

CFRP ile Güçlendirilen Çelik Plakaların Çekme Dayanımının İncelenmesi

Elif Boru^{1*}

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü / Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

*(eorak@subu.edu.tr)

Özet –İnşaat sektöründe mevcut olan ve sektördeki kullanımı giderek artan çelik yapıların güçlendirilmesi ihtiyaç ve bazı durumlarda zaruret haline gelmektedir. Yapılan güçlendirmelerin ekonomi, uygulanabilirlik ve yapı kullanılabilirliği açısından birçok farklı uygulaması mevcuttur. Fiber takviyeli polimerler ile çelik plakaların güçlendirilmesi yüksek maliyetli güçlendirme veya yeniden yapım maliyetinin düşürülmesi ve kullanım aksaklığını önlemeyi hedeflenmektedir. Bu çalışmada inşaat sektöründe kullanımı hızla artan Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) kumaş kullanılarak çelik plakalar güçlendirilmiştir. Çelik plakalara epoksi, polyester ve vinilester olarak üç farklı reçine ile CFRP uygulaması yapılmış ve çekme dayanımında meydana gelen değişim belirlenmiştir. CFRP kumaş güçlendirme etkisini daha net görmek amacıyla üç katmanlı olarak uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler – CFRP, Çelik Plaka, Epoksi, Polyester, Vinilester, Çekme Dayanımı

I. GİRİŞ

Hızla artan insan nüfusu ve doğal kaynakların değişimi dünya genelinde barınma ihtiyaçlarında ve malzemelerinde değişikliğe yol açmaktadır. Can güvenliği, konfor ve ekonomi gibi sebeplerin etkisiyle inşaat sektöründe farklı malzemelerin kullanımı söz konusudur. Günümüzde yapı sektöründe büyük paya sahip olan çelik kullanılan malzemeler arasında önemli bir yere sahiptir.

Mevcut yapılarda doğal afetler, uzun yıllar kullanım sonucunda malzeme rijitliğinde azalma, değişen yapı işlevi sonucu artan yükler veya kullanım amacını değiştirme vb. sebepler sonucunda güçlendirme ihtiyacı oluşmaktadır. Yapılan güçlendirme işleminde yapının kullanım aksaklıklarının önlenmesi, güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetinden düşük olması ve tahribatsız olması gibi etkenlerden dolayı fiber takviyeli polimerlerin (FRP) kullanımı inşaat mühendislerinin dikkatini çekmektedir.

Kompozit malzemeler olan FRP'ler elyaflar ile güçlendirilmiş bir polimer matristen yapılmaktadır. FRP reçinesi ve FRP lifi olmak üzere iki bileşenden oluşurlar. Farklı endüstrilerde ve binalarda çeşitli uygulamalara sahiptir. Çekme mukavemetinin yüksek, ağırlığının ise düşük

olması avantajları ile çeşitli endüstrilerde, binaların yapım ve güçlendirilmesi, ayrıca koruyucu kaplamalar için kullanılan yeni malzemelerden biridir.

FRP'ler arasında en çok tercih edilenler Cam Elyaf Takviyeli Plastik (GFRP), ve Karbon Fiber Takviyeli Polimerlerdir (CFRP). GFRP ekonomikliği, CFRP ise yüksek mukavemeti ile ön plana çıkmaktadır.

FRP malzemelerin beton, çelik ve ahşap malzemelerine uygulanması üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur [[1]–[6]][7]–[9]]

Akgül çalışmasında GFRP ile güçlendirilmiş çelik numuneleri çekme deneyine tabi tutmuştur. Çekme deneyi sonucunda güçlendirilmiş numunelerin akma dayanımlarında %33' lük bir artış sağlamıştır. Çalışmada aynı zamanda eğilme ve burkulma deneyleri de yapılmıştır. Eğilme deneyinde, tek yönlü GFRP güçlendirmesi yapılan numunelerde %23,7' lik bir eğilme dayanımı artışı, çift yönlü güçlendirmede ise %71,3'lük bir dayanım artışı tespit etmiştir. Burkulma deneyinde ise %28,5'lik bir dayanım artışı tespit etmiştir. Akgül bu çalışmada GFRP ile yapılacak güçlendirmenin hasarlı yapılarda çözüm potansiyelinin yüksek olduğunu belirtmiştir [10].

Dindar, CFRP ile güçlendirilmiş çeliklerle 0°, 45° ve 90° açılı oval çentikli 301 östenitik paslanmaz çelik levhanın CFRP yama ile tamir edilebilirliğini araştırmıştır. Çalışmaları sonucunda çentik açısı ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş çelik levhaların çekme ve akma dayanımlarının değişimini sunmuştur. Çalışma sonucunda CFRP ile yama yapılmış çelik levhaların akma dayanımlarında belirgin bir şekilde iyileşme olduğunu ve bu tür çentik hasarların tamiratında pratik bir tamir elemanı olarak kullanılabileceğini belirtmiştir [11].

