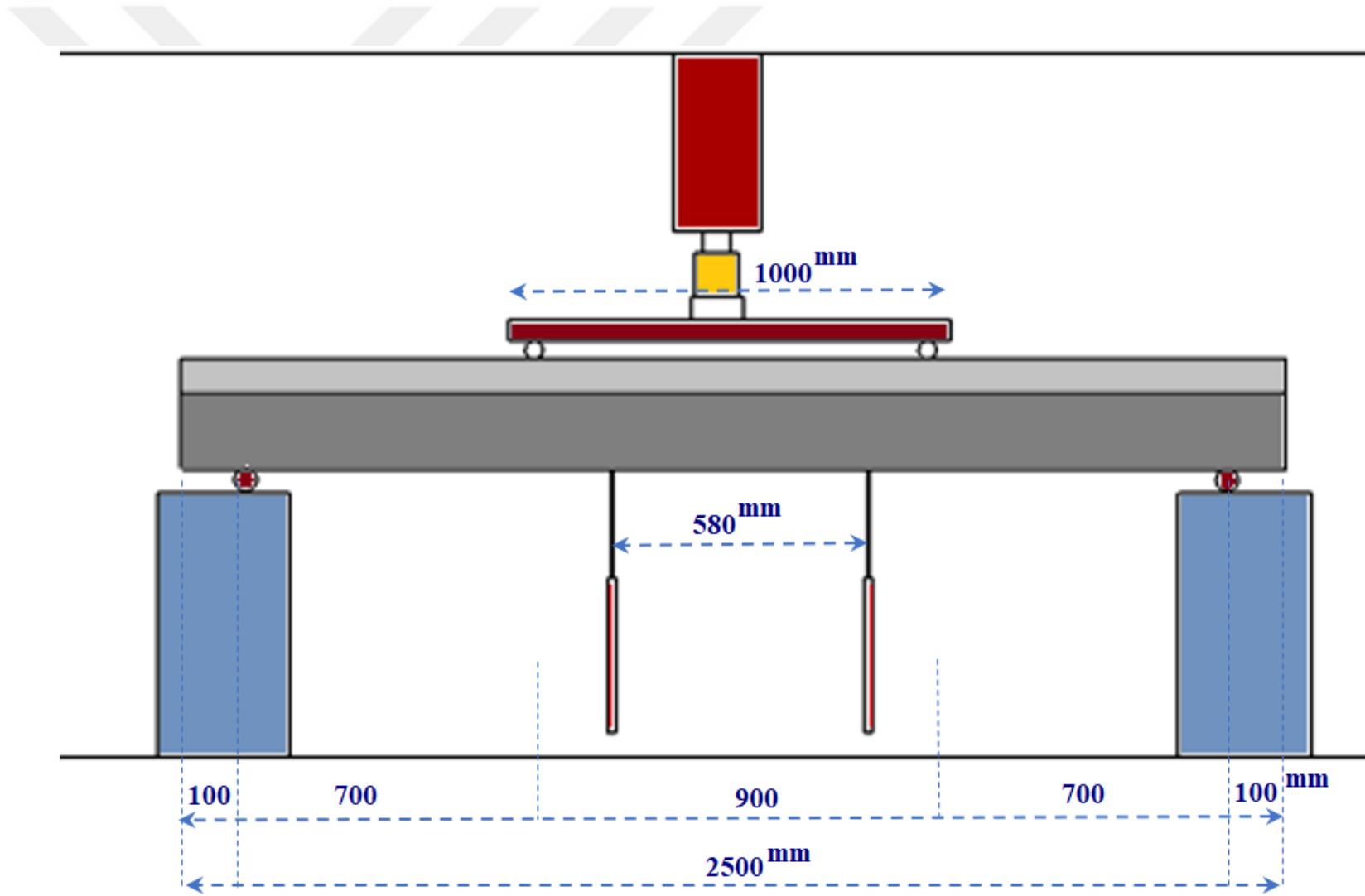
Şekil 3.34 B6 deney numunesi

4. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇME TEKNİĞİ

Tablalı kirişlere lifli özel blokların ve panellerin yüksek mukavemetli epoksi ile yapıştırılmasının ardından epoksi reçinesinin 7 günlük tamamen priz alma süresi beklenmiştir. 7 gün sonunda kiriş deneyleri Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı ve Deprem Laboratuvarında yapılmıştır. Kirişler deney düzeneğine uç noktalarından 10 cm içeride olacak şekilde sabit mesnetlenmiştir. Üretilen kirişlere hidrolik krika yardımı ile iki tekil yük hız kontrollü bir şekilde uygulanarak test edilmiştir. Kirişlerin sarılma bölgelerinde kesmenin sabit, orta bölgelerinde ise kesmenin olmaması ve momentin sabit kalması için kirişlerin simetrik olarak merkezlerine denk gelecek şekilde üstlerine 100 cm uzunluğunda dolu gövdeli çelik yükleme kirişi konulmuştur. Bu çelik yükleme kirişi, hidrolik krika yardımıyla verilen yükün iki eşit tekil yük ($P/2$) olacak şekilde deney elemanlarına iletilmesini sağlamıştır. Tablalı kirişlerde hasar ortaya çıkıncaya kadar sabit hız ile verilen yük miktarı çelik yükleme kirişinin merkezine konulan yük hücresi yardımı ile ölçülmüştür. Yükleme esnasında tablalı kirişlerde meydana gelen deplasman değerlerini hassas şekilde ölçmek için 2 adet lineer değişken diferansiyel transformatör (LVDT- Linear Variable Differential Transformer) cihazları kullanılmıştır. LVDT cihazları tablalı kirişlerin orta bölgesine yerleştirilmiştir. Kiriş deneylerinde kullanılan hidrolik krika 300 kN kapasitesine sahiptir. Verilen yük miktarını ölçmeye yarayan yük hücresi 10-300 kN kapasiteye sahiptir. Deneyler esnasında deplasman değerlerini ölçmek için kullanılan 2 lineer değişken diferansiyel transformatörün (LVDT) hassasiyeti 0.001 mm kapasitesi 350 mm'dir.

Kesme dayanımları artırılacak şekilde lifli özel bloklarla/panellerle güçlendirilen kirişler yük hücresi ve LVDT cihazları ile yapılan ölçümlerden yük-birim deformasyon, enerji tüketimi, rijitlik ve dayanım değerleri yönünden incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Lifli özel blokların ve panellerin kesme dayanımına etkilerini incelemek için yük deplasman eğrilerinden yararlanılmıştır. Deney düzeneği şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.





Şekil 4.1 Deney düzeneği şeması

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde kesmeye karşı lifli özel bloklar/paneller ile güçlendirilmiş tablalı kirişlere uygulanan deneyler ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Tablalı kirişlere iki tekil yük hız kontrollü bir şekilde kirişler taşıma kapasitesine ulaşmaya kadar uygulanmıştır. Kirişlere uygulanan yükler yük hücresi ile, deplasman değerleri ise LVDT cihazları ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerden güçlendirme performansları numunelerde oluşan hasarlar ve numunelerin yük-birim deformasyon, süneklik, enerji tüketimi, başlangıç rijitliği ve dayanım değerleri ile incelenmiştir.

5.1. Deney Sonuçları

5.1.1. B1 numunesi deneyi (Referans numunesi)

B1 referans numunesi lifli özel bloklar ve paneller ile güçlendirilmemiş tablalı kiriş numunesidir. B1 deney elemanı tablalı kirişlerin lifli özel bloklar ve paneller ile güçlendirilmesinin etkisini karşılaştırmak için 2 tekil yük altında test edilmiştir. B1 referans numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 B1 referans numunesinin yükleme öncesi görüntüsü

Kesme hasarı meydana gelecek şekilde tasarlanmış tablalı kiriş kırılana kadar hız kontrollü hidrolik kriko ile yüklenmiştir. Yükleme sonucunda B1 referans numunesi beklenildiği gibi sarılma bölgesinden belirgin kesme hasarı alıp göçmüştür. B1 referans numunesinin yükleme sonrası görüntüsü Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 B1 referans numunesinin yükleme sonrası görüntüsü

Deney sonucunda T-kirişte oluşan çatlaklar çatlak ölçer yardımı ile ölçülmüştür ve oluşan çatlaklar daha iyi görünmesi için renkli kalem ile çizilmiştir (Şekil 5.3).



