

FRP Donatı Çekme Testlerinde Numune Başlık Özelliklerinin Çekme Test Sonuçlarına Etkilerinin Araştırılması

¹Ferhat AYDIN, ¹Yunus EKİZ, ¹Mehmet SARIBIYIK ve ²Ali SARIBIYIK

*¹Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye

²Sakarya Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojileri Bölümü, Sakarya, Türkiye

Özet:

Betonarme yapı elemanlarında çelik donatının korozyona uğraması sonucunda dayanımını kaybetmesi inşaat sektöründe farklı donatı malzemesi arayışlarını artırmaktadır. Son yıllarda üretim teknolojisi geliştirilen Fiber Takviyeli Plastik (FRP) malzemeler yüksek korozyon direnci ve çekme dayanımı nedeniyle betonarme yapılarda çelik donatı yerine kullanılması düşünülen çözümlerden biri olmaktadır.

Bu çalışmada; donatı olarak üretilen Cam Lif Takviyeli (GFRP) malzemelerin çekme testlerinde çekme makinasının numunelerin uç kısımlarındaforme etmesini önlemek amacıyla alüminyum başlıklar kullanılmıştır. Alüminyum başlık uzunlukları (başlıksız - 5 cm - 7,5 ve 10 cm başlıklı) değişiminin çekme dayanımı sonuçlarına etkileri incelenmiştir

Anahtar Kelimeler:FRP, GFRP donatı, çekme testi, numune başlığı

Investigation of Effects on Test Results of Properties of Sample Header on FRP Bar Tensile Tests

Abstract:

Corrosion of steel bar loses its strength in reinforced concrete structures. Therefore different bar materials are required in construction industry. In recent years, Fiber Reinforced Plastics (FRP) materials have high corrosion resistance and tensile strength, to be used as an alternative to steel bar is one of the promising solutions in of reinforced concrete structures

In this study, glass fiber reinforced (GFRP) bar materials are used aluminum headers in order to avoid deforming ends of the sample by the tensile testing machine in tensile tests. Tensile strength results effects of the aluminum header length (without header - 5 cm - 7.5 and 10 cm headed) change were examined.

Key words:FRP, GFRP bar, tensile test, sample header

1. Giriş

Plastik malzemelerin birçok üstün özelliğe sahip olmasının yanında sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuş ve bu tür eksikliklerin giderilmesi amacıyla polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir [1 ve 2].

Lifli kompozitler genellikle basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları düşük

¹Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye

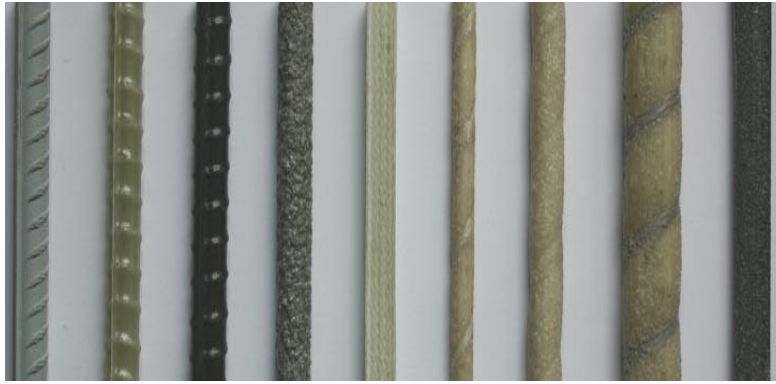
düzye de kalan veya zayıf yapılı, kırılğan malzemenin kırılğanlığın giderilmesi gibi amaçlarla matris malzemenin lifler ile donatılması ile üretilen kompozitlerdir [3]. Bu kompozitlerde ince liflerin matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlamaktadır. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Bu nedenle elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Polimer matris malzemenin elyaflarla takviye edilmesi sonucunda elde edilen FRP kompozitler üretildikleri malzemeye bağlı olarak farklı dayanım ve şekil değiştirme özelliklerine sahip olabilmektedir. Karbon Elyaf Takviyeli Polimer (CFRP), Cam Elyaf Takviyeli Polimer (GFRP) ve Aramid Elyaf Takviyeli Polimer (AFRP) kompozitler son yıllarda en çok kullanılan ve üzerlerinde en çok araştırma yapılan FRP kompozitlerdendir.

