



BETONDA CFRP SARGI UYGULAMASININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

İlker USTABAŞ^{1*}, Ali GÜRBÜZ¹, Zafer KURT¹, Fatih DEŞİK²

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye

² DSİ 182. Şube Müdürlüğü, Merkez, Burdur, Türkiye

Anahtar Kelimeler

CFRP,
Karbon Elyaf,
Güçlendirme,
CFRP Modelleme,
Ansys.

Öz

Karbon fiber takviyeli kumaşlar (CFRP) gibi çeşitli polimer kompozitlerin deprem dayanımı yetersiz yapıların güçlendirilmesinde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu yeni güçlendirme yöntemi sargı etkisiyle betonarme elemanların basınç dayanımını artırırken sünek davranışa da önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında; mevcut bir yapıdan karot numuneler alınmıştır. Bu karot numuneler CFRP ile sarılarak güçlendirilmiş ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Aynı zamanda karot numuneler ANSYS yazılımıyla bilgisayar ortamında modellenerek bu model üzerinden teorik basınç dayanımları hesaplanmış ve bu teorik değerlerin deneysel dayanımlarla kıyaslanması yapılmıştır. Elde edilen teorik ve deneysel basınç dayanımları konuya ilişkin literatürle karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda tek kat ve iki kat CFRP sarılarak güçlendirilen numunelerin gerilme deformasyon sonuçları literatürdeki çalışmalarla örtüşen sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel ve teorik değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu bir modelleme yaklaşımı ortaya koyulmuştur.

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL COMPARISON OF CFRP CONFINEMENT APPLICATION ON CONCRETE

Keywords

CFRP,
Carbon Fiber
Strengthening,
CFRP Modelling,
Ansys.

Abstract

The use of various polymer composites such as carbon fiber reinforced fabrics (CFRP) in strengthening structures with insufficient earthquake resistance is becoming widespread in the building industry. While this new reinforcement method increases the tensile strength of reinforced concrete structural elements with the effect of winding, it also contributes significantly to ductile behavior. In this study, core samples were taken from a structure with a lower strength than the target strength. These core samples were reinforced by wrapping them with CFRP and their compressive strength was measured. At the same time, core samples were modeled in computer environment with ANSYS software, and theoretical compressive strengths were calculated on this model and comparison of these theoretical values with experimental strengths. The theoretical and experimental compressive strengths obtained were compared with the relevant literature. In this study, stress deformation results of the samples reinforced by wrapping single layer and two layers of CFRP were obtained that overlap with studies in the literature. A modeling approach in which experimental and theoretical values are compatible with each other has been introduced.

Alıntı / Cite

Ustabaş, İ., Gürbüz, A., Kurt, Z., Deşik, F., (2020). Betonda CFRP Sargı Uygulamasının Deneysel ve Analitik Olarak Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 921-930.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Ustabaş, 0000-0003-0473-2543
A. Gürbüz, 0000-0003-1123-9968
Z. Kurt, 0000-0002-4948-6318
F. Deşik, 0000-0001-5035-1894

Makale Süreci / Article Process

| | |
|----------------------------------|------------|
| Başvuru Tarihi / Submission Date | 07.08.2020 |
| Revizyon Tarihi / Revision Date | 25.08.2020 |
| Kabul Tarihi / Accepted Date | 15.09.2020 |
| Yayın Tarihi / Published Date | 24.09.2020 |

* İlgili yazar / Corresponding author: ilker.ustabas@erdogan.edu.tr, +90-464-223-7518/1224

1. Giriş (Introduction)

Türkiye’deki yapı stokunun ve nüfus yoğunluğunun önemli bir kısmı deprem tehdidi altındadır. Türkiye’de yapılan birçok bilimsel çalışma, mevcut yapıların önemli bir kısmının depreme hazır olmadığını ve güçlendirilmeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir (Ustabas, 2012; Kurt ve Ateş, 2019; Gurbuz ve Tekin, 2017);(Dilmaç vdig., 2018); (Dilmaç, H., 2020); (Tekeli vdig., 2020). Tehlike altındaki çok sayıda yapının kısa sürede güçlendirilebilmesi için etkili ve hızlı uygulanabilir yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu amaçla yapıların depreme karşı güçlendirilmesine ilişkin çok sayıda malzeme ve yöntem geliştirilmiş ve halen geliştirilmektedir (Ustabas ve Deşik, 2020; Baki vd., 2020.; Mirmiran ve Shahawy, 1997). Lifli polimer kompozitler (FRP) de literatürde yapı güçlendirme amacıyla sıkça kullanılan bu malzemeler arasında gösterilmektedir (Eid ve Paultre; 2017.; Çelik ve Karasın, 2014). FRP’ler son derece hafif bir malzeme olmaları ve şantiye sahasında uygulama kolaylığı gibi avantajları nedeniyle yapı güçlendirmelerinde tercih edilmeleri artmaktadır. İnce tabakalar şeklinde kullanılmasına karşın çok yüksek çekme dayanımına sahip olmaları özellikle betonarme elemanlar için FRP’yi bir kat daha önemli kılmaktadır (Lee vd., 2017.; İlki vd., 2003). Betonarme yapı elemanları genellikle santimetre ve metre ile ölçülür boyutlardadır. Milimetre düzeyindeki farklar sıva ve boya ile değişebilen tolerans sınırları içerisinde kalmaktadır (Karasin vd., 2010). Böylelikle FRP ile yapılan güçlendirmelerde eleman boyutları neredeyse hiç değişmemektedir. Bu da önemli bir avantajdır. Bunun yansira betonun en büyük eksiği olan çekme dayanımındaki yetersizlikleri bertaraf etmek için FRP sargılama yönteminin başarılı sonuçlar verdiği literatürde yapılan sayısız araştırma ile doğrulanmaktadır (Karasin vd., 2010., İlki vd., 2008., Mert ve Elmas, 2007). FRP malzemeler kullanılarak güçlendirilen yapı elemanlarının hem basınç kapasiteleri hem de süneklik değerleri kolaylıkla artırılabilir (Vincet ve Ozbakkaloglu, 2016.; Mirmiran ve Shavy, 1997). İlgili literatür incelendiğinde; tüm araştırmacılar FRP kompozitlerin yapı elemanlarının performansına önemli ölçüde katkı yaptığı konusunda hemfikirdirler (Lee vd., 2017; Yin vd., 2016.; Ozbakkaloglu ve Lim, 2013; Seffo ve Hamcho, 2012.; Xiao ve Wu, 2003).