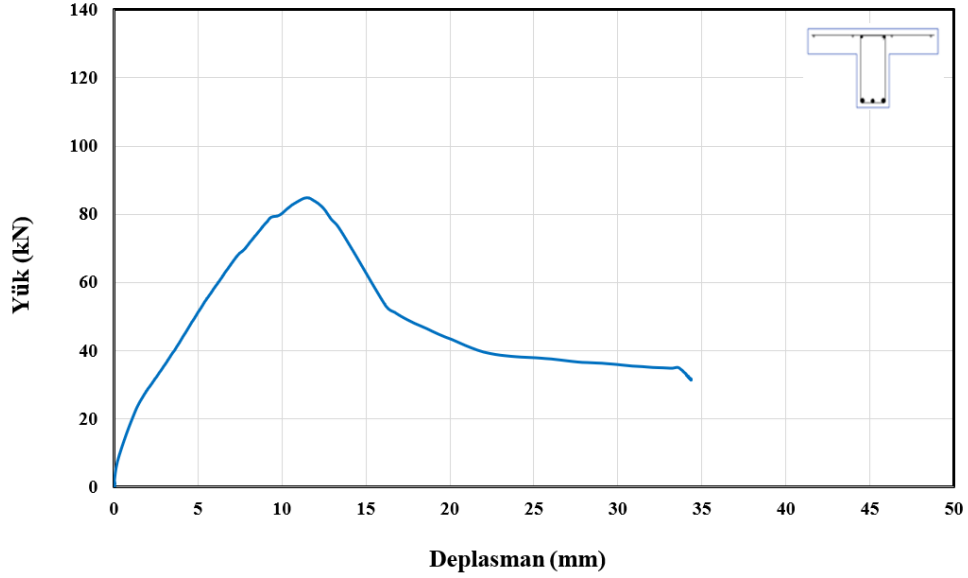
Şekil 5.3 Çatlakların ölçülmesi

B1 referans numunesi 84,865 kN yük kapasitesine ulaşmıştır. Ulaşılan maksimum yük değerinde LVDT'ler aracılığıyla ölçülen deplasman değeri 11,628 mm'dir. Tablalı kirişin sağ mesnetinde belirgin kesme çatlağı oluşumu gözlenirken sol mesnetinde ise 0.7 mm genişliğinde kesme çatlağı gözlemlenmiştir. B1 referans numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4 B1 referans numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlaklar

Deney esnasında yük hücresi ve LVDT cihazlarından okunan yük ve deplasman verileri bilgisayara kaydedilmiştir. Kaydedilen yük ve deplasman verilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için yük – deplasman grafiği çizilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 B1 referans numunesinin yük-deplasman grafiği

5.1.2. B2 numunesi deneyi

Tablalı kirişin sarılma bölgesinde sadece gövde kısmının yan yüzeylerine 4 cm aralıklar ile 6 cm genişliğinde 3 cm kalınlığında her yan yüzeye 4 adet toplam 16 adet lifli özel bloğun prefabrikasyon olarak yapıştırılması ile oluşturmuş B2 numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 B2 numunesinin yükleme öncesi görüntüsü

Yükleme sonucunda B2 numunesi sarılma bölgesinde, güçlendirme bloklarının bitiminden itibaren belirgin kesme hasarı alıp göçmüştür. B2 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 B2 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü

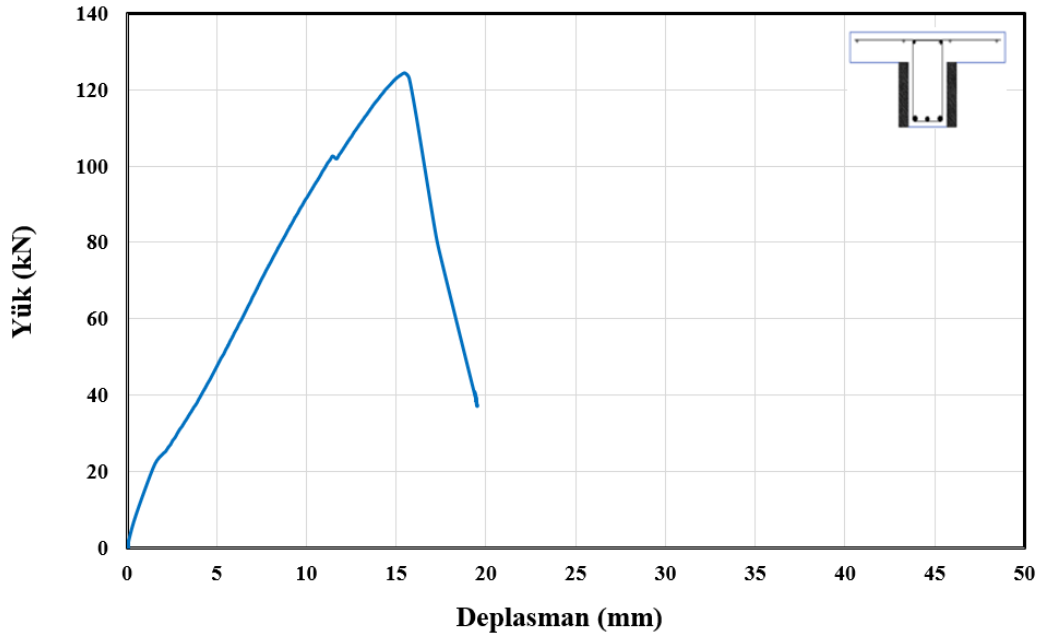
B2 numunesi 124,255 kN yük kapasitesine ulaşmıştır. Ulaşılan maksimum yük değerinde ölçülen deplasman değeri 15,478 mm'dir. Tablalı kirişin sol mesnetinde belirgin kesme çatlağı oluşumu gözlenirken sağ mesnetinde ise 0.8 mm genişliğinde kesme çatlağı gözlemlenmiştir. Kiriş tabla kısmında basınç çatlakları ve tablada kırılma gözlemlenmiştir. Deney esnasında lifli özel blokların kiriş yüzeyinden ayrılmadıkları gözlemlenmiştir. B1 referans numunesine göre B2 deney numunesinin yük taşıma kapasitesinin %46,41 arttığı gözlemlenmiştir. B2 numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 5.8'de verilmiştir.





Şekil 5.8 B2 numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlaklar

B2 deney numunesinin yük-deplasman grafiği Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9 B2 numunesinin yük-deplasman grafiği

5.1.3. B3 numunesi deneyi

Tablalı kirişin sarılma bölgesinde gövde kısmının yan ve alt yüzeylerine 4 sıra halinde 4 cm aralıklar ile 6 cm genişliğinde 3 cm kalınlığında toplam 24 adet lifli özel bloğun yapıştırılması ile oluşturmuş B3 numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



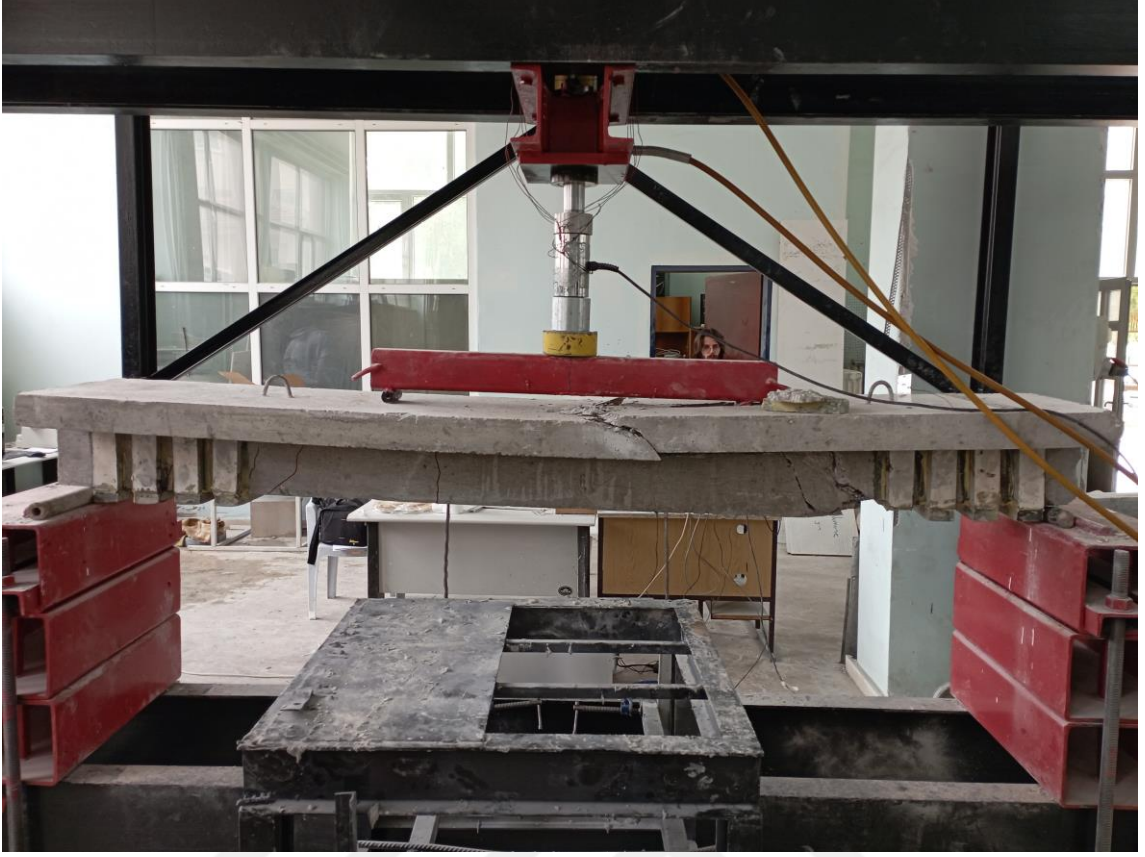
Şekil 5.10 B3 numunesinin yükleme öncesi görüntüsü

Yükleme sonucunda B3 numunesi sarılma bölgesinden güçlendirme bloklarının bittiği kısım itibarıyla kiriş yüzeyinden belirgin kesme hasarı alıp göçmüştür. B3 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



