

## GFRP DONATILARIN İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANIMI

Ahmet Emin UĞUR<sup>1\*+</sup>, Alptuğ ÜNAL<sup>1</sup>, Burak Arda AKGÖBEK<sup>1</sup>, Mehmet KAMANLI<sup>1</sup> and Salih CENGİZ

<sup>1</sup>Konya Technical Universty, Konya, Turkey.

\*Corresponding author: [eminahmetugur@gmail.com](mailto:eminahmetugur@gmail.com)

+Speaker: [eminahmetugur@gmail.com](mailto:eminahmetugur@gmail.com)

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

**Abstract** – Conventional steel reinforcement does not have high resistance to corrosion. In addition, considering the cost of conventional steel reinforcement, the search for an alternative reinforcing element continues. In this search, GFRP reinforcements are tested, necessary corrections are made and whether or not they can be used in building elements is included in this study. Both corrosion resistance and light weight of GFRP reinforcement compared to conventional steel reinforcement made this research important. Theses, articles and publications etc. researched in detail and combined in this study. In addition, three GFRP reinforcements were subjected to tensile tests and the results and recommendations were indicated in the study.

**Keywords** – Tensile test, strength, traditional steel reinforcement, GFRP reinforcement, strengthening, ductility.

### INTRODUCTION

Betonarme, beton ve çelik donatının bilinçli bir şekilde kullanılmasıyla oluşur. Betonun yüksek basınç dayanımı, çelik donatının yüksek çekme dayanımı ve yüksek deplasman yapma özelliği ile birlikte kullanılmak amacıyla ideal denebilecek bir yapı malzemesi elde edilir. Betonarme, yapı malzemesi olarak değişik şekillerde hemen hemen küçük ve büyük bütün yapılarda yaygın bir şekilde kullanılır. Çok katlı yapılar, köprüler, yol ve alan kaplamaları, barajlar, istinat duvarları, tüneller, viyadükler gibi yapılar betonarme uygulama alanları en önemli uygulama alanları olarak sayılabilir. Ayrıca yapı malzemelerinde oluşan problemlere karşı yeni malzeme türleri arayışı ve araştırmaları ortaya çıkmaktadır.

Son yıllarda, araştırmacılar, farklı türlerde üretilen kompozit malzemelerin betonarme elemanlarda kullanılması konusundaki çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Kompozit malzeme, yüzlerce yıldır insanların farkında olarak ya da olmayarak, sorunların çözümü için kullandıkları en az iki farklı özelliklere sahip malzemelerin birleştirilmesiyle elde edilen yeni bir üründür. En fazla kullanılan kompozit malzeme kombinasyonları; cam elyaf takviyeli plastik, karbon elyaf takviyeli epoksi ve aramit takviyeli epoksi birleşimleridir. Bu çalışmada, GFRP'nin (Cam lifi takviyeli polimer) mekanik özellikleri araştırılmış ve bununla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu yöndeki çalışmalar kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerin iyileştirmesini ve birçok alternatif yapı malzemesi oluşturarak yapısal sistemlerin gerek ekonomik gerekse durabilite açısından eksiklerinin giderilmesi amaçlanmaktadır. Hibrit malzemeler; yapı malzemesinin sünekliliğini, ekonomiklik derecesini, enerji sönmüleme kapasitesini artırarak elemanların özelliklerini geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Cam elyaf donatı yüksek mekanik dayanımı, hafifliği, korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, uzun bir süreç boya ve bakım ve ek bir hizmete ihtiyaç duymaması gibi özelliklerinden kaynaklı olarak inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde hızla ilerlemektedir.

Yapılara gelen deprem kuvvetleri yapıların ağırlıklarıyla doğru orantılı bir şekilde dağıldığı için hafif taşıyıcı malzemelerin kullanılması önemlidir. Yapının ağırlığı ne kadar az olursa etkiyen deprem kuvvetlerinin yapıya vereceği öngörülen deprem hasarı ve deprem sonrasında hasar o kadar az olacaktır. Bu durumda çelik donatının yaklaşık onda biri ağırlığında olan GFRP donatı çok daha avantajlı bir kompozit malzemedir. Bir denklem ile açıklanacak olursa bu denklem 'F = m.a' olur.