Gelişen beton teknolojisiyle birlikte inşaat mühendisliğinde madencilikten ulaşıma bir çok yeni alan açılmıştır (Hiçyılmaz ve Özçelik, 2019). Beton teknolojisindeki gelişmelerle birlikte hızla artan beton dayanımları süneklik sorununa çözüm arayışlarını da beraberinde getirmektedir (Sarıbiyık, 2017). Genel olarak yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı yapılar, geleneksel betonların kullanıldığı yapılardan daha gevrek bir davranış sergilemektedir. Fiber takviyeli polimerlerle bu soruna da çözüm sunulabilir (Stolla vd., 2000). Yüksek dayanımlı beton kullanılan yapı elemanları fiber takviyeli polimerlerle dıştan sarılarak gevreklik sorunu çözülebilmektedir. Bu noktada sıkça tercih edilen polimerlerin başında karbon lif takviyeli olan kumaşlar gelmektedir. Karbon liflerle güçlendirilmiş polimerler (CFRP) FRP kompozitlerin bir çeşididir (Turgay vd., 2010). Çelikten daha yüksek elastisite modülüne sahip bu malzemenin dıştan sargılanmasıyla betonarme eleman süneklik kazanırken betonun çekme dayanımındaki zafiyet de telafi edilebilmektedir.

Bu çalışmada, hedeflenen dayanım sınıfından düşük kalan bir yapının betonunun CFRP ile bir kat ve iki kat olarak sarılarak beton basınç dayanımlarının artırılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında mevcut yapıdan karot numuneler alınarak, karot numunelerde ve CFRP sargılı karot numunelerde basınç dayanımları ölçülmüştür. Laboratuvarında deneye tabi tutulan betonlar ANSYS yazılım programıyla modellenerek bilgisayar programından da dayanımları hesaplanmıştır. Deneysel basınç dayanımlarıyla teorik basınç dayanımları kıyaslanmıştır. Böylelikle bu çalışma ile uygulanan model üzerinden araştırmacıların deneysel olarak uzun uğraşlarla elde ettikleri verilerin bir bilgisayar programı üzerinden daha çok miktarda ve türde veri elde etmesine imkan sağlanacaktır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada Ferhatlı – Gümüşhane Köy Yolu İnşaatı İncesu Köprüsü kolonlarından 9 adet karot numunesi alınmıştır. Karot numunelerinin anma çapı 100 mm’dir. Numune boyutları ayrıntılı olarak Tablo 5’de verilmiştir. Karotlar kükürt grafit karışımı ile başlıklanmışlardır. Karot numunelerinin üç tanesi sargısız olarak, üç tanesi bir kat CFRP sargılı olarak ve üç tanesi iki kat CFRP sargılı olarak TS EN 12390-3’e göre basınç dayanımları ölçülmüştür.

2.1. Çalışmada Kullanılan Malzeme Özellikleri (Material Properties Used in Study)

Bu çalışmada karot numune alınan köprü kolon betonlarında CEM I 42,5 R sınıfı çimento kullanılmıştır. Köprü kolonlarında kullanılan betona ait karışıma giren malzemeler ve karışım oranları Tablo 1’deki gibidir.

Tablo 1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Beton Karışım Malzemeleri (Concrete Mixed Materials Used Experimental Study)

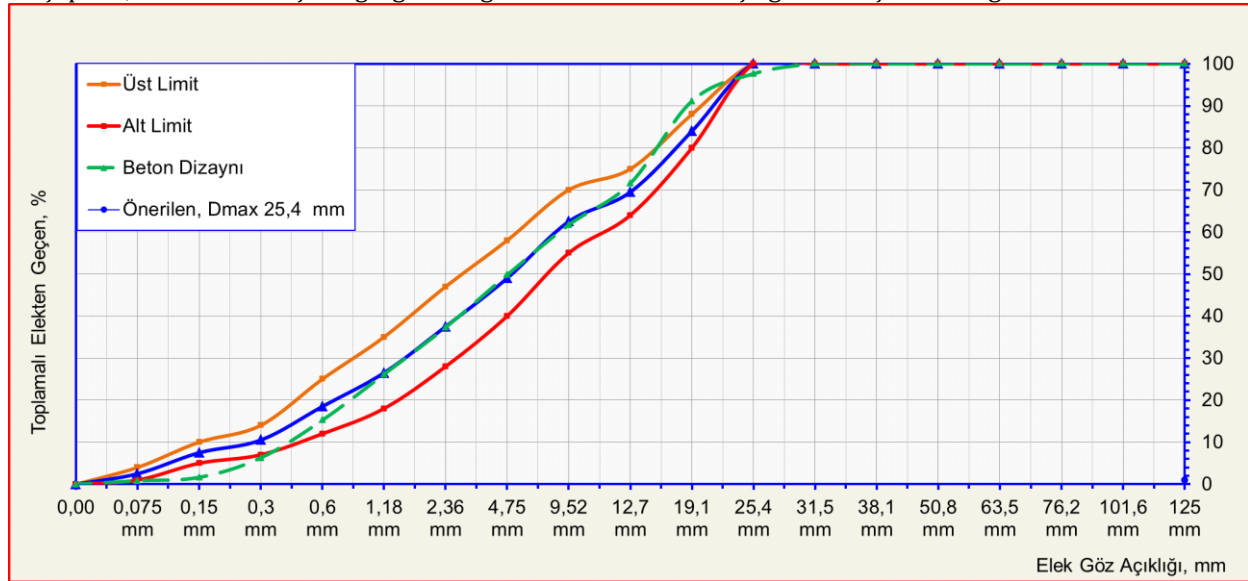
| Çimento Dozajı | Su | S/Ç | Kimyasal Katkı | | 12-25 mm | | 5-12 mm | | 0-5 mm | |
|----------------|-----|------|----------------|-----|----------|----|---------|----|--------|----|
| | | | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % |
| 350 | 187 | 0.53 | 4.2 | 1.2 | 496.7 | 28 | 372.5 | 21 | 904.6 | 51 |