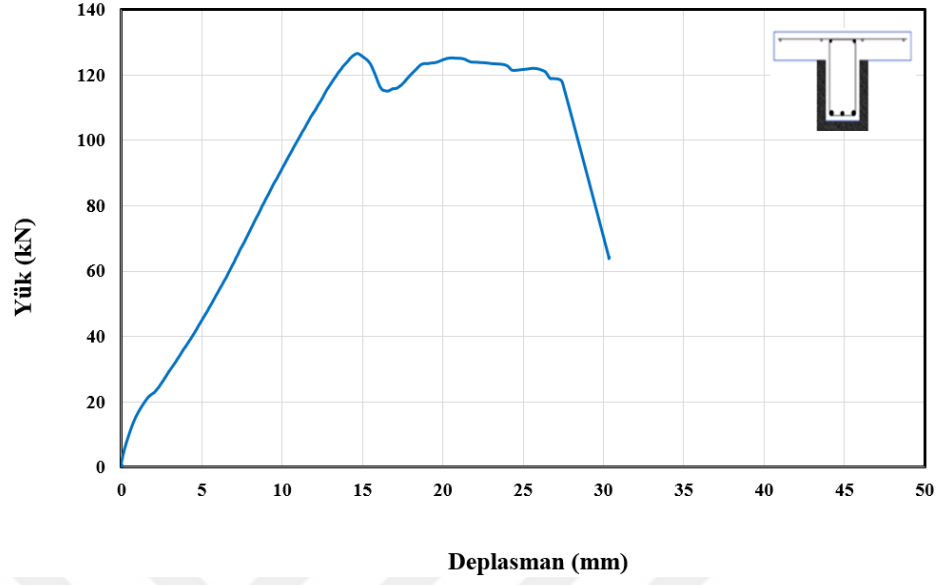
Şekil 5.11 B3 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü

B3 numunesi 126,636 kN yük kapasitesine ulaşmıştır. Ulaşılan maksimum yük değerinde ölçülen deplasman değeri 14,727 mm'dir. Tablalı kirişin sol mesnetinde belirgin kesme çatlağı oluşumu gözlenirken sağ mesnetinde ise 0,5 mm genişliğinde kesme çatlağı gözlemlenmiştir. Kiriş tabla kısmında basınç çatlakları ve tablada kırılma gözlemlenmiştir. Ayrıca kirişin belli noktalarında 0,5 mm'lik eğilme çatlakları da gözlemlenmiştir. Tablalı kirişin gövde alt kısmına sol mesnet tarafında 40 cm uzaklıkta yapıştırılan lifli özel blok deney esnasında düşmüştür. Deney sonrasında yapılan gözlemlerde lifli özel bloğun kiriş kesme hasarı aldıktan sonra oluşan kabuk atmasından dolayı düştüğü belirlenmiştir. Lifli özel blokların kiriş yüzeylerine sabitlenmesinde kullanılan yüksek mukavemetli epoksinin dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. B1 referans numunesine göre B3 deney numunesinin yük taşıma kapasitesinin %49,22 arttığı gözlemlenmiştir. B3 numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12 B3 numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlaklar

B3 deney numunesinin yük-deplasman grafiği Şekil 5.13’da verilmiştir.



Şekil 5.13 B3 numunesinin yük-deplasman grafiği

5.1.4. B4 numunesi deneyi

Tablalı kirişin sarılma bölgesinde gövde kısmının yan ve alt yüzeyleri ile beraber tabla alt kısmına 4 sıra halinde 4 cm aralıklar ile 6 cm genişliğinde 3 cm kalınlığında toplam 40 adet lifli özel bloğun yapıştırılması ile oluşturmuş B4 numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 5.14’de gösterilmiştir.



Şekil 5.14 B4 numunesinin yükleme öncesi görüntüsü

Yükleme sonucunda B4 numunesi sarılma bölgesinden belirgin kesme hasarı alıp göçmüştür. B4 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü Şekil 5.15’de gösterilmiştir.



Şekil 5.15 B4 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü

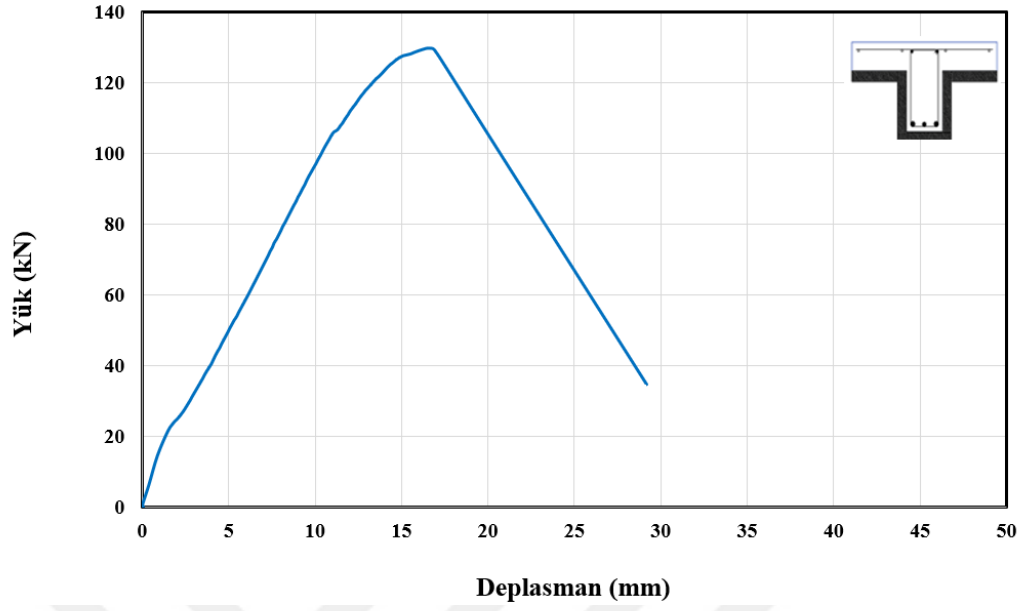
B4 numunesi 129,759 kN yük kapasitesine ulaşmıştır. Ulaşılan maksimum yük değerinde ölçülen deplasman değeri 16,614 mm’dir. Tablalı kirişin sağ mesnetinde belirgin kesme çatlağı oluşumu gözlenirken sol mesnetinde ise 0,7 mm genişliğinde kesme çatlağı gözlemlenmiştir. Kiriş sağ mesnet tarafında lifli özel bloklar arasında 0,4 mm’lik kesme çatlağı gözlemlenmiştir. Kiriş tabla kısmında basınç çatlakları ve tablada kırılma gözlemlenmiştir. Kirişin belli noktalarında 0,3 mm’lik eğilme çatlakları da gözlemlenmiştir. Tablalı kirişin gövde alt kısmına sağ mesnet tarafında 40 cm uzaklıkta yapıştırılan lifli özel blok deney esnasında düşmüştür. Deney sonrasında yapılan gözlemlerde lifli özel bloğun kiriş kesme hasarı aldıktan sonra oluşan kabuk atmasından dolayı düştüğü belirlenmiştir. Lifli özel blokların kiriş yüzeylerine sabitlenmesinde kullanılan yüksek mukavemetli epoksinin yeterli mukavemette ve dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. B1 referans numunesine göre B4 deney numunesinin yük taşıma kapasitesinin %52,90 arttığı gözlemlenmiştir. B4 numunesinin yüklemeye sonrası oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 5.16’da verilmiştir.





Şekil 5.16 B4 numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlaklar

B4 deney numunesinin yük-deplasman grafiği Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17 B4 numunesinin yük-deplasman grafiği

5.1.5. B5 numunesi deneyi

Tablalı kirişin sarılma bölgesinde gövde kısmını tam saracak şekilde 4 sıra halinde 4 cm aralıklar ile 6 cm genişliğinde 3 cm kalınlığında toplam 32 adet lifli özel bloğun yapıştırılması ile oluşturmuş B5 numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 5.18’de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 B5 numunesinin yükleme öncesi görüntüsü

Yükleme sonucunda B5 numunesi sarılma bölgesinden belirgin kesme hasarı alıp göçmüştür. B5 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 B5 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü

B4 numunesi 127,526 kN yük kapasitesine ulaşmıştır. Ulaşılan maksimum yük değerinde ölçülen deplasman değeri 35,958 mm’dir. Tablalı kirişin sol mesnetinde belirgin kesme çatlağı oluşumu gözlemlenmiştir. Ayrıca sol mesnet tarafında 1,5 – 1,9 mm genişliklerinde kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Kiriş tabla kısmında basınç çatlakları ve tablada kırılma gözlemlenmiştir. Tablalı kirişin yan kısmına sol mesnet tarafından 40 cm uzaklıkta yapıştırılan lifli özel blok deney esnasında uç kısmından kırılmıştır. B1 referans numunesine göre B5 deney numunesinin yük taşıma kapasitesinin %50,30 arttığı gözlemlenmiştir. B5 numunesinin yüklemeye sonrası oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 5.20’de verilmiştir.