Liflerle donatılı sentetik reçineler 1950'li yılların ortalarından itibaren kullanılmaya başlanılmış, günümüz endüstrisinde lifli polimer kompozitler savunma sanayisinden sivil tasarımlara kadar pek çok alanda görmek mümkündür. FRP kompozitler olarak bilinen bu malzemelerin yapı sektöründeki kullanımını da her geçen gün artmaktadır. FRP kompozitler hem mevcut yapıların tamir ve onarımlarında hem de yeni yapılarda yaklaşık 50 yılı aşan bir süreçtir sınırlı düzeyde kullanılmaktadır [4]. FRP kompozit malzemelerin yapılarda kullanımını son 20 yılı aşan bir süreçte gerçekleştirmiştir. FRP'ler inşaat alt yapısında geleneksel yapı malzemeleri olan beton, çelik ve ahşap malzemelere alternatif olma yönünde geniş bir uygulama alanına sahiptir [5].

FRP kompozitlerin inşaat sektöründe kullanımını öncelikle yapı elemanlarını güçlendirme amaçlı başlamış, sonraları kullanım alanları genişleyerek mevcut yapı malzemelerinin alternatifi olma yönünde hızla ilerlemektedir. Geçmiş dönemlerde yapı dışındaki diğer alanlarda yoğun şekilde kullanılan bu malzemeler son yıllarda pultruzyon metodu ile üretilerek taşıyıcı yapı elemanı olarak da kullanılmamaya başlanmıştır. Özellikle hava taşıtları ve uzay endüstrisinde 50 yılı aşan mükemmel performansı FRP kompozitlerin inşaat sektörüne güvenilir şekilde girmesini sağlamıştır [6]. FRP kompozitlerin yapı sektöründe ilk kullanım alanlarından birisi inşaat alt yapısında çubuk ve kiriş elemanların güçlendirilmesinden, kolonların sismik iyileştirme için sarılması gibi kullanım şekilleri mevcuttur. Ayrıca duvarlar, kirişler, levhalar, kompozit güverte köprülerinin kuvvetlendirilmesi, FRP kompozitlerin geleneksel yapı malzemeleri ile birlikte kullanıldığı hibrit tasarımlar ile tamamen kompozit profillerden oluşmuş sistemlerinde bulunduğu geniş bir uygulama alanına sahiptir [7]. FRP malzemelerin kendi bileşenleri olan matris ve fiberler de kalıtsal iyi bir uyuma sahiptirler ve birçok örnekte olduğu gibi malzemelerdeki üstün özellikler geleneksel yapı malzemeleri ile direk yer değişebilmektedir. Ahşap, tuğla, betonarme, çelik ve metal gibi geleneksel yapı malzemeleriyle birlikte kullanılan FRP'ler arasında uyumlu bir birliktelik görülmektedir [8]. Günümüzde FRP kompozitler laminant, kumaş veya profil halinde ve CFRP ya da GFRP olarak yapı teknolojisinde tercih edilmektedir. FRP kompozitler yapıda başlıca yapıların onarım ve güçlendirmede, FRP profillerden imal edilmiş yapılarda, Hibrit (Beton veya Çelikle birlikte) veya tamamlayıcı elemanlar (Korkuluk, Kaplama v.b...) olarak kullanılmaktadır.