Beton karışımında süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Betonda kullanılan agrega tane büyüklüğüne göre, bağıl yoğunluğu, su emme, ince madde oranı, incelik modülü ve metilen mavisi değerleri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Betonda kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler (Physical Properties of Aggregate Used in Concrete)

| Agrega ebadı (mm) | Bağıl yoğunluk (kg/dm ³) | Su emme (%) | İnce madde oranı (%) | İncelik modülü | Metilen mavisi |
|-------------------|--------------------------------------|-------------|----------------------|----------------|----------------|
| 12-25 | 2,66 | 1,6 | 0,6 | - | - |
| 5-12 | 2,62 | 1,9 | 0,9 | - | - |
| 0-5 | 2,60 | 2,5 | 8,7 | 3,1 | 1,0 |

Beton dizaynında kullanılan agrega granülometrisi Şekil 1'de görülmektedir. Şekil 1'deki agreganın maksimum tane çapı 31,5 mm'dir. Karışım agregasının granülometrisi kesikli çizgi olarak Şekil 1'de görülmektedir.

**Şekil 1.** Beton dizaynında kullanılan agrega granülometrisi (Aggregate Granulometry Used in Concrete Design)

Numuneleri güçlendirmek için kullanılan CFRP kumaş ve epoksi setinin üretici tarafından bildirilen özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. CFRP Kumaş ve Epoksinin Malzeme Özellikleri (Material Properties of CFRP Fabric and Epoxy)

| | CFRP | Epoksi |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| Yoğunluk | 1850 kg/m ³ , | 1300 kg/m ³ , |
| Çekme dayanımı | 4200 MPa. | 50MPa |
| Elastisite modülü | 240000 MPa | 3800MPa |
| Kopma uzaması : | %1.8 | %0.9 |
| Poisson oranı (%) | 0.2 | - |

Tablo 3'deki veriler malzeme tedarikçilerinden temin edilmiştir. Şekil 2'de köprü kolonlarından alınan karotlar görülmektedir. Köprü kolonlarından alınan 9 adet numuneden 3 tanesi standart karot numuneleri ayrıldıktan sonra kalan 6 numune epoksi yapıştırıcıyla yapışması için 3 gün bekletilerek, beton hava kurusu durumuna getirilmiştir. 3 gün bekletilen numunelerin yüzeyleri temizlenmiştir. Epoksi esaslı astar A (karışım miktarı:2,76 kg) ve B (karışım miktarı:1,24 kg) tipi 3 dakika boyunca karıştırıldıktan sonra numunelerin dış yüzeyine sürülüp

1 saat kurumaya bırakılmıştır. Ardından epoksi A tipi(karışım miktarı:3,73 kg) ve B tipi (karışım miktarı:1,27 kg) karışım kuruyan astarın üzerine uygulanmıştır. Tek yönlü, lifli polimer kumaş tipi karbon elyaf numunelere sarılmıştır. Çift kat sargı uygulanan numuneler 3 kat tek sargılı numuneler 7 gün kurumaya bırakıldıktan sonra üzerine tekrar epoksi yapıştırıcı sürülerek bir kat daha karbon elyaf kaplanarak üretilmişlerdir. Şekil 2'de karot numunelerinin karbon elyafla kaplanma aşamaları ve basınç dayanımı uygulanması görülmektedir.

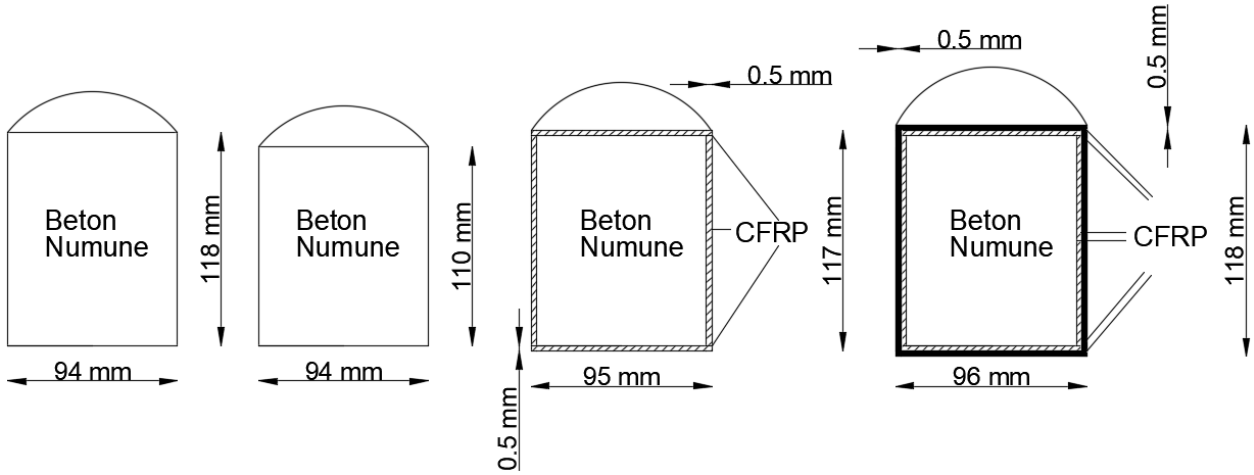


Şekil 2. Numunelerin CFRP kaplama ve basınç deneyine tabi tutulma aşamaları (Stages of Subjecting Samples to CFRP Coating and Pressure Testing)

2.2. Ansys Analiz ve Modelleme (Ansys Analysis and Modelling)

Basınç dayanımı testine tabi tutulan karot numuneler Ansys Workbench v17.2 sonlu eleman paket programında Şekil 3'de verilen boyutlarda modellenmişlerdir.