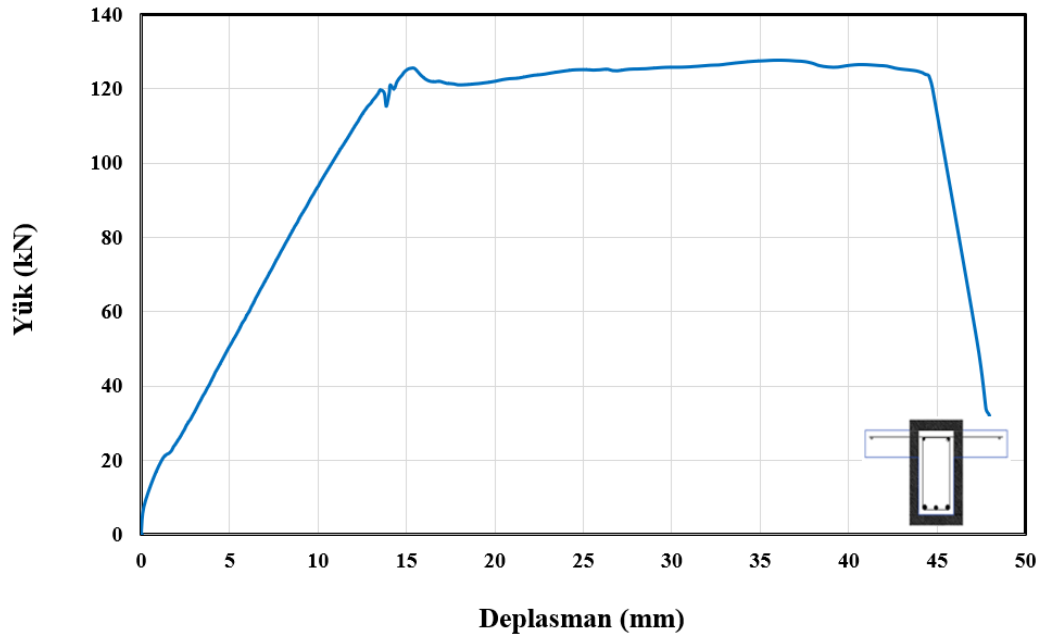






Şekil 5.20 B5 numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlaklar

B5 deney numunesinin yük-deplasman grafiği Şekil 5.21’de verilmiştir.



Şekil 5.21 B5 numunesinin yük-deplasman grafiği

B5 deney numunesinin yük-deplasman grafiğinden görüleceği gibi oldukça sünek bir davranış sergilemiştir. Kiriş elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra yük değerinde belirgin bir azalış olmadan deplasman değerinde ciddi artış meydana geldiği görülmüştür.

5.1.6. B6 numunesi deneyi

Tablalı kirişin sarılma bölgesinde gövde kısmının yan ve alt yüzeyleri ile beraber tabla alt kısmına 50 cm genişliğinde 3 cm kalınlığında toplam 10 adet lifli özel panelin yapıştırılması ile oluşturmuş B6 numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 B6 numunesinin yükleme öncesi görüntüsü

Yükleme sonucunda B6 numunesi sarılma bölgesinden panellerin bitim noktası itibarıyla kirişte oluşan belirgin kesme hasarı ile göçmüştür. B6 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü Şekil 5.23’de gösterilmiştir.



Şekil 5.23 B6 numunesinin yükleme sonrası görüntüsü

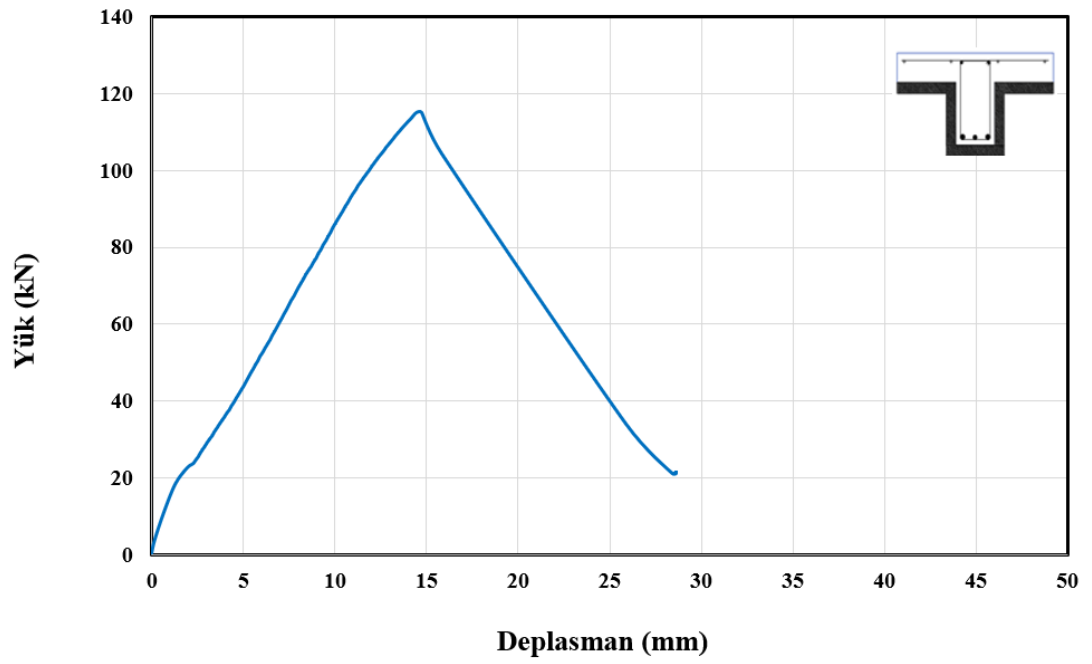
B6 numunesi 115,093 kN yük kapasitesine ulaşmıştır. Ulaşılan maksimum yük değerinde ölçülen deplasman değeri 14,468 mm'dir. Tablalı kirişin sağ mesnetinde belirgin kesme çatlağı oluşumu gözlenirken sol mesnet tarafında ise 0,1 mm genişliğinde kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Kiriş tabla kısmında basınç çatlakları ve tablada kırılma gözlemlenmiştir. Tablalı kirişin sağ mesnet tarafında yan kısmına yapıştırılan lifli özel panel deney esnasında uç kısmından kırılmıştır. B1 referans numunesine göre B6 deney numunesinin yük taşıma kapasitesinin %35,62 arttığı gözlemlenmiştir. B6 numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 5.24'de verilmiştir.





Şekil 5.24 B6 numunesinin yükleme sonrası oluşan çatlaklar

B6 deney numunesinin yük-deplasman grafiği Şekil 5.25’de verilmiştir.



Şekil 5.25 B6 numunesinin yük-deplasman grafiği

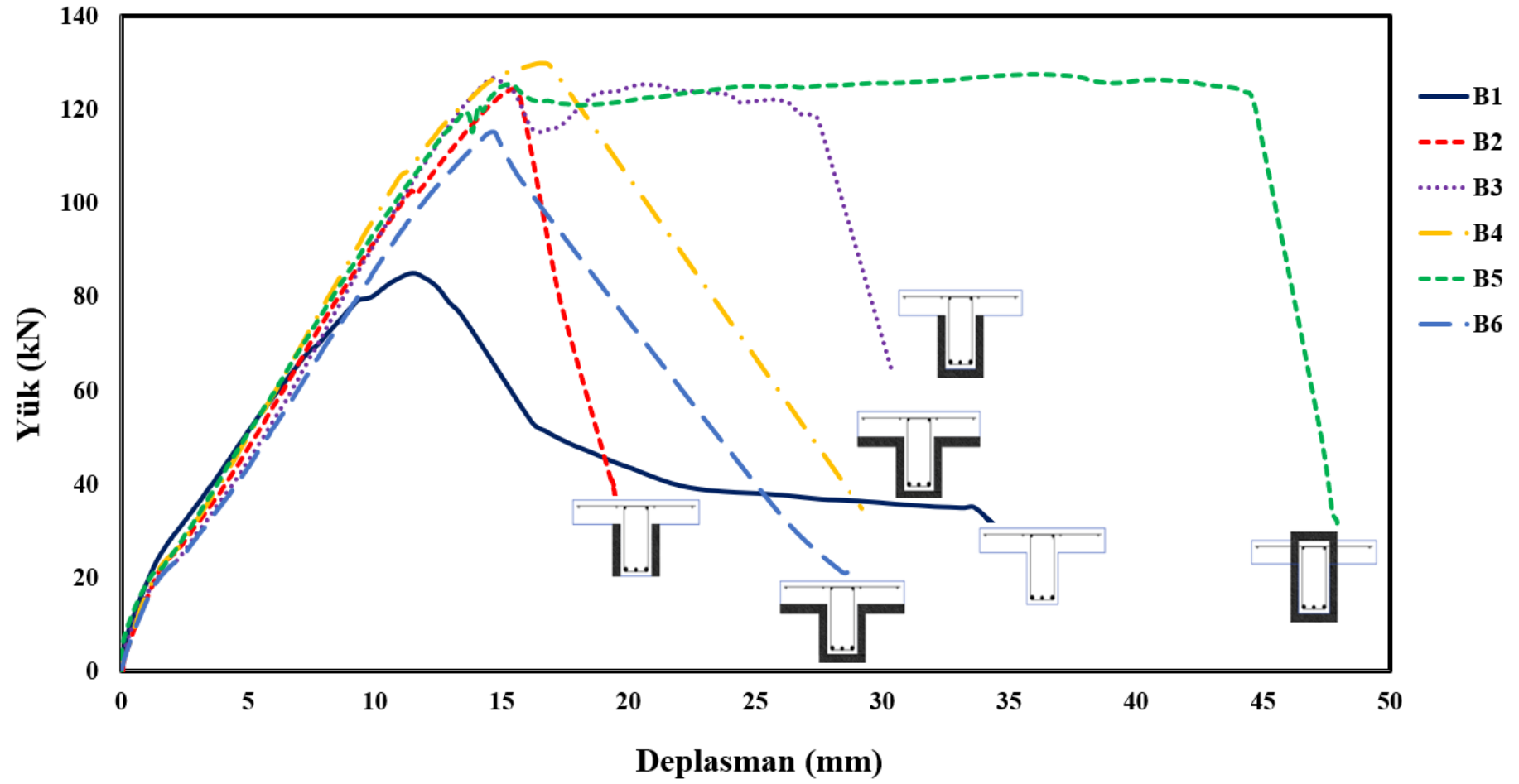
5.2. Deney Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Kesme hasarına karşı lifli özel blokların/panellerin farklı kesit ve ebatlar ile farklı yapıştırma şekilleri ile güçlendirilmiş numunelerinin performansı Şekil 5.26'de verilen yük-deplasman grafikleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca kiriş numunelerinin süneklik, enerji tüketme kapasiteleri ve başlangıç rijitlikleri hesaplanmış ve performans değerleri yorumlanmıştır. Tablalı kirişlerin süneklikleri, enerji tüketme kapasiteleri ve başlangıç rijitliklerini hesaplamak için deney esnasında toplanan veriler ile çizilen yük deplasman grafiklerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerin hesaplanmasında dikkate alınan bağıntılar grafikler üzerinden Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve rijitlik değerleri hesabında kullanılan değerler ise Çizelge 5.2'de verilmiştir. Deney numunelerine ait performans değerleri süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve başlangıç rijitliği değerleri ve referans numuneye göre değişimleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Tüm deney numunelerinin süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve başlangıç rijitliği değerleri grafiksel olarak Şekil 5.27'de karşılaştırılmıştır.