Bu çalışmada da GFRP donatının gerek öngörülen çekme dayanımı gerekse ağırlığı, ortalama ömrünün fazlalığı ve bakım masraflarının az olması GFRP donatı ile çelik donatının karşılaştırılmasına ve özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

### MATERIALS AND METHOD

#### Cam Elyaf

Cam elyaf çok ince cam taneciklerinden üretilen bir maddedir. Yalıtım ile dokuma ürünlerinde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca birçok plastik ürünlerinde güçlendirici olarak da kullanıldığında ortaya çıkan bileşik maddelere de halk arasında cam elyaf adı verilir. Cam elyafı genellikle polyester reçineleri veya vinil ester reçineler ile farklı yöntemlerle takviye edilerek geleneksel kompozit malzemeler elde edilir. Eritilmiş haldeki camın küçük deliklerden akıtılıp katılaştırılması sonucu üretilir. Isıl iletim katsayıları düşük olduğundan yalıtım malzemesi olarak da kullanılırlar. Ayrıca

yüksek mukavemet değerleri nedeniyle diğer malzemelerle birleştirilerek kompozit malzeme üretiminde kullanılırlar.

#### **Cam elyafın kullanım alanları**

Cam elyaf; inşaat, kompozit, denizcilik, otomotiv, havacılık, rüzgâr enerjisi gibi birçok sektörde kullanılmaktadır.

İçerisine farklı malzemeler eklenerek kullanıma amacına uygun özellikler elde edilebilmektedir;

- ✓ A cam elyafı- Alkali içerir, ancak alkaliye çok fazla dayanımlı değildir.
- ✓ E cam elyafı- Alüminyumborosilikat camıdır alkali içermez. İlk bulunan ve dünya üzerinde en çok kullanılan bileşimidir. Klorür iyonları yüzeyini eritebilmektedir. Aşırı sıcakta erimez, ancak yumuşamaktadır.
- ✓ S cam elyafı- Gerilme mukavemeti yüksek, katı cam elyaf türüdür.
- ✓ C cam elyafı- Kimyasallara dayanıklı cam elyaf türüdür.
- ✓ T cam elyafı- C cam elyafının Kuzey Amerika varyantıdır.

AR cam elyafı- Diğer cam elyaf türleri suda çözülebilirken ve pH değişimlerinden etkilenirken, AR cam elyaf alkali dayanımı sayesinde beton üretiminde tercih edilmekte olup inşaat sektöründe de kullanılan cam elyaf türüdür. AR'nin açılımı 'Alkali Resistant'dır. Yani alkali dayanımlıdır.

Günümüzde GFRP kompozit malzemeler çoğunlukla cephe giydirmelerinde, ulaşım sektöründe, yaya ve taşıt köprülerinde, zemin iyileştirmeleri ve güçlendirme alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Yapı uygulama sektöründe birçok ihtiyacı karşılayan kompozit malzemenin yapı elemanı olarak kullanılması sürekli artmaktadır.

#### **Cam elyaf donatının kullanım avantajları**

Cam elyaf donatının çekme dayanımı çelik donatıya göre çok daha fazladır. Çekme dayanımının fazla olması bize çok daha geniş aralıkta mukavemet değerleri sağlar. Beton tek başına basınç gerilmelerine çalışan yapı elemanlarıdır. Donatı tam da bu esnada görev üstlenir. Çekme gerilmelerini karşılayamayan beton donatıyla birlikte çekme gerilmelerini de karşılamış olur. Çekme dayanımı çelik donatıya göre daha fazla olan cam elyaf donatı daha az miktar ile daha çok çekme gerilmesi karşılayabilme özelliğinden kaynaklı olarak bu konuyu araştırmamıza sebep olmuştur. İnşaat sektöründe çelik donatının maliyetini düşündüğümüzde sektörel duraklamanın çok büyük bölümü buraya aittir. Bu yüzden çelik donatıdan daha az maliyetli ve daha yüksek mukavemetli bir malzeme arayışımız devam etmektedir. Ayrıca yoğunluğunun çelik donatıdan çok daha az olması kullanılan elemandaki ağırlığı azaltır ve deprem mühendisliği temel esaslarında daha az kütle daha az deprem kuvvetini tetikleyebilir. Daha doğrusu 'F = m.a' prensibinde kütle ne kadar az olursa yapıya veya elemana etkileyen deprem kuvveti de o oranda az olur.