Modelleme yapılırken betonun nonlineer özelliklerini dikkate almak için Ansys Workbench paket programı malzeme kütüphanesinde bulunan Drucker-prager malzeme parametreleri kullanılmıştır. Aşağıda Tablo 4'de kullanılan betonun lineer ve nonlineer parametreleri verilmektedir.

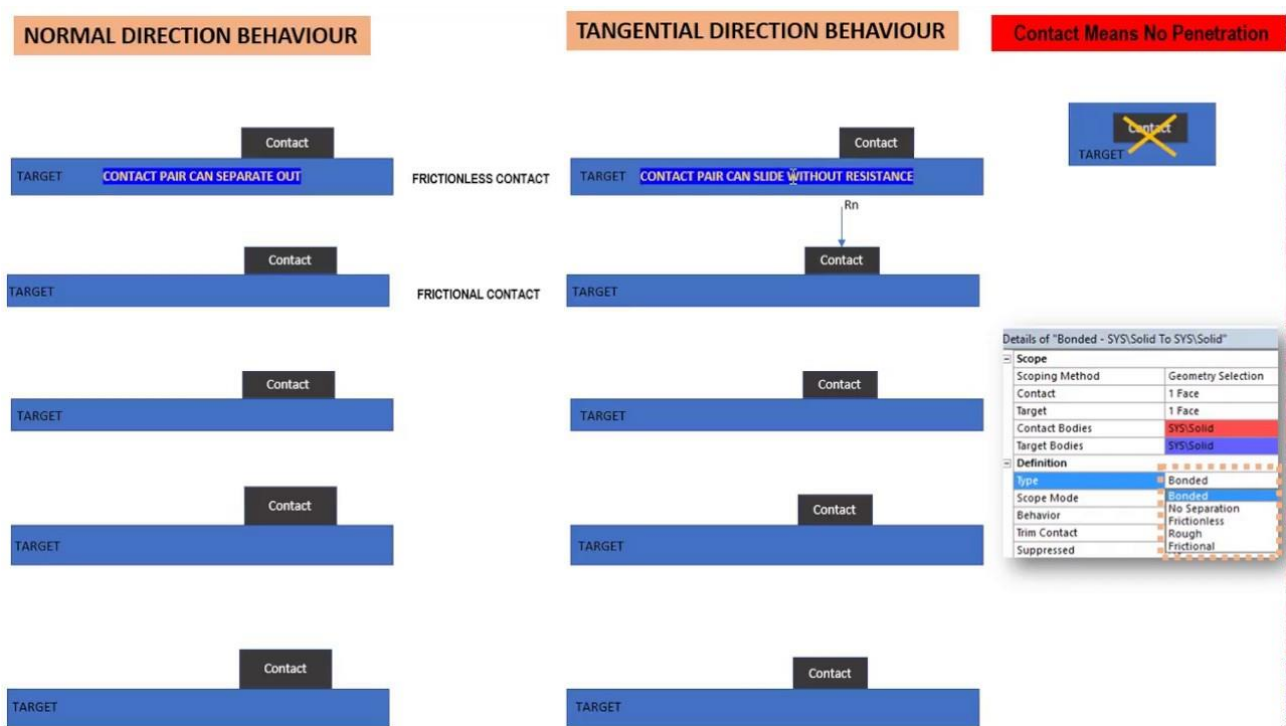


Şekil 3. Karot numunelerinin Ansys Workbench v17.2'deki modelleme boyutları (Modelling Dimensions of Core Samples in Ansys Workbench v17.2)

Tablo 4. Linear ve Nonlinear Parametreler (Linear and Nonlinear Parameters)

| Linear Parametreler | Değer |
|---|---------------------|
| Yoğunluk (kg/m^3) | 2300 |
| Elastisite Modülü (Pa) | $3\text{E}+10$ |
| Poisson Oranı | 0.18 |
| Hacim Modülü (Pa) | $1.5625\text{E}+10$ |
| Kayma Modülü (Pa) | $1.2712\text{E}+10$ |
| Nonlinear Parametreler (Drucker-Prager) | Değer |
| Ölçek | 1 |
| Öteleme (Pa) | 0 |
| Maksimum Çekme Gerilmesi (Pa) | $-4\text{E}+06$ |

Şekil 4'de kontakt tipleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Modelleme esnasında epoxy malzeme tanımlanmamış, CFRP malzemenin birbirine ve beton numunelere temas ettiği noktalarda kontakt tipi olarak bonded seçilmiştir. Bonded kontakt tipinde kullanılan geometrinin hem geometri eksenini hem de geometri eksenine dik doğrultuda yer değiştirmedeği kabul edilmektedir.