Yük-deplasman grafiğinde eğrinin yatay konuma ulaştığı nokta akma noktası olarak belirlendi. Yükün maksimuma ulaştığı (F_{max}) bölgeden yatay eksene paralel bir çizgi çekilip, ardından $0,75 F_{max}$ (%75 F_{max}) ile yük-deplasman eğrisinin kesişim noktası belirlenir. Eğrinin başlangıç noktasından F_{max} doğrusuna $0,75 F_{max}$ noktası ile kesişen bir doğru çizilir.

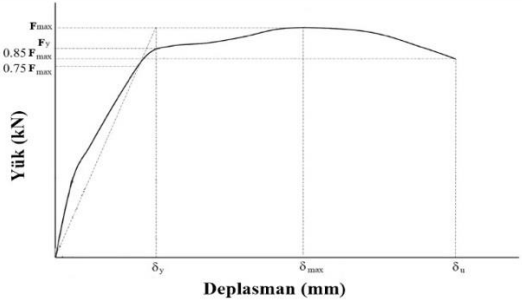
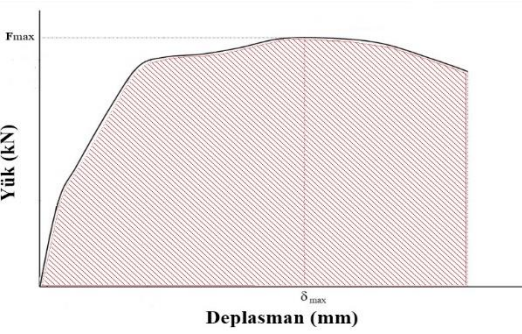
Elde edilen değerler için ayrıca başlangıç rijitliği değerleri hesaplanmıştır. Deney numuneleri için enerji tüketim kapasiteleri ise yük-deplasman eğrisinin altında kalan alanların belirlenmesi ile hesaplanmıştır.

Rijitlik ve enerji tüketim değerleri tüm verilere göre hesaplanmış olmakla birlikte daha iyi bir karşılaştırma için akma noktası, maksimum yük ve çökme noktaları gibi kritik bölgelerdeki değerlere göre grafikler çizilmiştir. Numunelerin süneklik değerleri, literatürdeki çalışmalara benzer şekilde, kırılma noktasında ulaşılan yer değiştirmenin akma noktasında ulaşılan yer değiştirmeye oranı olarak belirlenmiştir (Uğur ve Ünal, 2022).

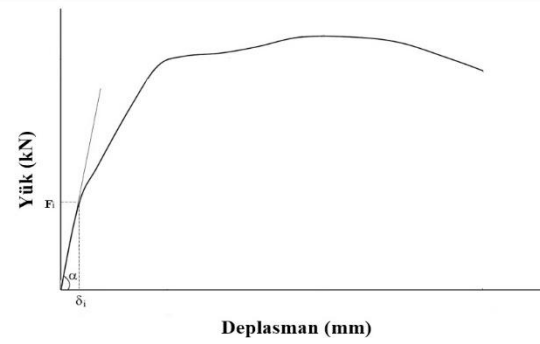


Şekil 5.26 Tüm deney numunelerinin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

Çizelge 5.1 Süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve başlangıç rijitlik hesaplama şekilleri

	Grafikler	Formüller	İndisler
Süneklik	 Yük (kN) Deplasman (mm) F_{max} F_y $0.85 F_{max}$ $0.75 F_{max}$ δ_y δ_{max} δ_u	$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$	μ = Süneklik δ_u = 0,85Fmax noktasındaki deformasyon δ_y = Akma anındaki deformasyon F_y = Akmanın gerçekleştiği yük
Enerji tüketme kapasitesi	 Yük (kN) Deplasman (mm) F_{max} δ_{max}	$\sum (F \times \delta)$	F = Yük δ = Deformasyon

Başlangıç rijitliği



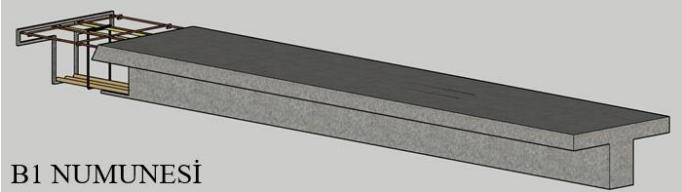
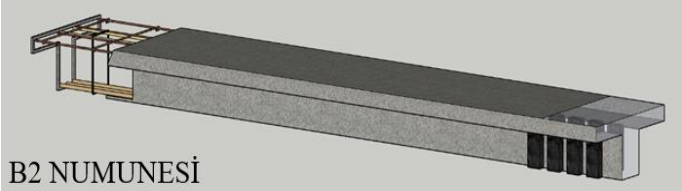
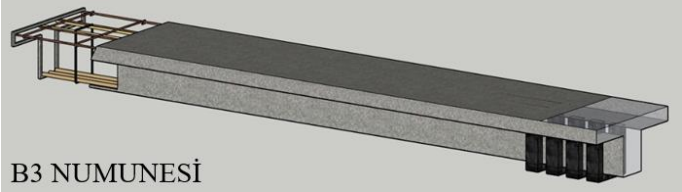
$$\tan \alpha = \frac{F_i}{\delta_i}$$

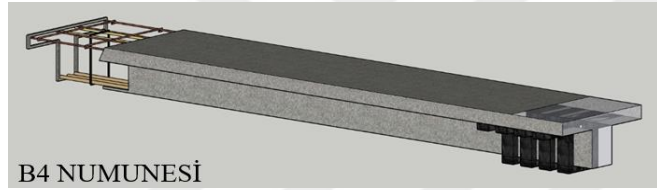
$\tan \alpha$ = Başlangıç rijitliği
 F_i = Yük (Lineer)
 δ_i = Lineer yük değerindeki deplasman

Çizelge 5.2 Deney numuneleri performans değerleri hesap parametreleri

Deney numunesi	Fmax (kN)	δmax (mm)	0,85 Fmax (kN)	0,75 Fmax (kN)	Fy (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Fi (kN)	δi (mm)
B1	84,865	11,628	72,13525	63,64875	77,2213	9,00477	13,89313	15,5374	0,767016
B2	124,255	15,478	105,61675	93,19125	117,306	13,9444	16,35267	22,1888	1,54937
B3	126,636	14,727	107,6406	94,97700	124,324	14,1131	28,00993	22,7563	2,04026
B4	129,759	16,614	110,29515	97,31925	120,298	13,3768	19,38400	21,5598	1,48801
B5	127,556	35,958	108,42260	95,66700	115,248	13,8370	45,15115	20,6729	1,24257
B6	115,093	14,468	97,82905	86,31975	112,567	13,9589	16,76146	18,4899	1,29706

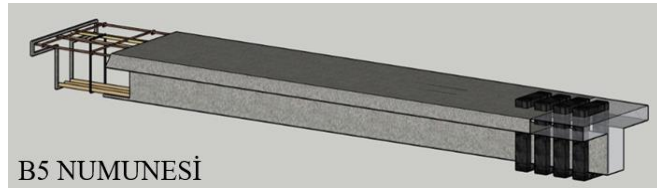
Çizelge 5.3 Deney numuneleri için süneklik, enerji tüketme, rijitlik değerleri ve değişim oranları

Deney numunesi	Deney Sonucu			Referans (B1) numuneye göre değişim (%)			
	Süneklik (kN/mm)	Enerji tüketme kapasitesi (kN.m)	Başlangıç rijitliği (kN/mm)	Dayanım	Süneklik	Enerji tüketme	Başlangıç rijitliği
 B1 NUMUNESİ	1,54286	12,035	20,25694	-	-	-	-
 B2 NUMUNESİ	1,17271	5,350	14,32118	+ % 46,41	-% 23,99	-%55,55	-% 29,30
 B3 NUMUNESİ	1,98468	11,359	11,15363	+% 49,22	+% 28,64	-%5,62	-% 44,94