2. FRP'lerin Betonda Donatı Olarak Kullanımı

Deniz yapıları veya sudan etkilenen diğer yapı elemanlarında beton içerisindeki donatı korozyona uğrayarak hem donatı çeliğinin dayanımını kaybetmesine yol açmakta hem de zamanla hacmi artan çelik betonu patlatarak yapı elemanının tamamen korumasız hale getirmektedir. Günümüzde betonun kullanıldığı uygulamalar giderek daha çok hasara yol açan boyutlara ulaşmıştır. Beton gaz tankları, nükleer santrallerin yüksek basınç depoları, açık deniz petrol platformları, iskele ve rıhtım betonları gibi örnekler verilebilir. FRP malzemelerin çok iyi durabilite ve korozyon dayanımı ile betonda çelik donatıların yerine kullanılmaktadır. Betonarme yapılarda zemin suyunun etkili olduğu bodrum ve zemin katlarındaki taşıyıcı elemanlarında, deniz suyuna maruz kalan ve denize yakın yapılarda korozyon nedeni ile oluşan ciddi hasarlar gözlenmektedir. Deprem sonrası yıkılan ve hasar gören yapıların incelenmeleri sonucunda yapıların bodrum katlarında çelik donatı korozyona uğramış ve betonarme niteliğini kaybettiği tespit edilmiştir. Hafifliği, elektromanyetik alan oluşturmaması, düşük elektrik iletkenliği diğer avantajlarıdır. Farklı yüzey özelliklerine sahip FRP donatılar Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Farklı Yüzey Özelliklerine Sahip FRP Donatılar

FRP kompozit çubukları yapı sektöründe beton ile birlikte kullanımı artan bir ilgiye sahiptir. 1950'lerden 1970'lere kadar FRP çubukların kullanımını araştırmak amacıyla yapılan yüzey özellikleri olmayan güçlendirmek veya öngerilmeli betonlar için yapı elemanlarında çok az sayıda kullanılabilirlik mevcuttur. Bu çubuklar elektromanyetik etkileşim göstermesi gereken fabrikalarda manyetik alan oluşturmaması için kullanılmaya başlanmıştır. O yıllarda FRP çubuklar çelik donatılar ile maliyet açısından rekabet edemezken çelik donatılar için tek alternatif olarak ortaya çıkmıştır [9].

Bu malzemelerin donatı olarak kullanımı ile ilgili Amerika Birleşik Devletleri'nde 1990'lı yıllarda, özellikle köprülerdeki korozyon etkilerine karşı plastik kompozitlerin kullanımı başlamış [10], köprü giriş ve ızgaralarında korozyona karşı genel bir çözüm olarak düşünülmüştür [11]. Kanadalı inşaat mühendisleri Kanada otoyollarındaki köprülerde FRP kullanımı ile ilgili birçok

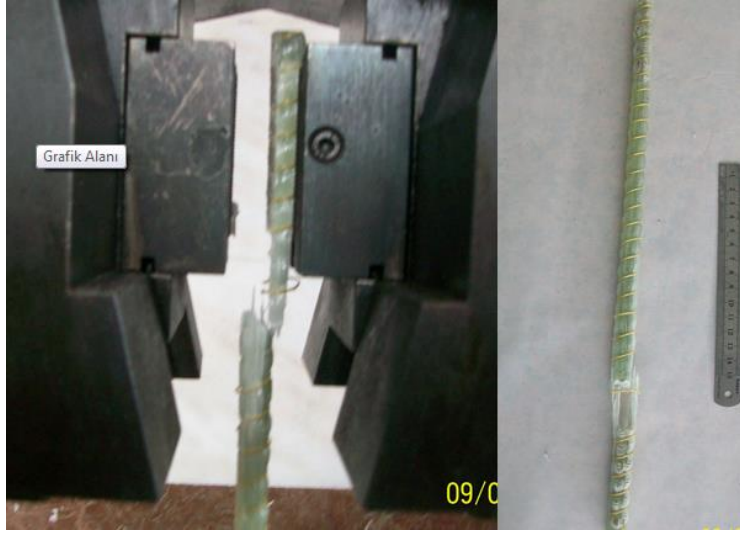
proje gerçekleştirmiştir. Headingley köprüsünde CFRP ve GFRP diğer ismiyle GFRP kullanılmış [12], bununla birlikte CFRP kirişler negatif moment bölgesinde kullanılmıştır [13]. Joffre köprüsünde GFRP donatılar CFRP kirişler ile birlikte kullanılmış ve 1997 yılında trafiğe açılmıştır [11]. GFRP donatıların köprülerdeki uygulamaları Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Köprü döşemesinde GFRP donatıların kullanımı [14]