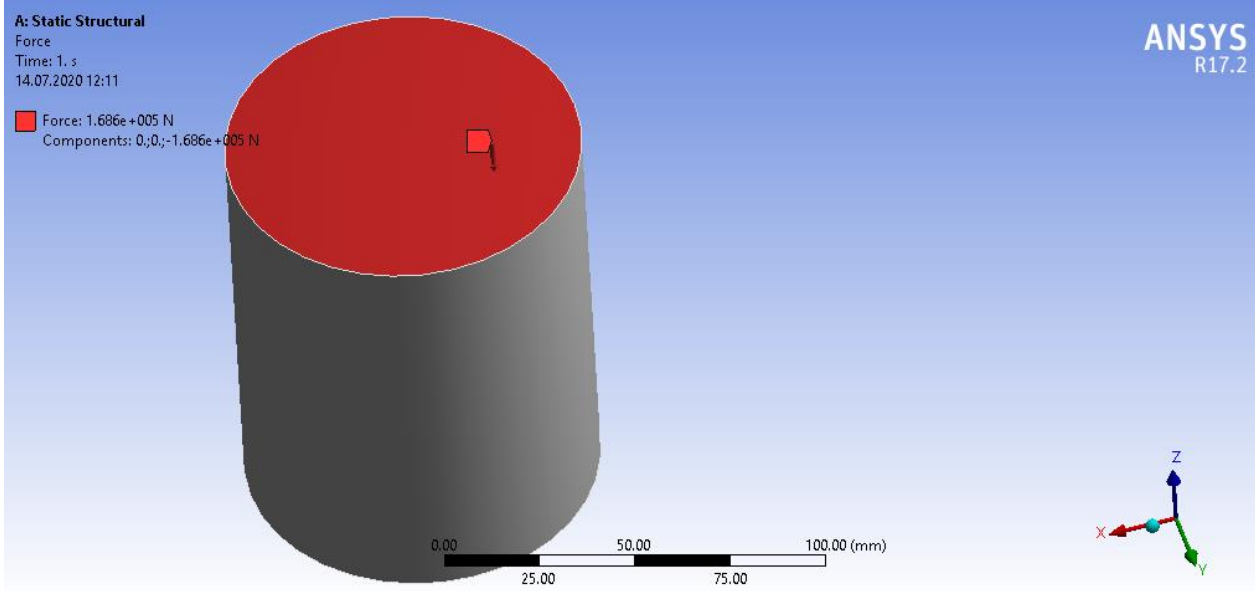


Şekil 4. Temas Tipleri (Contact Types) (URL-1)

Analiz esnasında yük olarak numunelerin tek eksenli basınç deneyinden elde edilen kırılma yükü -Z ekseninde numunenin üst düzlemine etkilmiştir. Etkitilen kırılma yükü aşağıdaki Tablo 5 ve Şekil 5’de verilmiştir.

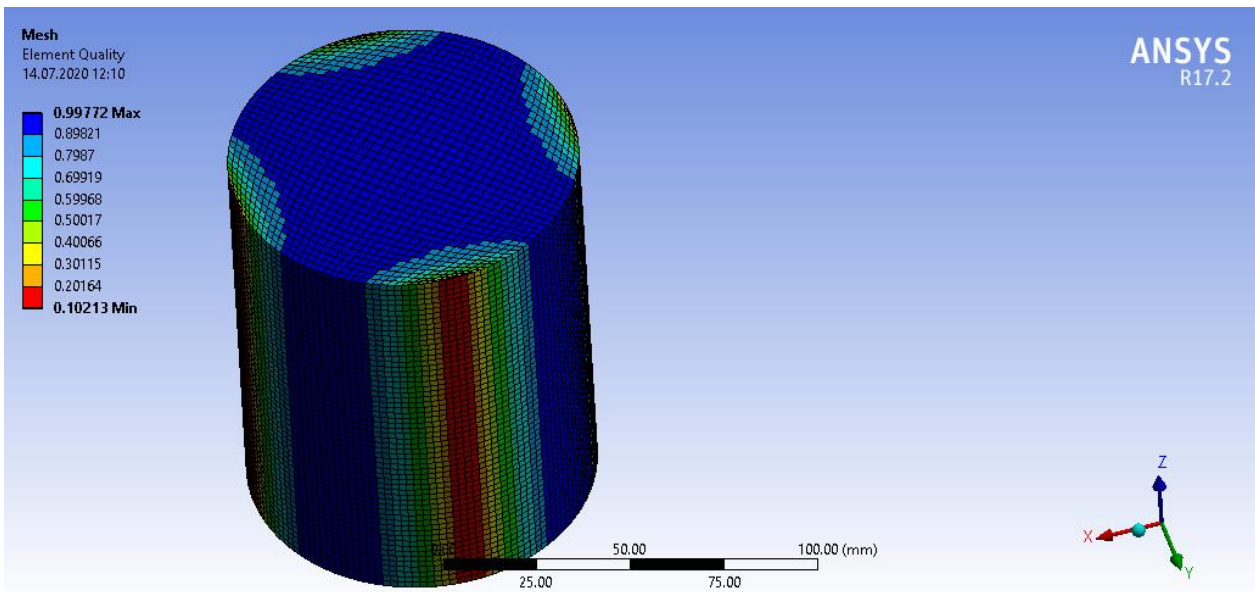
Tablo 5. Numunelerin Analizlerdeki Kırılma Yükleri (Failure Loads of Samples in Analysis)

| Numune Kodu | Çap (mm) | Yükseklik (mm) | Kırılma Yükü (kN) |
|----------------------------|----------|----------------|-------------------|
| K-SRGSZ1 (CFRP siz) | 94 | 118 | 168.60 |
| K-SRGSZ1 (CFRP siz) | 94 | 110 | 178.00 |
| K-TKSRGL1 (Tek Kat CFRP) | 95 | 117 | 357.40 |
| K-ÇFTSRGL1 (Çift Kat CFRP) | 96 | 119 | 488.20 |



Şekil 5. Numunelere -Z ekseninde uygulanan yük (Load Applied to -Z Axis) (Ansys Workbench V17.2)