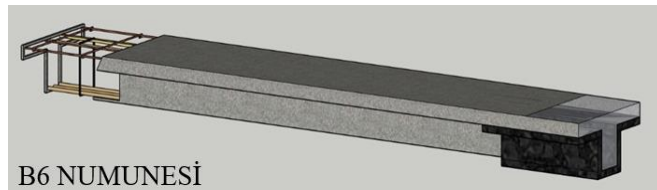
B4 NUMUNESİ

1,44908	9,111	14,48902	+% 52,90	-% 6,08	-%24,30	-% 28,47
---------	-------	----------	----------	---------	---------	----------



B5 NUMUNESİ

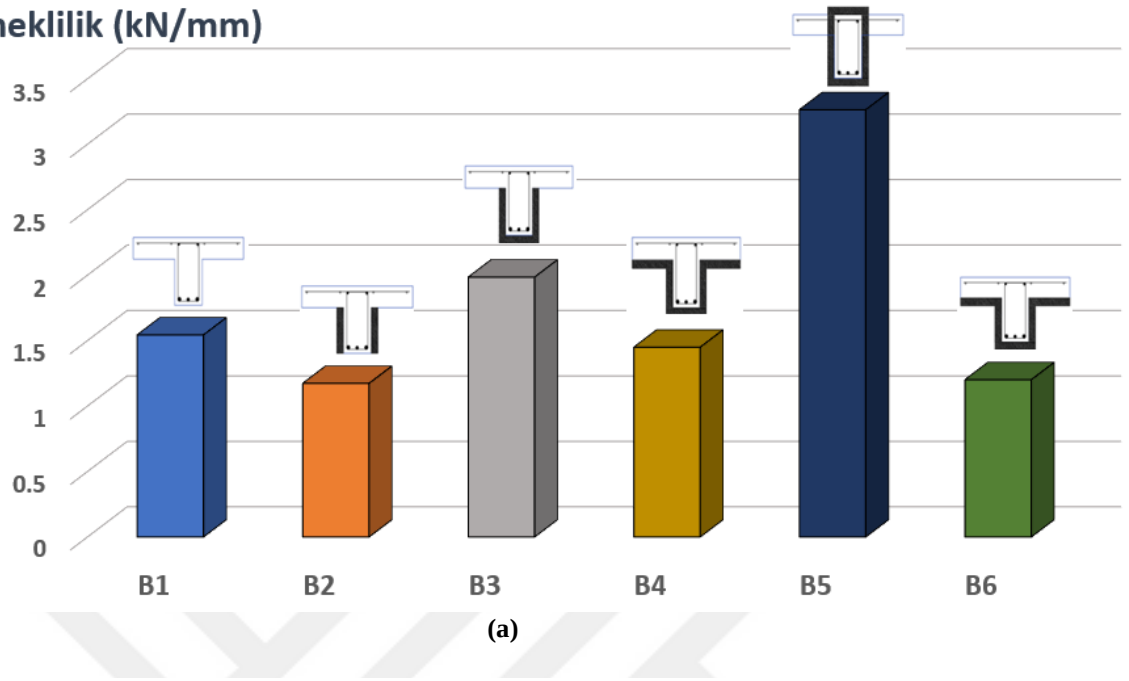
3,26307	19,431	16,63721	+% 50,30	+% 111,49	+%61,45	-% 17,87
---------	--------	----------	----------	-----------	---------	----------



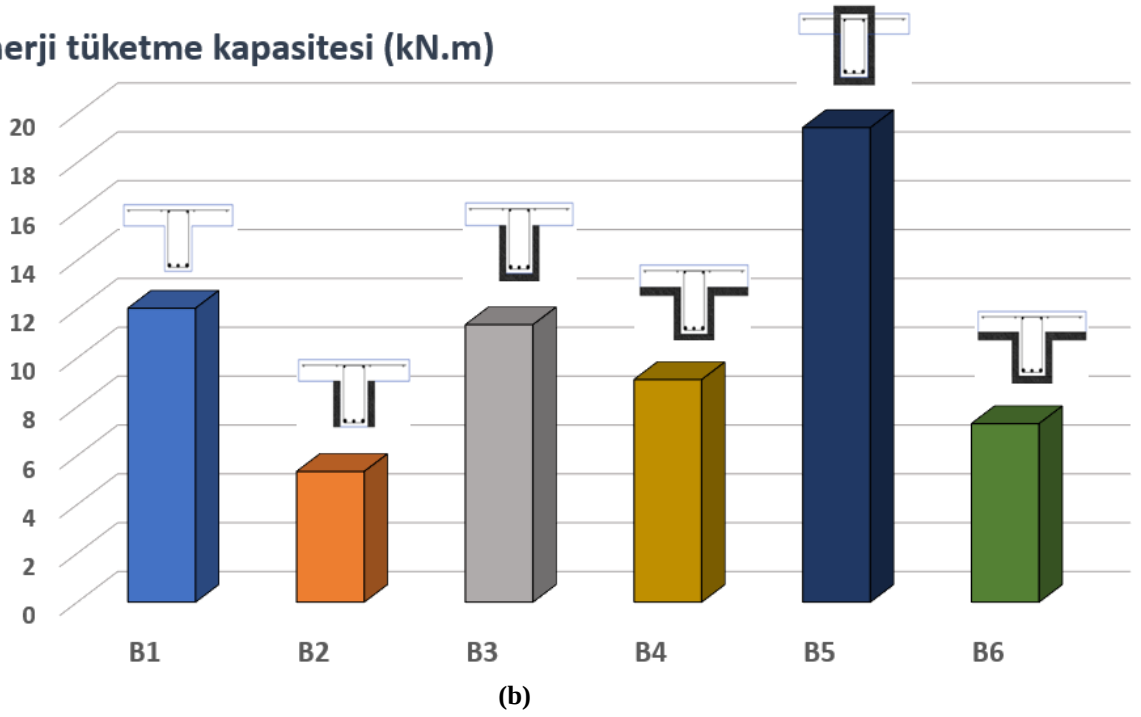
B6 NUMUNESİ

1,20077	7,310	14,25524	+% 35,62	-% 22,17	-%39,26	-% 29,63
---------	-------	----------	----------	----------	---------	----------

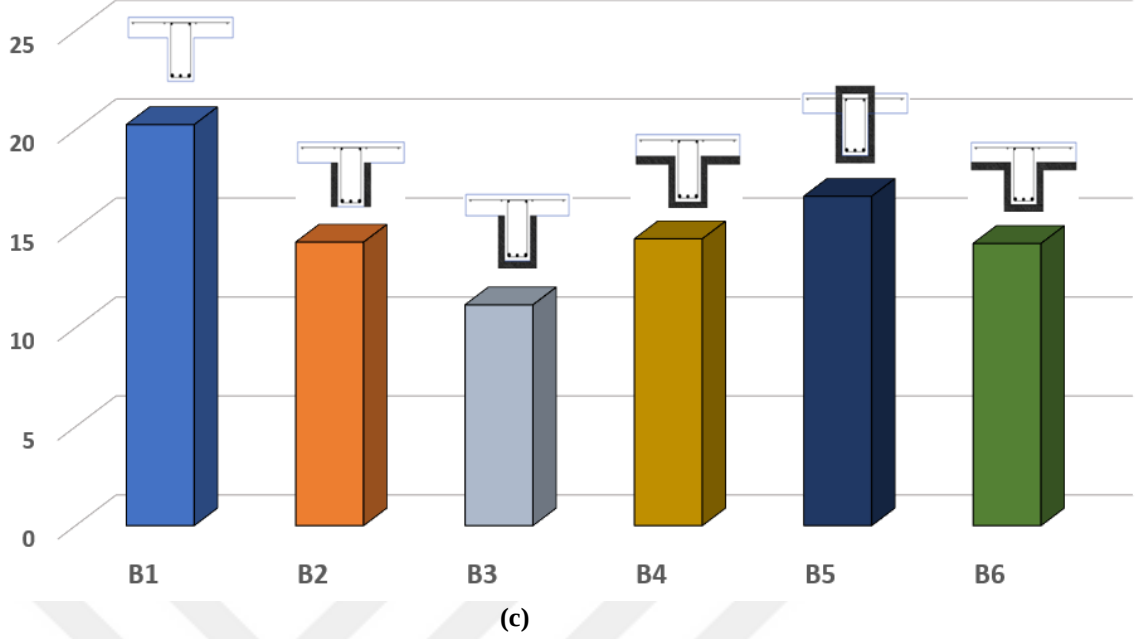
Süneklik (kN/mm)



Enerji tüketme kapasitesi (kN.m)



Başlangıç rijitliği (kN/mm)



Şekil 5.27 Tüm deney numunelerinin süneklik (a), enerji tüketme kapasitesi (b) ve başlangıç rijitliği (c) grafiksel karşılaştırılması