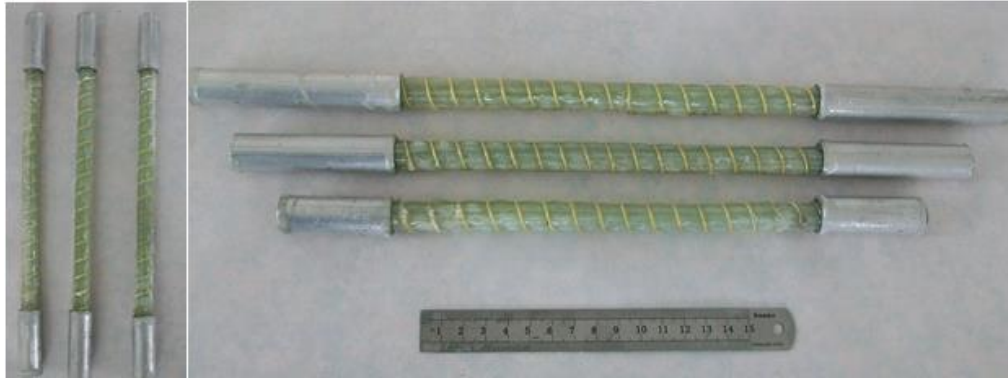
3. Malzeme ve Metod

Ülkemizde faaliyet gösteren çeşitli firmalardan farklı çaplarda GFRP donatı çubukları temin edilerek donatı çubuklarının çekme testlerinde numune başlıklama sisteminin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla farklı uzunluklardaki daire kesitli alüminyum başlıklar epoksi ile numune uçlarına yapıştırılmış ve çekme test sonuçlarına etkileri araştırılmıştır. FRP donatı numunelerinin çekme testleri esnasında malzeme davranışı ve özellikle GFRP donatı numunelerinde ortaya çıkan problemler incelenmiştir. Yapılan ilk çekme testlerinde başlık kullanılmayan GFRP donatı çubukların çekme makinası çene ile temas eden kısımlarından Şekil 3’te görüldüğü gibi ezilmeler meydana gelmiştir.



Şekil 3. Başlıksız GFRP numunelerde ezilme

Çekme testlerinde yaşanan bu problemi çözmek amacıyla alüminyum başlıklar temin edilerek GFRP donatı profillerinin uç kısımlarına farklı uzunluklarda yapılaştırılmıştır. Böylece başlıksız, 5 cm, 7,5 cm ve 10 cm alüminyum başlıklı olmak üzere numune türleri üretilmiştir. Her numune türü için eşit başlık arası uzunluğu alınarak testler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Alüminyum başlıklı GFRP numuneler

4. Deneysel Çalışmalar

4.1. GFRP Donatı Özellikleri

Çekme testlerinde kullanılacak GFRP profillerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla ilgili testler yapılmıştır. GFRP donatı numunelerinin özgül ağırlık ve lif oranı deney sonuçları Tablo 1'

de verilmiştir.