Çelik donatının korozyon ve kimyasal dayanımı düşünüldüğünde çok da olumlu sonuçlarının olmadığı bilinmektedir. Betonun sülfat ve benzeri kimyasallara karşı dayanımının çok düşük olması ve bunlara maruz kalan

betonun pas payı tabakasının dökülmesiyle donatının açıkta kalarak çok hızlı bir şekilde atmosferik korozyonuna maruz kalması ve donatı çeliğinin kesit kaybı ile mukavemetinde dikkate değer bir azalma olur. Ayrıca şantiye şartları gereği donatılara gereken önemi iklim ve ortam şartlarına göre verilmemesi korozyonu hızlandıran sebepler arasındadır. Şantiye şartlarında korozyona uğramış veya uğramaya başlamış çelik donatılar kullanılmakta ve yukarıda bahsedilen mukavemet değerlerindeki düşüş dikkate alınmadan kullanılmaktadır. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de korozyona uğramış donatı elemanları görülmektedir. Kullanılan bu donatılar olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu olumsuz özelliklerin aksine cam elyaf donatı korozyona uğramadığı gibi bu olumsuz şartlardan da etkilenmemektedir. Bu yüzden cam elyaf donatının atmosferik korozyona uğrayabilecek alanlarda kullanılması bu özelliği açısından daha olumlu olacaktır.

#### **Cam elyaf donatının dezavantajları**

İmalatı gerçekleştirilmiş kompozitin özellikleri her zaman ideal olmayabilir. Malzemenin kalitesi üretim metodunun kalitesine bağlıdır, standartlaştırılmış bir kalite henüz mevcut değildir. Bu kompozitler gevrek olduklarından kolaylıkla hasar görebilmektedirler.

GFRP donatıların çelik donatılara üstünlüklerinin yanında dezavantajları da vardır. GFRP donatılar sünek davranış gösteren inşaat çeliğine kıyasla daha düşük elastisite modülüne sahiptir. GFRP donatıların en önemli dezavantajı ise uzama kapasitesinin sınırlı olmasıdır. Bu davranış GFRP donatıların gevrek davranış göstermesine ve kullanıldığı yapı elemanının gevrek davranış sergilemesine neden olmaktadır. GFRP donatılar eksenel rijitliğin ve aderansın çelik donatıya oranla daha küçük olması çatlak sayısı ve çatlak genişliklerinin daha büyük olmasına neden olmaktadır. Bu dezavantajlar göz önüne alındığı zaman GFRP donatıların çelik donatıya alternatif olması mümkün değildir. Bu sebeple GFRP donatıların avantajlarından faydalanılırken, dezavantajlarının da önüne geçebilmek için hibrit yapı elemanları tasarlanmıştır. GFRP donatılar ile çelik donatıların birlikte kullanılması yapı elemanının daha sünek davranmasını sağlamaktadır. [6]

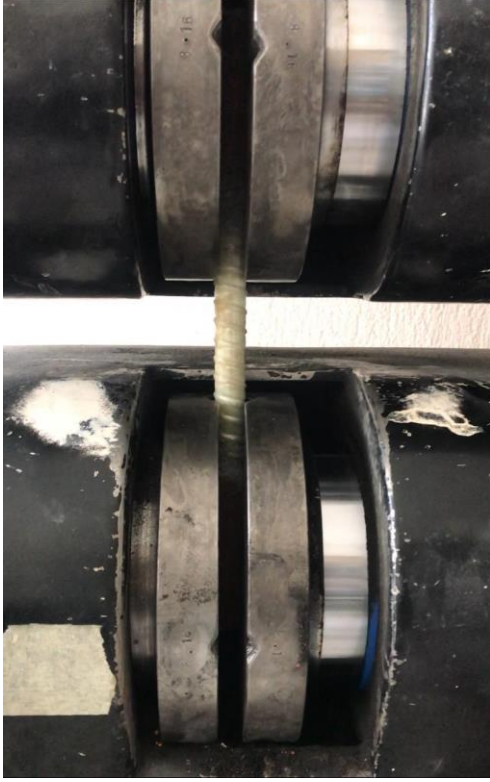
Bu konu üzerinde yapılmış olan birçok çalışma vardır. [1-5]