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre güçlendirilmiş kiriş numunelerinde referans numuneye oranla ciddi bir dayanım artışı gözlemlenmiştir. En yüksek yük taşıma kapasitesi değerleri B4 ve B5 güçlendirilmiş kirişlerden elde edilmiştir. Ayrıca B5 kirişi oldukça sünek davranmış, yüksek bir enerji tüketme performansına sahip olmuştur. B5 güçlendirmiş kirişi yüksek süneklik ve dayanım kapasitesi değerleriyle en etken güçlendirme modeli olmuşsa da uygulama pratikliği açısından birtakım dezavantajlara sahiptir. Tam sargılama lifli özel bloklar ile yapılmış bu modelde gerçekte yapılarda bu uygulama için döşeme kesitlerinin kırılması gibi ekstra işçilik gerektirecek durumlar ortaya çıkacaktır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında kesme dayanımı yetersiz olan tablalı T kesitli betonarme kirişlere farklı bir güçlendirme metodolojisi olarak lifli özel bloklar ve paneller ile prefabrikasyon tipi güçlendirme çalışması yapılmıştır. Yapılan güçlendirilmelerin etkinliğini kıyaslamak amacıyla güçlendirme yapılmamış referans kiriş ile beraber toplam 6 adet tablalı kiriş deneye tâbi tutulmuştur. Güçlendirilmede kullanılan lifli özel blokların/panellerin tablalı kirişin yüzeylerine farklı şekillerde ve geometrik ebatlarda yapıştırılması ile deney numuneleri oluşturulmuştur. Lifli özel blokların etkinliklerini test etmek için farklı güçlendirme çalışmalarında kullanılan sargılama çeşitleri göz önüne alınmıştır. Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Genel olarak lifli özel bloklar ve paneller ile güçlendirilen tablalı kirişlerin yük taşıma kapasitelerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- B1 referans numunesine göre B2 numunesinin yük taşıma kapasitesinde % 46,41 artış olurken sünekliliğinde % 23,99, enerji tüketme kapasitesinde %55,55 ve başlangıç rijitliğinde % 29,30 azalma görülmüştür. Kiriş yan yüzeylerine yapıştırılan Lifli özel bloklar artan yük kapasitesine karşın kesme hasarı alıp plastik göçme davranışı göstermiştir.
- B1 referans numunesine göre B3 numunesinin yük taşıma kapasitesinde % 49,22, sünekliliğinde ise % 28,64 artış gözlemlenmiştir. Ancak enerji tüketme kapasitesinde %5,62 ve başlangıç rijitliğinde % 44,94 azalma görülmüştür. Kiriş gövde kısmını U tipi saracak şekilde teşkil edilen B3 numunesinde süneklik artışı ve eğilme çatlakları görülmesine rağmen kesme hasarı alarak göçmüştür. Bu lifli özel blok yapıştırma yönteminde yapışma yüzey alanı yetersiz kaldığı ve kiriş gövde alt kısmındaki bloğun beton ile beraber düştüğü gözlemlenmiştir.
- B1 referans numunesine göre B4 numunesinin yük taşıma kapasitesinde % 52,90 artış olurken sünekliliğinde % 6,08, enerji tüketme kapasitesinde %24,30 ve başlangıç rijitliğinde % 28,47 azalma görülmüştür. B4 numunesinde B3 numunesinden daha küçük boyutlarda eğilme çatlakları görülmesine rağmen kesme hasarı alarak göçmüştür. Yapıştırılan lifli özel bloklar arasında kesme

çatlakları ve B3 numunesindeki gibi kiriş gövde altına yapıştırılan bloğun beton ile beraber düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca tabla kısmında basınç çatlakları da gözlemlenmiştir.

- B1 referans numunesine göre B5 numunesinin başlangıç rijitliğinde % 17,87 azalma olurken yük taşıma kapasitesinde % 50,30, sünekliğinde % 111,49 ve enerji tüketme kapasitesinde % 61,45 artış görülmüştür. Pratikte uygulaması daha zor olan gövde kısmını tam saracak şekilde lifli özel bloklarla güçlendirilmiş kiriş süneklik ve enerji tüketme kapasitesi bakımından diğer tüm numunelere göre daha iyi performans göstermiştir. Lifli özel bloklar kirişin sünek bir davranış göstermesini sağlamış olmalarına rağmen kiriş kesme hasarı olarak göçmüştür.
- B1 referans numunesine göre B6 numunesinin yük taşıma kapasitesinde % 35,62 artış olurken sünekliğinde % 22,17, enerji tüketme kapasitesinde %39,26 ve başlangıç rijitliğinde % 29,63 azalma görülmüştür. Lifli özel plaklarla güçlendirilmiş olan B6 numunesinde diğer tüm güçlendirilmiş numunelere göre daha az dayanım artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca B6 numunesi diğer güçlendirilmiş kirişlere göre daha rijit davranarak belirgin bir kesme hasarı ile göçmüştür.
- Yapılan deneyler sonucunda kiriş yüzeylerine lifli özel blokların ve panellerin sabitletmesinde yüksek mukavemetli epoksi ile yapıştırmanın oldukça etkin olduğu görülmüş ilave olarak mekanik ankraja ihtiyaç duyulmamıştır. Deney sonucu oluşan hasarlarda blokların betonarme kirişten ayrılmaması, kırılmaların kiriş yüzeyindeki kabuk betonda meydana gelmesi bu gözlemin ortaya çıkmasında etken olmuştur. Ankrajlar ile sabitlemeye göre yüksek mukavemetli epoksi ile yapıştırmanın hem lifli özel blokların ve panellerin üretiminde (ankraj boşluklarının bırakılması ihtiyacı olmaksızın) hem de kiriş yüzeylerine sabitleme aşamalarında özel işçilik gerektirmediğinden daha kolay ve pratik olmuştur.
- Lifli özel bloklarla/panellerle yapılan güçlendirmelerin özel işçilik gerektirmemesi, pratik uygulanabilir olması, blokların üretiminde kullanılan malzemelerin (çelik lif, kum, çimento, su) daha ekonomik ve kolay bulunabilir olması gibi avantajları vardır.
- Konya Teknik Üniversitesi (KTÜN) yapı ve deprem laboratuvarında gerçekleştirilen daha önceki tez çalışmalarında (Hamad, 2021; Al-Shalif 2022) aynı geometrik boyutlar, donatı detayı ve malzeme özelliklerine sahip Tablalı T kesitli kirişlerin CFRP ve GFRP ile güçlendirilmesi çalışmaları ile

karşılaştırıldığında ise; tam sargılı güçlendirilmiş modelin benzer şekilde yüksek sünekliğe sahip olduğu, güçlendirilen numunelerin dayanım artış oranlarının da bu tez çalışmasındaki benzer şekilde elde edildiği görülmüştür. Hamad, (2021) yapmış olduğu çalışmada en yüksek enerji tüketme ve süneklik değerlerine tablalı kirişin gövde kısmını tam saracak şekilde güçlendirilen deney numunesinde elde etmiştir. Referans numuneye göre tam sargılı modelin süneklik değeri %42,10 artmıştır. Bu benzerliğin temel nedeni kesme donatısının yerini tam sargı modelinin alması olarak açıklanabilmektedir. Elde edilen bu sonuca ve gözleme göre; kesme yetersiz betonarme kiriş elemanda uygulanacak lifli özel blok/panel prefabrikasyon güçlendirmenin de FRP tekstili ile güçlendirmeye önemli bir alternatif olabileceği görülmüştür. Ayrıca uygulanacak lifli özel blok/panel prefabrikasyon güçlendirmenin üretim maliyeti ve özel işçilik gerektirmemesi, prefabrikasyon üretim ve montaj kolaylığı parametreleri ile kullanım pratikliği sağlayacağı da öngörülmektedir.

- Ayrıca lifli özel blok/panel prefabrikasyon ile güçlendirmeye göre FRP tekstili ile yapılan güçlendirmeler UV ışınları, sıcaklık gibi çevresel etkilerden daha çok etkilenirler ve yangın veya çarpmadan zarar görme ihtimalleri daha fazla olmaktadır.

6.2 Öneriler

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneyler ışığında aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır.

- Kesme dayanımı yetersiz olan kirişlerde özel işçilik gerektirmeyecek şekilde üretim ve imalat mümkün, dışarıdan uygulama kolaylığı ile pratik, kolay bulunan malzemeler ile üretim yönünden ekonomik olan farklı bir güçlendirilme metodu olarak lifli özel bloklar ve paneller kullanılabilir bir malzemedir.
- En optimum model olarak kiriş tam sargılı olarak teşkil edilen güçlendirme tipinde gözlemlenmiştir. Bu model güçlendirme tipi ile kiriş dayanım ve süneklik performansı açısından oldukça uygun sonuçlar elde edilmiştir
- Gelecekte lifli özel bloklar ve paneller ile yapılacak güçlendirme çalışmalarında; lifli özel blokların/panellerin boyutları, üretim içerikleri ve kirişler üzerindeki uygulama bölgeleri gibi parametrelerin değişimi de araştırılabilir. Bu çalışma

sonucunda elde edilen hasar verilerine göre kirişler üzerinde dışarıdan yapılacak güçlendirme tekniklerinde uygulama noktasının önemli olduğu düşünülmüştür. Laboratuvar testlerinde özellikle yükleme noktaları bölgelerine gelecek şekilde güçlendirme elemanlarının uygulamasına devam edilmeli, kiriş güçlendirme yapılacak bölge alanı artırılarak testler tekrarlanmalıdır. Bu çalışmada da kiriş kesme hasarının görüldüğü bölgenin kiriş üzerindeki güçlendirme elemanlarının bitiminden itibaren gözlemlenmesi sebebiyle yük uygulama noktasına denk gelecek şekilde güçlendirme uygulamasının devamlılığının faydalı olacağı düşünülmektedir.