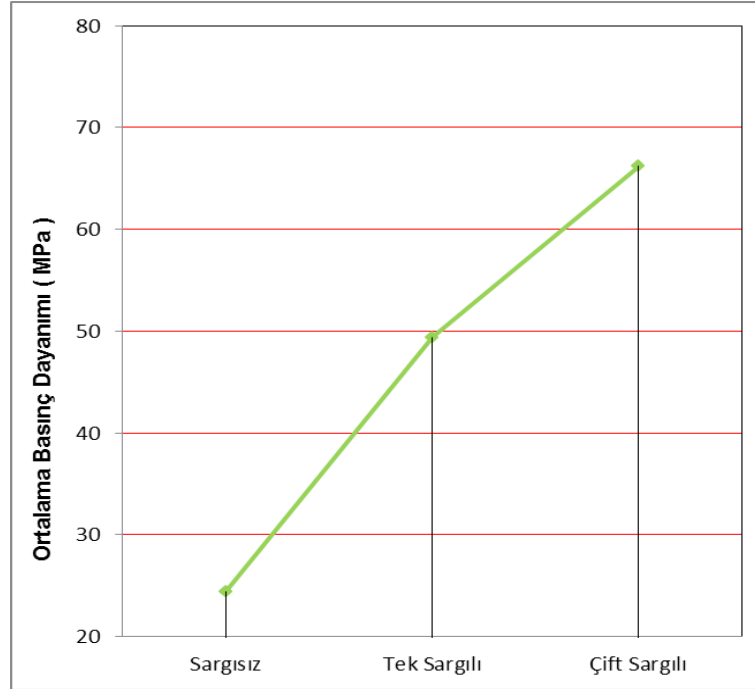
Sonlu elemanlar yönteminin doğru ya da kabul edilebilir sonuçlar verebilmesi için sonlu eleman diğer bir deyişle mesh kalitesi önemli bir yer tutmaktadır. Mesh boyutu yer değiştirmeleri çok etkilememesine rağmen yer değiştirmenin dördüncü derece türevi olarak ifade edilebilen gerilmelerde hata oranı kümülatif olarak artmaktadır. Bu nedenle doğru ve kabul edilebilir gerilme sonuçları için küçük mesh boyutları kullanmak doğru bir tercih olacağı öngörülmektedir. Ayrıca kullanılan numuneler dairesel olduğundan dolayı hegzagonal mesh seçeneği kullanılması uygun görülmüştür. Bu çalışmada karot numuneler Şekil 6’da görüldüğü gibi mesh edilip maksimum mesh boyutu olarak 2 mm, ortalama mesh kalitesi ise yaklaşık olarak %87 kullanılmıştır.



Şekil 6. Mesh kalitesi (Mesh quality) (Ansys Workbench V17.2)

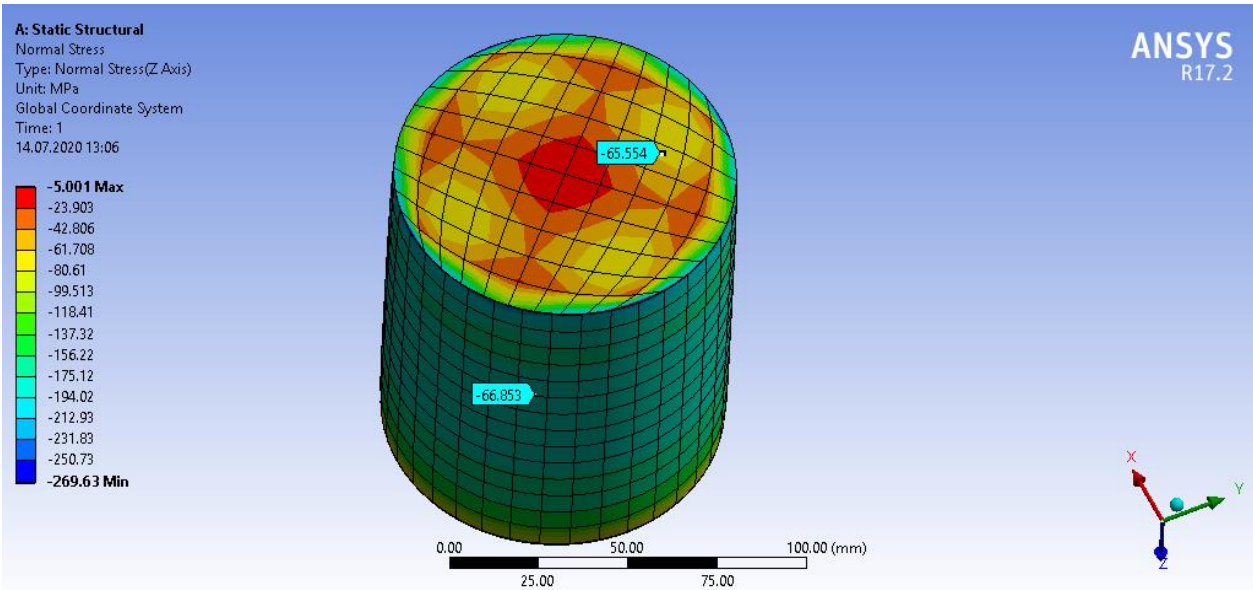
3. Bulgular(Experimental Results)

Bu çalışmada Ferhatlı – Gümüşhane Köy Yolu üzerindeki İncesu köprüsü sertleşmiş betonundan alınan 100mm anma çapa sahip 3'er adet numuneye ait ortalama basınç dayanımları Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. İncesu Köprüsünden Alınan Karot Numunelerin Ortalama Basınç Dayanımları (Average Compressive Strengths of Core Samples Taken from İncesu Bridge)

Şekil 7'de İncesu Köprüsü beton imalatlarından alınan karot numunelerin ortalama basınç dayanımı 24,8MPa olarak ölçülmüştür. Tek sargı karbon elyaf ve çift sargılı karbon elyaf kaplanması beton basınç dayanımını artırmaktadır. Şekil 8'de Ansys analiz programında modellenmiş çift sargı CFRP sargılı karot numunelerinde elde edilen numunelerdeki basınç gerilim dağılımı görülmektedir.



Şekil 8. Çift kat CFRP sargılı analiz modeli üzerinde gerilme dağılımları (Stress Distributions on Double CFRP Wrapped Analysis Model) (Ansys Workbench V17.2)

Tablo 6'da Ansys Workbench v17.2 sonlu eleman paket programında elde edilen basınç ve sayısal basınç dayanımları ile deneysel basınç dayanımları arasındaki oransal farklar görülmektedir.