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Manyetik bir yapıda olmaması	Gevrek kırılma
Yüksek yorulma dayanımı	Düşük elastisite modülüne sahip olması
Hafif olması	Nemli ortamlar için düşük durabilite
Düşük elektrik iletkenliğine sahip olması	Beton pas payına bağlı olarak yangına hassasiyet
Düşük termal iletkenliğe sahip olması	Betona göre yüksek ısı genleşme katsayısı
Korozyona karşı dayanıklı olması	Ultraviyole radyasyon etkisi altında hasar hassasiyeti
Yüksek boyuna çekme dayanımı	

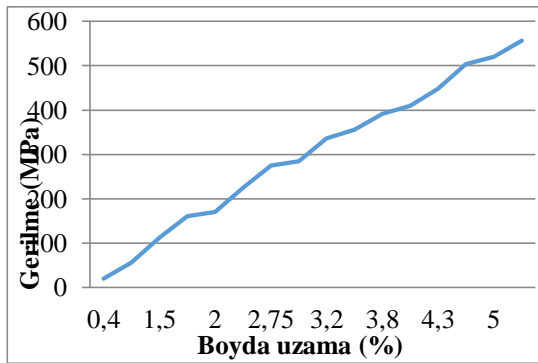
## Deney Yapılan GFRP Donatılar

### Birinci deney numunesi

Bu deney numunesi diğer iki deney numunesiyle aynı özellikleri taşıyıp çekme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 1’de görülebileceği üzere deney aletine yerleştirilmiştir. Çizelge 1’de deney sonuçları görülmektedir. Şekil 2’den de deney sonrası hali görülmektedir.



Şekil 1. Birinci deney numunesi çekme aletine yerleştirilmesi



Şekil 2. Birinci deney numunesine ait deney sonucu



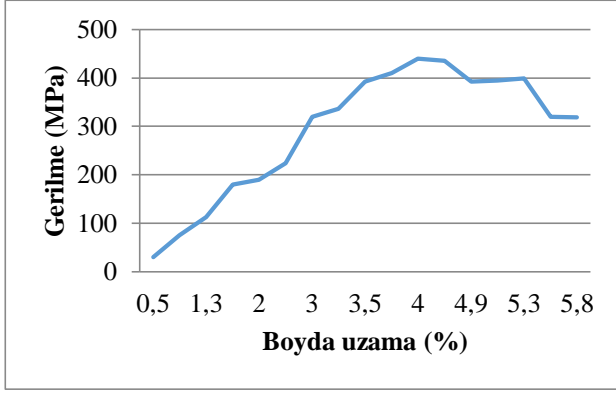
Şekil 3. Birinci deney numunesi deney sonrası görünümü

### İkinci deney numunesi

Bu deney numunesi diğer iki deney numunesiyle aynı özellikleri taşıyıp çekme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 3’de görülebileceği üzere deney aletine yerleştirilmiştir. Çizelge 1’de deney sonuçları görülmektedir. Şekil 4’den de deney sonrası hali görülmektedir.



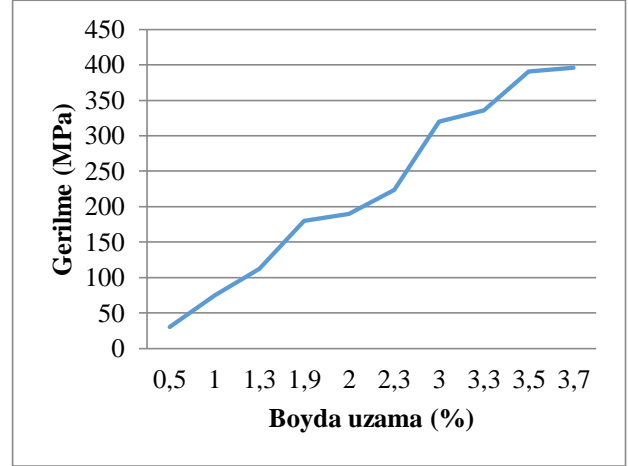
Şekil 4. İkinci deney numunesi çekme aletine yerleştirilmesi