Tablo 1. GFRP donatı numunelerin fiziksel özellikleri

Numune	Boyuna lif oranı Ağırlıkça (%)	Özgül Ağırlık
1	73	1,80
2	74	1,78
3	73,5	1,79
4	75	1,77
5	74,5	1,79
Ortalama	74	1,786

4.2. Çekme Testleri

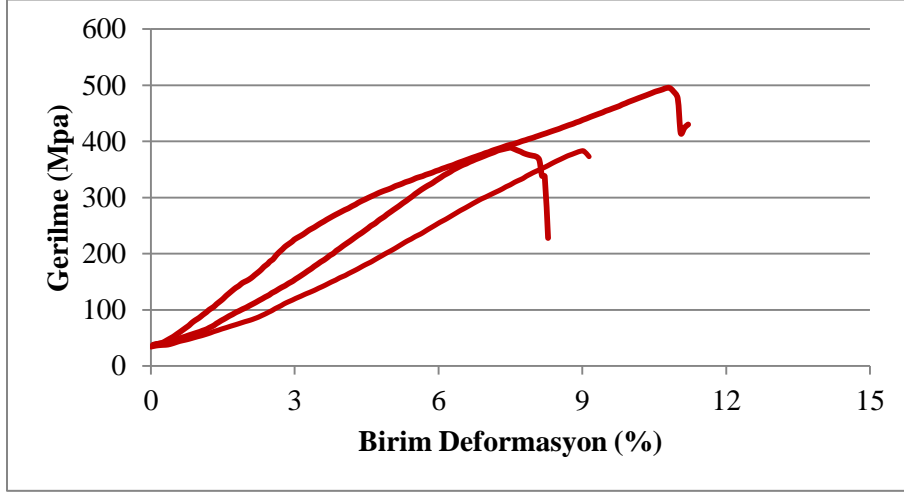
Yapılan çekme testlerinde GFRP donatı çubukların çekme makinası çene ile temas eden kısımlarından ezilmeler meydana gelmiştir. Bu ezilmeleri ve kesit kayıplarını önlemek için GFRP donatı çubukların çene ile temas eden kısımlarının malzemeye hasar vermesini önlemek ve mukavemetini arttırmak amacı ile her deney grubundan 3'er adet olmak üzere, reçine kullanılarak daire kesitli alüminyum başlıklı numuneler üretilerek test edilmiştir (Şekil 5).



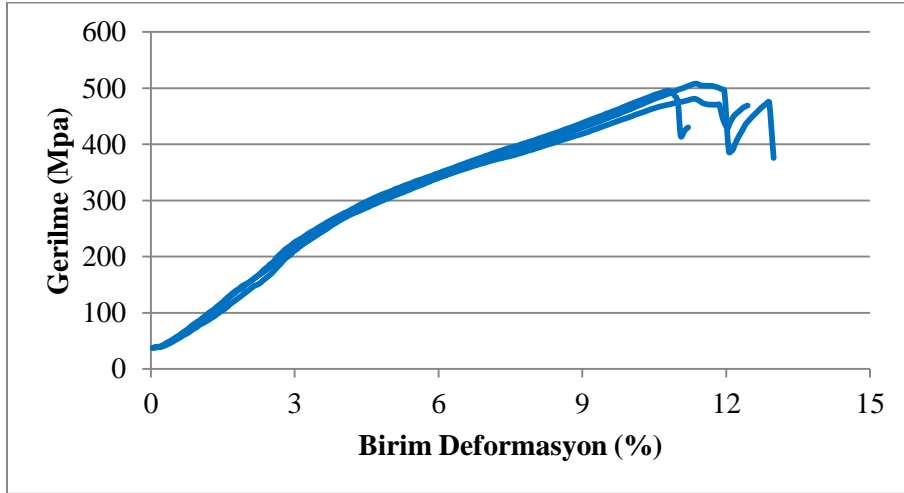
Şekil 5. Alüminyum başlıklı GFRP numuneler