Tablo 6. Analiz ve deney sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of Analysis and Experimental Results)

| Numune Kodu | Ansys (MPa) | Deney (MPa) | Rölatif Hata (%) |
|----------------------------|-------------|-------------|------------------|
| K-SRGSZ1 (CFRP siz) | 24.5 | 24.8 | 1.2 |
| K-TKSRGL1 (Tek Kat CFRP) | 47.9 | 49.4 | 3.04 |
| K-ÇFTSRGL1 (Çift Kat CFRP) | 65.5 | 66.2 | 1.06 |

DeneySEL karot numuneleri basınç dayanımları ile sayısal olarak hesaplanan basınç dayanımları arasında %1 ile %3 arasında değişen farklar görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç (Discussion and Conclusion)

Bu çalışma kapsamında sargısız, tek kat CFRP sargılı ve iki kat CFRP sargılı silindirik beton numunelerin basınç dayanımları deneysel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada karot alınan sargısız numunelerin ortalama basınç dayanımı 24,8MPa olarak elde edilmiştir. Sargısız numunelere 0,5 mm kalınlığında epoksi ile tek yönlü CFRP kumaş sargı takviyesi yapıldığında ortalama numune dayanımının %95 artışla 49.4MPa'ya çıktığı görülmüştür. Çift kat (toplam 1mm) sargı uygulandığında ise basınç dayanımının sargısız numuneye oranla %167 artışla 66.2MPa'ya ulaştığı görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen değerler literatürde benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında birbirleriyle tutarlı sonuçlar olduğu görülmektedir (Liv d., 2020). Literatürde bu konuyla ilgili birbirinden farklı değerler elde edilmiş ve tek kat sargı için %100'e varan iki kat sargı içinse %200'e varan dayanım artışı elde edilmiştir. Elbette bu artış sargı malzemesinin özelliklerine, numunelerin boyutlarına, beton kalitesine ve uygulanan yüklemeye göre değişiklik göstermiştir. Bununla birlikte yapılan araştırmaların çoğunda 150x300 mm standart silindirik numune boyutları tercih edilmiştir. Bu boyutlar için CFRP güçlendirme ile kazanılan dayanım artışında literatür ortalaması tek kat sargı için %25, çift kat sargı içinse %50 civarındadır (Çelik ve Karşın, 2014; Lam ve Teng, 2009; İlki vd., 2003;). Bazı çalışmalarda ise %100'ü aşan dayanım artış değerleri elde edilmiştir (Adibelli vd., 2017). Literatürdeki farklı sonuçlar birçok sebebe bağlanabilir. Kullanılan polimerin özellikleri başta olmak üzere güçlendirilen elemanın boyutları ve beton sınıfı gibi faktörler de dayanım artışını etkilemektedirler. Standart numunede beton dayanım sınıfı azaldıkça CFRP sargının etkisi daha hissedilir olabilmektedir. Bir diğer etkense numunelerin çap ve boylarıdır. Numune çapı arttığında sargı etkisi nispeten azalmaktadır. Numune boyu arttıkça da sargı etkisinde azalma beklenebilir. Örneğin Sarıyılık, (2017) yaptığı çalışmada 150x300mm boyutlarındaki silindirik numuneleri tek kat ve çift kat CFRP sargı ile güçlendirmiştir. 30MPa olan standart numune dayanımının tek kat sargı ile %67'lik artışla 50MPa'ya yükseldiği; çift kat CFRP sargıda ise %113'lük artışla 64MPa'ya yükseldiği görülmüştür (Sarıyılık, 2017). Bu çalışmada kullanılan silindirik numunelerin çapları 94mm ve boyları 110-120mm aralığındadır. Bu boyutlar için elde edilen dayanım artış değerlerinin literatür ortalamasının üzerinde olması beklenen bir durumdur.