Şekil 5. İkinci deney numunesi deney sonuçları



Şekil 6. İkinci deney numunesi deney sonrası görünümü



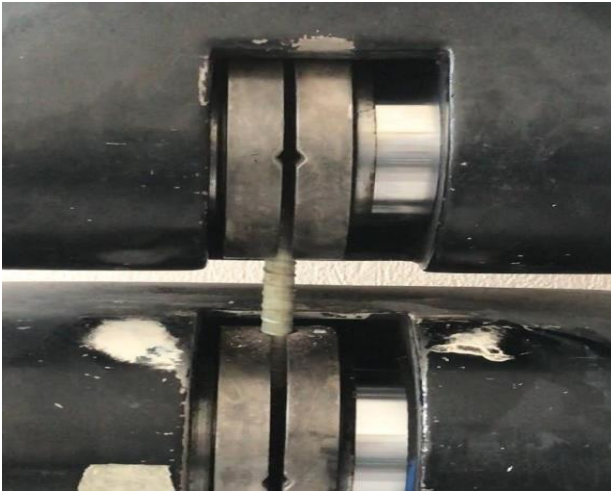
Şekil 8. Üçüncü deney numunesi deney sonuçları



Şekil 9. Üçüncü deney numunesi deney sonrası görünümü

### Üçüncü deney numunesi

Bu deney numunesi diğer iki deney numunesiyle aynı özellikleri taşıyıp çekme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 5’de görülebileceği üzere deney aletine yerleştirilmiştir. Çizelge 1’de deney sonuçları görülmektedir. Şekil 9.’dan da deney sonrası hali görülmektedir.



Şekil 7. Üçüncü deney numunesi çekme aletine yerleştirilmesi

Deneyleri yapılan tüm numelerin mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. GFRP donatılar mekanik özellikleri

MEKANİK ÖZELLİK	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
Akma Dayanımı - Re (MPa)	356	355	358	356
Çekme Dayanımı - Rm (MPa)	556	440	396	464
Rm/Re	1,55	1,24	1,1	1,3
Uzama (%)	5,3	5,8	3,7	4,93

### Çelik Donatı Özellikleri

Çapları 16 mm olan standart çelik donatılar üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Standart çelik donatı özellikleri

MEKANİK ÖZELLİK	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
-----------------	-----------	-----------	-----------	----------

<b>Akma Dayanımı - Re (MPa)</b>	410,13	396	421,63	409,25
<b>Çekme Dayanımı - Rm (MPa)</b>	510,85	496,52	521,8	509,72
<b>Rm/Re</b>	1,5	1,25	1,24	1,25
<b>Uzama (%)</b>	17,5	19,38	15	17,29

Çizelge 2'den de görülebileceği üzere standart çelik donatının akma dayanımının ortalama 410 MPa olduğu söylenebilir. Kopma anındaki çekme dayanımı ise ortalama 510 MPa'dır. Süneklik kapasitesi olarak %17'den daha fazla uzama yapmıştır.

### DISCUSSION

GFRP donatı üreticisinden alınan veriler, GFRP donatı üzerinde yapılan deneyler ve standart çelik donatının mekanik özellikleri genel olarak birbirinden farklı çıkmıştır.

İlk olarak firma verileri ve yapılan deneyler kıyaslandığında, kopma dayanımlarında yarı yarıya bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Bu fark göz ardı edilebilecek sınırların dışındadır. Yüksek çekme mukavemeti özelliği bahis edilen sınırlar dışında olması beklenen performansı sağlayamayacaktır.

Firmadan alınan verilerde uzama beklentisi olarak %2,5 olarak verilen değer yapılan deneyler sonucunda ortalama olarak %5 olarak tayin edilmiştir. Elbette süneklikteki bu iki kat artış malzemeyi daha kullanılabilir bir hale getirirse de yeterli olup olmadığı tartışmaya her zaman açıktır.