- Çalışmada statik bir yükleme etkisi altında deneyler gerçekleştirilmiş, deprem etkisi ile kesit tesirlerindeki değişimler dikkate alınamamıştır. Deprem etkilerinin altında da önerilen güçlendirme tipinin etkinliğinin test edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Abodan B., 2019, Betonarme Kirişlerin Kesmeye Karşı Farklı Sarım Yöntemi Kullanarak BFRP ile Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- Aktan, S., Köksal, H., Altınsoy, F., Karahan, Ş. Ve Çankaya, R., 2017, Üç Noktalı Eğilme Altındaki Betonarme Kirişlerde Karbon Lifli Polimerin Etkin ve Ekonomik Kullanımı, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1-16
- Ali, J. İ., 2022, Saplama Kiriş Sebebiyle Oluşan Hasarların Deneysel Olarak İncelenmesi Ve Uygun Donatılandırma Ve Güçlendirme Yönteminin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya
- Al-Shalif S. A. H., 2022, Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozit Levhalar Kullanılarak Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerde Kesme Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya
- Al-Osta MA, Isa MN, Baluch MH, Rahman MK., 2017, Flexural Behavior Of Reinforced Concrete Beams Strengthened With Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete. Constr Build Mater, 134, 279–96
- Ateş, A. İ., 2008, Çelik Lif Donatılı Betonlar, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 1-121
- Bayasi, Z. and Soroushian P., 1991, Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, Volume 88, Pages 129-134
- Bayrak O.Ü, Bingöl M. Z., 2019, SIFCON İle Üretilen Beton Yolların Bazı Mekanik Özellikleri Optimizasyonu, Erzincan Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 12 (1), 411-424
- Bayrakçı Ş. T., 2022, Lif Donatılı Çimento Malzemeler ile Güçlendirilmiş Konsol Betonarme Kirişlerin Yapısal Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya
- Bayramov, F., 2004, Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bilim E., 2019, Karma Lif Kullanılan Yüksek Performanslı Nano Beton Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Brühwiler E., Denarié E., 2013, Rehabilitation And Strengthening Of Concrete Structures Using Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete, Struct Eng Int J Int Assoc Bridg Struct Eng, 23, 450–7

- Cengiz G., 2016, Ultra Yüksek Performanslı Betonun Çatı ve Cephelerde Kullanımının İncelenmesi, 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul
- Dugat, J., Roux, N. and Bernier, G., 1996, Mechanical Properties of Reactive Powder Concretes, *Materials and Structures*, Vol. 29, 233-240
- Elnono, M.A., Salem, H. M., Farahat, A. M., Elzanaty, A. H., 2009, Use of Slurry Infiltrated Fiber Concrete in Reinforced Concrete Corner Connections Subjected to Opening Moments, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol.7, No. 1, 51-59
- Gödek E, Keskinates M., Felekoğlu B., Felekoğlu K. T., 2016, Çimento Esaslı Lifli Kompozitlerde Su/Çimento Oranı ve Mineral Katkı Türünün Çoklu Çatlak Davranışına Etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18 (54), 440-454
- Hamad, A. A. H., 2021, Kesme Açısından Yetersiz Olan Tablalı Betonarme Kirişlerin CFRP İle Güçlendirilmesi Ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- İpek M., Canbay M., Yılmaz K., 2015, Çelik Ve Polipropilen Liflerin Yalın Ve Kombinasyonlu Olarak Kullanılmasının SIFCON'un Mekanik Ve Fiziksel Özelliklere Etkisi, *SAÜ Fen Bil Der* 19. Cilt, 1. Sayı, 41-52
- Jahangiri R., 2019, Ultra Yüksek Performanslı Beton ile İnce Levha Elemanlar Üretilmesi ve Betonarme Kirişlerde Güçlendirme Amacıyla Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Kayacık F., 2022, Kısa Kolon Etkisindeki Betonarme Çerçevelerin SIFCON Panellerle Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya
- Kayacık, F., Ünal, A., Doğan, G., 2023, A Novel Strengthening Technique Against Short Column Failure In RC Structures: SIFCON Panels, *Bull Earthquake Eng*, 21, 2013–2044
- Khalil, W. I., Tayfur, Y. R., 2013, Flexural Strength Of Fibrous Ultra High Performance Reinforced Concrete Beams, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8, 3, 200-214
- Kızıllıgın, B., 2009, Çelik ve Karbon Lifli Harçların Sülfat Etkilerine Dayanıklılığının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Kiremitçi, C. A., 2008, Çelik Tel Donatılı Ultra Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Kozak M., 2013, Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, SDU Teknik Bilimler Dergisi, 3(5),26-35
- Lampropoulos AP, Paschalis SA, Tsioulou OT, Dritsos SE., 2016, Strengthening Of Reinforced Concrete Beams Using Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC), Eng Struct, 106, 370–84
- Ling-Zhi Li et.al., 2017, Shear Strengthening Of Fire-Damaged Reinforced Concrete Beams Using Bolted-Side Plating, 6th International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading, PROTECT2017, Guangzhou (Canton), China, 186-195
- Mısır İ. S., 2011, Betonarme Yapıların Deprem Davranışının İyileştirilmesinde Çimento Şerbeti Emendirilmiş Lifli Beton (SIFCON) Kullanımı, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Özyurt, N., 2000, Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Prem PR, Murthy AR, Verma M., 2018, Theoretical Modelling And Acoustic Emission Monitoring Of RC Beams Strengthened With UHPC, Constr Build Mater, 158, 670–82
- Richard, P., Cheyrezy, M.H., 1994, Reactive Powder Concretes With High Ductility and 200-800 MPa Compressive Strength, Concrete Technology: Past, Present and Future, Proc. of V. M. Malhotra Symp., ACI SP-144, S. Francisco, USA, 507-518
- Salih, S.A., Frayyeh, Q.J., Ali, M. A. A., 2018, Flexural Behavior Of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (Sifcon) Containing Supplementary Cementitious Materials, Journal of Engineering and Sustainable Development Vol. 22, No. 2 (part-3)
- Salim, L., Gh., Al-Baghdadi, H., M., ve Muteb, H., H.,2019, Reactive Powder Concrete with Steel, Glass and Polypropylene Fibers as a Repair Material, Civil Engineering Journal, 5(11), 2441-2449
- Sargın E., 2019, Ultra Yüksek Performanslı Beton ile Şehir Mobilyası Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Shann, Sarah V., 2012, Application Of Ultra High Performance Concrete (UHPC) As A Thin-Bonded Overlay For Concrete Bridge Decks, Master's Thesis, Michigan Technological University
- Taşdemir M.A., Bayramov F., 2002, Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, İTÜ Dergisi, 1 (2), 125-144
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Ağar, A.Ş. ve Yerlikaya, M., 2005, Çelik Tel Donatılı Betonların Performansa Dayalı Tasarımı, 6. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Kasım, İstanbul, 33-43

- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk A. N. ve Yerlikaya M., 2004, “Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler”, Hazır Beton Kongresi, 10 Haziran, İstanbul, 24-57
- Tayfur, S., Saatçi, S., Ve Alver, N., 2018, Çelik Fiber İlaveli Etriyesiz Betonarme Kirişlerin Eğilme Etkisi Altındaki Davranışlarının Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar 55 Analizi ile Belirlenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24 (3), 397-402
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara
- Topçu İ. B., Karakurt C., 2005, Reaktif Pudra Betonlar, TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri, 3(437), 25-30
- Topçu İ. B., Sarıkaya E., Akkan E., 2021, Reaktif Pudra Betonlarındaki Gelişmeler, ESOGÜ Müh. Mim Fak Derg, 29(3), 440-449
- Türker K., Birol T., Yavaş A., Hasgöl U., Yazıcı H., 2019, Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton ile Üretilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışı, Teknik Dergi, 523, 8777-8801
- Uğur A. E., Ünal A., 2022, Assessing The Structural Behavior Of Reinforced Concrete Beams Produced With Macro Synthetic Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete, Structures, 38, 1226-1243
- URL 1, Insapedia, 2019, Insapedia.Com/Sifcon-Cimento-Bulamaci-Emdirilmis-Lifli-Beton, 08.05.2022
- URL 2, KMX 80/60 BL, 2023, kemerix.com/urun/kmx-80-60/, 10.02.2023
- URL 3, Mapewrap 31 T, 2023, www.mapei.com/it/en/products-and-solutions/products/detail/mapewrap-31-t, 20.02.2023
- URL 4, Mapewrap Primer 1, 2023, www.mapei.com/tr/tr/urunler-ve-cozumler/urun-listesi/urun-ayrintisi/mapewrap-primer-1, 20.02.2023
- Voo, Y. L., Poon, W. K., Foster, S. J., 2010, Shear Strength Of Steel Fiber-Reinforced Ultra-High Performance Concrete Beams Without Stirrups, Journal Of Structural Engineering, 136, 11, 1393-1400
- Yavaş, A., Türker, K., Terzi, M., Hasgöl, U., Birol, T., Gören, A., 2015, Ultra Yüksek Dayanımlı Lifli Beton İle Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Tersinir Yükler Altındaki Davranışının İncelenmesi, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul
- Yazıcı, H., Yiğiter, H., Aydın, S. Ve Baradan, B., 2006, Autoclaved SIFCON With High Volume Class C Fly Ash Binder Phase, Cement And Conc. Resistance, 36, 481-486

- Yin H., Shirai K., Teo W., 2019, Numerical Model For Predicting The Structural Response Of Composite UHPC–Concrete Members Considering The Bond Strength At The Interface, *Compos Struct*, 215, 185–97
- Zhu Y., Zhang Y., Hussein H. H., Chen G., 2020, Flexural Strengthening Of Reinforced Concrete Beams Or Slabs Using Ultrahigh Performance Concrete (UHPC): A State Of The Art Review, *Engineering Structures*, 205, 110035