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel veriler Ansys programıyla bilgisayar ortamında modellenerek elde edilen Tablo 6'deki veriler; tanımlanan bilgisayar modellerinin %1-3 hata payıyla deneysel verileri doğruladığını göstermektedir. Nonlineer malzeme özellikleri ve katı cisimler arası temas problemleri dikkate alındığında elde edilen değerler oldukça yaklaşık sonuç vermektedir (Yaylacı vd., 2019). Bu durum laboratuvar ortamında çok sayıda deney numunesi üretilerek elde edilecek deneysel verilerin bilgisayar ortamında çok daha kolay ve kısa sürede elde edilebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- 1- Betona epoksi ile CFRP sargısı basınç dayanımını artırmaktadır.
- 2- Bu çalışmadaki özellikte ve boyutlarda bir beton numunesinin basınç dayanımında tek sargı ile %64'e, çift sargı ile %167'e varan oranlarda basınç dayanımı artışı elde edilebilmektedir.
- 3- Betona CFRP sargısı numune kesit boyutlarında çok az miktarda artışa yol açmasına rağmen basınç dayanımlarını önemli oranda artırmaktadır.
- 4- Ansys programıyla uygun modelleme yaklaşımı ile deneysel olarak elde edilen değerlere oldukça yakın basınç dayanım değerleri elde edilebilmektedir.
- 5- Bu çalışmada önerilen modelleme yaklaşımı CFRP sargılama ile gerçekleştirilecek güçlendirme projelerinde kullanılabilir bir yöntemdir. Böylece güçlendirilecek yapının ve taşıyıcı sistem elemanlarının CFRP sargı sonrası dayanım değerlerinin hesaplanabileceğini ortaya koymuştur.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma T.C Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Artvin beton laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı tüm kurum çalışanlarına teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Adibelli, H., Unal, I., Varisli, M. (2017). Karbon elyaf ve cam elyaf kumaş ile sargılı betonların aksel basınç altında davranışı, 20. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ, 05 - 09 Eylül, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Baki, V. A., NAYIR, S., ERDOĞDU, Ş., & Ustabas, I., (2020). Determination of the Pozzolanic Activities of Trachyte and Rhyolite and Comparison of the Test Methods Implemented. INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING .
- Çelik, V. Ç., Karaşin, H., (2014). Karbon Elyaf İle Betonun Güçlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, sayfa 1-11.
- Dilmaç, H., Ulutaş, H., Tekeli, H., & Demir, F. (2018). An Evaluation on Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(Ek (Suppl.) 1), 224-237.
- Dilmaç, H. (2020). Preliminary assessment approach to predict seismic vulnerability of existing low and mid-rise RC buildings. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-33. Mechanics, 75(2), 211-227.
- Eid, R., Paultre, P., (2017). Compressive behavior of FRP-confined reinforced concrete columns, Eng. Struct., vol. 132, pp. 518–530.
- Gurbuz, A. Tekin, M., 2017. Developing Damage Estimation Methods for Different Types of Reinforced Concrete Buildings, TEKNİK DERGI , vol.28, pp.8051-8076.
- Hiçyılmaz, Ö , Özçelik, M . (2019). Ankara – Sivas Demiryolu Hızlı Tren Projesi T-5 Tüneli Yapım Çalışmaları . Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi , 7 (2) , 321-329 . DOI: 10.21923/jesd.491825.
- Ilki, A., Kumbasar, N., Koç, V., (2003). Low and medium strength concrete members confined by fiber reinforced polymer jackets, ARI Bull. Istanbul Tech. Univ., vol. 53, no. 1.
- İlki, A., Kumbasar, N., (2002). Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme ile Hasarlı Betonarme Elemanların Onarım ve Güçlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, s. 2598-2616.
- Ilki, A., Peker, O., Karamuk, O., Demir, C., Kumbasar, N., (2008). FRP Retrofit of Low and Medium Strength Circular and Rectangular Reinforced Concrete Columns. Mater. Civ. Eng., vol. 20, no. 2, pp. 169–188.
- Karashin, H., Öncü, M., Yılmaz, S., (2010). Cfrp İle Güçlendirilmiş Kesitlerin Tekrarlanan Yükler Altındaki Davranışı. E-Journal of New World Sciences Academy, 5(3), 130613114.
- Kurt, Z., & Ateş, Ş., (2019). Sismik İzolasyonlu Betonarme Bir Köprünün Dinamik Analiz Yöntemlerinin Kesit Tesirlerine Etkisi . 4. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu.
- Lam, L., Teng, F. G., (2009). Stress-strain model for FRP-confined concrete under cyclic axial compression,” Engineering Structures, 11(2) 308–321.
- Lee, D.H., Han, S.J., Kim, K.S., LaFave, J.M. (2017). Shear strength of reinforced concrete beams strengthened in shear using externally-bonded FRP composites. Composite Structures 173, 177–187.
- Li W., Tang S., Huang Z., Yang X., Shi T., Xing F., (2020) Shear behavior of concrete beam reinforced in shear with carbon fiber reinforced polymer mesh fabric (CFRP-MF) configuration, Engineering Structural, 218, 110828.
- Mert, N., Elmas, M. (2007). Fiber Takviyeli Polimerle Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Analizi, Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Mirmiran, A. Shahawy, M., (1997). Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composites, J. Struct. Eng., vol. 123, no. 5, pp. 583–590.
- Vincent, T., Ozbakkalolu, T., (2016). Influence of overlap configuration on compressive behavior of CFRP-confined normal- and high-strength concrete. Mater Struct 49, 1245–1268. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0574-x>.
- Ozbakkalolu, T., Lim, J. C., (2013). Axial compressive behavior of FRP-confined concrete: Experimental test database and a new design-oriented model,” Compos. Part B Eng., vol. 55, 607–634.
- Sarıbıyık, A., (2017). Betonların Güçlendirilmesinde FRP Kompozitlerin Hibrit Olarak Kullanımının Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2), 383-391.
- Seffo, M., Hamcho, M., (2012). Strength of concrete cylinder confined by composite materials (CFRP),” in Energy Procedia, vol. 19, pp. 276–285.
- Stolla, F., Saliba, J. E., Casper, L.E. (2000). Experimental study of CFRP-prestressed high-strength concrete bridge beams. Composite Structures, 49 (2) 191-200.
- Tekeli, H., Dilmaç, H., Demir, F., & Güler, K. (2020). Prediction of Seismic Performance of Existing Framed Reinforced Concrete Buildings. Journal of Performance of Constructed Facilities, 34(3), 04020030.
- TS EN 12390-3, (2003). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3 :Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Ankara.
- Turgay, T., Polat, Z., Koksall, H. O., Doran, B., Karakoç, C., (2010). Compressive behavior of large-scale square reinforced concrete columns confined with carbon fiber reinforced polymer jackets, Mater. Des., vol. 31, no. 1, pp. 357–364.
- Ustabas, I., (2012). The effect of capillarity on chloride transport and the prediction of the accumulation region of chloride in concretes with reinforcement corrosion, Construction and Building Materials 28 (1), 640-647.
- Ustabas, I., Desik, F., (2020). Transition coefficients between compressive strengths of samples with different shape and size in mass concrete and use of weight maturity method in dam construction. STRUCTURAL CONCRETE .
- Xiao, Y., Wu, H., (2003). Compressive behavior of concrete confined by various types of FRP composite jackets,” J. Reinf. Plast. Compos., vol. 22, no. 13, pp. 1187–1201.
- Yaylacı, M , Bayrak, M , Avcar, M . (2019). Finite Element Modeling of Receding Contact Problem . International Journal of Engineering and Applied Sciences , 11 (4) , 468-475 . DOI: 10.24107/ijeas.646718.

- Yin, P., Huang, L., Yan, L., Zhu, D., (2016). Compressive behavior of concrete confined by CFRP and transverse spiral reinforcement. Part A: experimental study, *Mater. Struct.*, vol. 49, no. 3, pp. 1001– 1011.
- Zhong, Y. Z., Yu, Q., Tao, Z., (2008). Compressive behaviour of CFRP-confined rectangular concrete columns, *Mag. Concr. Res.*, vol. 60, no. 10, pp. 735–745.