4.3. Deney Sonuçları

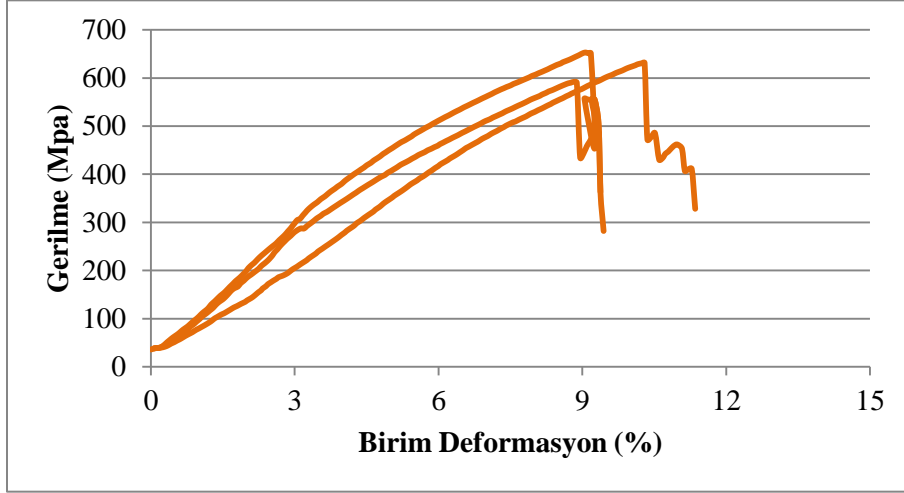
Deneyler sonucunda oluşturulan başlıksız, 5 cm alüminyum başlıklı, 7,5 cm alüminyum başlıklı ve 10 cm alüminyum başlıklı çekme numunelerinin gerilme - birim deformasyon grafikleri sırasıyla Şekil 6 – Şekil 9 'da verilmiştir.



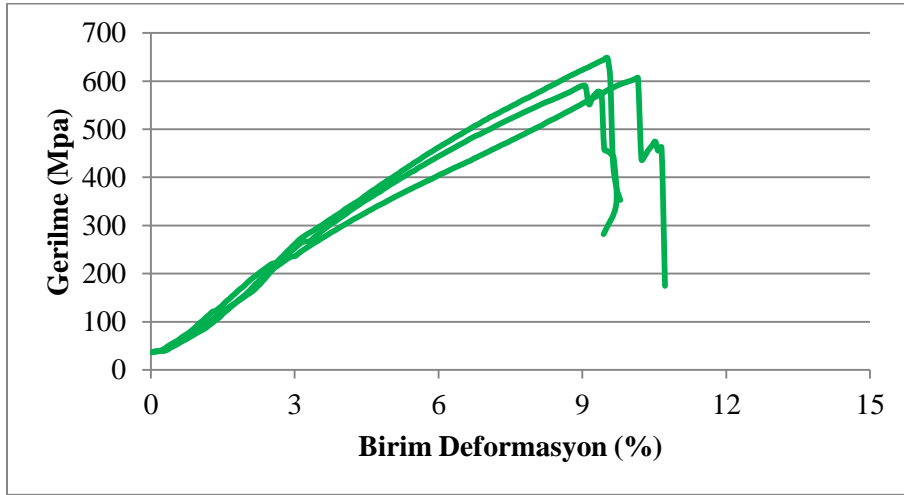
Şekil 6. Başlıksız numunelerin grafikleri



Şekil 7. Alüminyum başlıklı numune grafikleri (5 cm)



Şekil 8.Alüminyum başlıklı numune grafikleri (7,5 cm)



Şekil 9.Alüminyum başlıklı numune grafikleri (10 cm)