İkinci olarak GFRP donatılara yapılan deneyler ile standart çelik donatı özellikleri kıyaslanacak olursa, kopma mukavemetleri birbirine yakın değerlere sahiptir. GFRP donatı kopma mukavemeti olarak beklenen avantajı sağlamamıştır. Bunun yanı sıra uzama oranları olarak GFRP donatı standart çelik donatının 1/3'den daha az bir uzama yapmıştır.

Tüm bu veriler GFRP donatılar standart çelik donatıların yerlerini almak için yeterli avantajı bize sağlamamaktadır. Hem ekonomik olarak hem de yetersiz mekanik özelliklerinden dolayı GFRP donatılar kendiliğinden arka planda kalmaktadır. Ancak GFRP donatıların kimyasal özellikleri değiştirilebildiğinden süneklik ve dayanım açısından bir iyileştirme sağlanabilir. Bu sebeple yapılacak olan akademik çalışmalar ile GFRP donatıların mekanik özelliklerinin artırılması planlanmaktadır.

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. The results should be drawn together, compared with prior work and/or theory and interpreted to present a clear step forward in scientific understanding. Combined Results and Discussion sections comprising a list of results and individual interpretations in isolation are particularly discouraged.

### CONCLUSION

GFRP donatısı çekme deneyi sonucunda geleneksel çelik donatı kadar sünek bir davranış sergilememiştir. Bu durum GFRP donatıların yapı inşaatlarında kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir.

GFRP donatı geleneksel çelik donatıya göre daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olmasına rağmen, çelik donatı kadar enerji sönmülememiştir. GFRP donatıların kimyasal maddeler yardımıyla sünekliği artırılarak bu deneyler tekrarlanabilir.

GFRP donatı, geleneksel çelik donatıya göre korozyonla aşınma açısından daha dayanıklı ve daha fazla yük taşıdığından süneklik durumu geliştirilerek yapı inşaatlarında kullanılabilir. Hafif bir malzeme oluşu bir başka olumlu yönüdür.

### ACKNOWLEDGMENT

Bu seminer çalışmasının her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, çok değerli bilgi, tecrübe, görüşleriyle beni aydınlatan ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemi asla unutmayacağım değerli hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Alptuğ ÜNAL'a saygı, minnet ve şükranlarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimimin tamamında desteklerini, bilgilerini, tecrübelerini esirgemeyerek, görüşleriyle geleceğime ışık tutan ve yetişmemi sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet KAMANLI'ya saygı, minnet ve sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu seminer çalışmasında malzeme temini ve her türlü konuda desteği sağlayan Ceylan Kompozit ve Yunus CEYLAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan ve her türlü desteği esirgemeyen Analiz Müşavirlik Yapı Zemin Laboratuvar'a ve Halil AYHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada her zaman beraber olduğum değerli yol arkadaşlarım Burak Arda AKGÖBEK ve Ahmet Burak ERGÜN'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan ve bu desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli arkadaşım Salih CENGİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

### REFERENCES

- [1] Hu, D., & Barbato, M., 2014, Simple and efficient finite element modeling of reinforced concrete columns confined with fiber-reinforced polymers. *Engineering Structures*, 72, 113-122.
- [2] Ji, H.-S., Byun, J.-K., Lee, C.-S., Son, B.-J., & Ma, Z., 2011, Structural performance of composite sandwich bridge decks with hybrid GFRP-Steel core. *Composite Structures*, 93, 430-442.

[3] Kartal, S. (2014), Cam elyaf donatılı kirişlerin eğilme davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi, Yüksek lisans, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale-Turkey, 0- 57.

[4] Lau, D., & Pam, H. J., 2010, Experimental study of hybrid FRP reinforced concrete beams. *Engineering Structures.*, 32, 3857-3865.

[5] Öztürk, O. (2007), FRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin burulma davranışı, Yüksek lisans, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli-Turkey, 0-151.

[6] Sarıer, Z. (2018), Farklı beton sınıfları kullanılan cam elyaf donatılı hibrit kirişlerin eğilme davranışı, Yüksek lisans, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale-Turkey, 0-54.