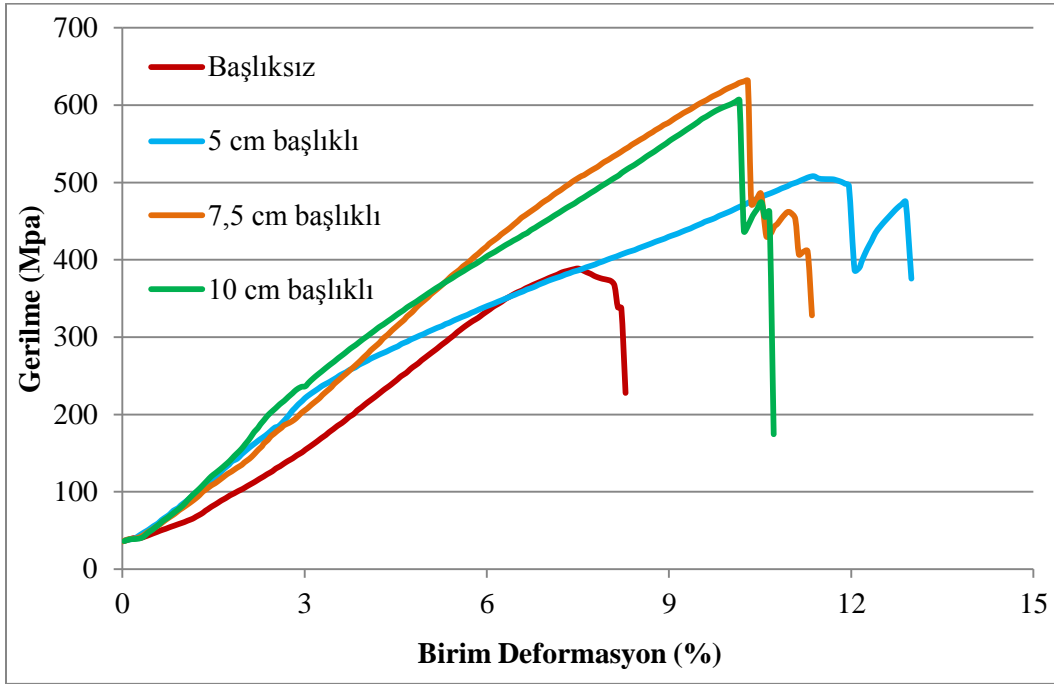
Grafiklerden elde edilen verilere göre çekme dayanımları ve ortalama değerleribulunarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.1

Numune	Başlıksız (Mpa)	5 cm Başlıklı (Mpa)	7,5 cm Başlıklı (Mpa)	10 cm Başlıklı (Mpa)
1	495	504	651	648
2	389	493	631	606

3	372	470	590	610
Ortalama	418,7	489,0	624,0	621,3

Farklı alüminyum başlık boylarına sahip GFRP donatı çubuklarının çekme dayanım sonuçları değerlendirildiğinde; başlıksız numunelerin ortalama çekme dayanımı $418,7 \text{ N/mm}^2$, 5 cm başlıklı numunelerin 489 N/mm^2 , 7,5 cm lik numunelerin 624 N/mm^2 ve 10 cm başlıklı numunelerin $621,3 \text{ N/mm}^2$ olduğu belirlenmiştir. Başlıksız numunelere göre en yüksek dayanımı 7,5 ve 10 cm başlıklı numunelerin olduğu tespit edilmiştir. Böylece başlıksız numunelere göre 5 cm lik numunelerin çekme dayanımının %17, 7,5 cm lik numunelerin %49, 10 cm lik numunelerin ise %48 oranında arttığı hesaplanmıştır. Ayrıca tüm numune türleri için her grubu temsil eden grafikler seçilerek tek grafik üzerinde karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10 . Farklı başlıklara sahip numunelerin karşılaştırılması

Karşılaştırma yapılan gerilme - birim deformasyon grafiği incelendiğinde başlıksız numunelere göre 5 cm ve 7,5 cm alüminyum başlıklı numunelerde büyük oranda rijitlik ve dayanım artışı olduğu tespit edilmiştir. Fakat 10 cm başlıklı numunelerin 7,5 cm lik başlıklı numunelere göre bir gelişme kaydetmediği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla bu tür numuneler için ideal numune başlık uzunluğunun 7,5 cm olduğu ortaya çıkmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

GFRP donatı çubuklarının çekme davranışının belirlenmesinde kullanılan numunelerin çekme makinası çene başlığından deforme olmasından dolayı numune uçlarına farklı uzunluklarda alüminyum başlık yapılmasının test sonuçlarını nasıl etkiletildiğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- Çelik donatılara alternatif olarak üretilen GFRP donatıların özellikle hafiflik ve korozyon direnci açısından avantajlar getirdiği, dolayısıyla bahsedilen özelliklerin ihtiyaç duyulduğu yapılarda tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.
- GFRP çekme test numunelerinin büyük oranda boyuna lif oranına sahip olmaları nedeniyle numune uçlarından çekme makine başlıkları tarafından sıkılmaları nedeniyle deformasyonların oluştuğu ve sonuçta testlerde göstermesi gereken dayanımı gösteremediği belirlenmiştir. Böylece deney hatası olarak kabul edilen bu davranışlarla büyük dayanım değeri yanılgılarına yol açabilecektir. Bu nedenle çekme testlerinde özel başlık tertibatının hazırlanması gereklidir.
- Alüminyum başlık uzunluklarının çekme dayanım değerlerini büyük oranda etkilediği, başlıksız numunelere göre 5 cm lik başlıklı numunelerin dayanımı % 17, 7,5 cm lik numunelerde % 49, 10 cm lik numunelerde % 48 oranında arttığı belirlenmiştir.
- En uygun başlık uzunluğunun tespitinde en fazla dayanım artışının 7,5 cm lik başlıklarda gerçekleştiği ve 10 cm lik başlıklarda değerin değişmediği tespit edilmiştir. Dolayısıyla en uygun başlık uzunluğu 7,5 cm olarak bulunmuştur.

6. Kaynaklar

- [1] Eurocomp, Structural Design of Polymer Composites, Design Code and Handbook, Edited by Clarke J. L., Chapman and Hall, London, 10-11, 1996.
- [2] Mallick, P.K., Composite Engineering Handbook, Marcel Dekker, New York, 10-11, 1997.
- [3] Ersoy, H. Y., KompozitMalzeme, LiteratürYayıncılık, İstanbul, 2010.
- [4] Bank, L.C., Composites for Construction Structural Design with FRP Materials, Wiley, New Jersey, 2006.
- [5] Hota, V.S. G., Vijay, P.V. And Narendra, T., Reinforced Concrete Design with FRP Composites, CRC Press 2007.
- [6] Ayman, M., Composites: Construction Materials For The New Era, Advance Polymer Composites for Structural Applications in Construction (ACIC), 2004; 45-58.
- [7] Karbhari, V.M., Durability of Advanced Polymer Composites in the Civil Infrastructure, Advance Polymer Composites for Structural Applications in Construction (ACIC) 2004; 31-38.
- [8] Halliwell, S.M. and Reynolds, T., Effective Use of Fibre Reinforced Polymer Materials in Construction, BRE Centre for Composites in Construction, London, 2004.
- [9] Lawrence, C., Bank, Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials, John Wiley & Sons Inc, 2006.
- [10] Boyle, H.C. and Karbhari, V.M., Investigation of Bond Behavior Between Glass Fiber Composite Reinforcements and Concrete, Journal of Polymer-Plastic Technology Engineering, Vol. 33-6 1994; 733-753.

- [11] Benmokrane, B., Chaallal, O., And Masmoudi, R., Flexural Response of Concrete Beams Reinforced with FRP Reinforcing Bars, *Structural Journal*, V. 93-1. 1996. 46-55.
- [12] Rizkalla, S.H., A New Generation of Civil Engineering Structures and Bridges,” *Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3)*, Sapporo, Japan, Vol. 1, pp. 113-128, 1997.
- [13] Tadros, G., Tromposch, E.; And Muftu, A., University Drive/Crowchild Trail Bridge Superstructure Replacement, *Second International Conference on Composites in Infrastructure (ICCI-98)*, Tucson, Arizona, Vol. 1, pp. 693-704, 1998.
- [14] Sami H. Rizkalla and Diğerleri, *Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars*, ACI raporu, 2000.