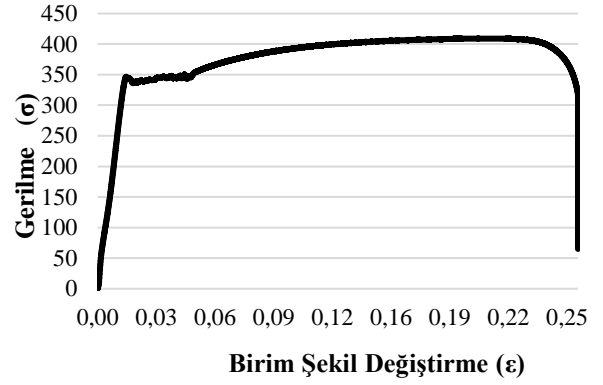
Yılmaz vd. FRP uygulanan yüzeylerde yapışma yüzeyinde iyi bir aderans olması gerektiğini ve fiberlerin maksimum dayanımı lif doğrultusunda gösterdiğini belirtmiştir. Aynı zamanda kullanım durumuna bağlı olarak kumaş FRP'lerin farklı tabaka sayılarında ve kalınlıklarda uygulanabileceği gibi şerit biçiminde kaplanarak veya tüm yüzeyin kaplanarak uygulanabileceğini belirtmiştir. [12]

Aydın ve Aktaş, ısıtıl işlem uygulanan plakalara GFRP yapıştırmış ve güçlendirme işleminde farklı yapıştırma şekilleri denemiştir. Isıl işleme tabi tutulduktan sonra GFRP ile güçlendirilen numunelerin basınç değerinde %107 artış tespit etmiştir. [13]

Bu çalışmada çelik plakaların CFRP ile güçlendirildiğinde çekme dayanımında meydana gelen değişim araştırılmıştır. CFRP'yi çelik plakaya yapıştırmak amacıyla epoksi, polyester ve vinilester reçinesi olmak üzere üç farklı reçine kullanılarak çalışmanın kapsamı genişletilmiştir. Üç farklı yapıştırıcı kullanılarak uygulanan güçlendirme işlemi sonucunda çeliğin çekme dayanımındaki değişim karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada, ortalama akma dayanımı 350 MPa, ve ortalama çekme dayanımı 410 MPa olan çelik plakalar (Şekil 1) üç farklı reçine (epoksi, polyester, vinilester) kullanılarak CFRP ile güçlendirilmiş numune çekme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler 20x250x3 mm boyutlarında imal edilmiştir. Referans ve her güçlendirme durumu için iki deney numunesi kullanılmıştır.



Şeki 1. 1. Çelik plaka çekme deneyi

A. CFRP

Güçlendirme malzemesi olan CFRP polimer matris için takviye edici bileşen olarak karbon fiberler içermektedir. Diğer FRP formlarına göre daha düşük yoğunluğa ve ağırlığa sahiptir, mukavemeti diğerlerinden oldukça yüksektir. Yoğunluğu 2,27 g/cm³'tür. CFRP'ler, pultrüzyon, filament sargısı ve el döşeme işlemleri gibi farklı üretim teknikleri ile şerit, çubuk ve levha şeklinde üretilmektedir[14]. Deney çalışmasında 300 gr/m² yoğunluklu tek yönlü kumaş karbon elyaf kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Deneyde kullanılan tek yönlü kumaş CFRP

B. Reçineler

FRP kompozit fiberler, yapıştırıcılar ve güçlü reçineler kullanılarak çeşitli yüzeylere yapıştırılırlar. Reçineler kürlenme işlemi ile sert polimerlere dönüşebilen viskoz malzemelerdir. Doğal olarak oluşmakla birlikte, günümüzde sentetik olarak da üretilmektedir. Temel olarak reçine ve sertleştirici bileşiminden oluşurlar.

Epoksi reçineler çevre koşullarına dayanabilen güçlü ve esnek bir yapıya sahip, polimer plastik malzemelerdir. Bileşenlerden biri yapıştırıcı, diğeri ise sertleştiricidir.

Vinilester reçineler epoksi reçinesinin doymamış bir monokarboksilik asit ile esterleştirilmesiyle üretilmektedir. Matris veya kompozit malzemelerdeki polyester ve epoksi malzemelerin alternatifi olarak kullanılmaktadır. Vinilester reçineler yüksek mekanik özellikleri ve darbe direnci, birçok kimyasal maddeye karşı dayanıklılığı, ısı dayanıklılığı ve yapısal deformasyonlardan kaynaklanan korozyona karşı yüksek bir dirence sahip olması ile ön plana çıkmaktadır. CFRP ve GFRP ile mükemmel bir uyuma sahiptir. Vinilester reçineler, belirli oranlarda kobalt ve mek peroksit ilave edilerek kullanılmaktadır [15].

Polyester reçineler ise, dikarbolik asitler ile glikollerin reaksiyonu sonucu oluşan polimerik malzemelerdir. Hava koşullarına dayanıklılık, yüksek korozyon direnci ve kimyasallara karşı direnç kabiliyeti tercih sebepleri arasında yer almaktadır. Yapısal mühendislik CFRP ve GFRP uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Polyester reçineler, belirli oranlarda kobalt ve mek peroksit ilave edilerek kullanılmaktadır.

Mek-P (Serleştirici), Metil Etil Keton Peroksit karışımıdır. Oda sıcaklığında doymamış polyester reçineleri kürelemek amacıyla kullanılmaktadır. Oda sıcaklığında kobalt hızlandırıcılarla birlikte kullanılması uygundur.

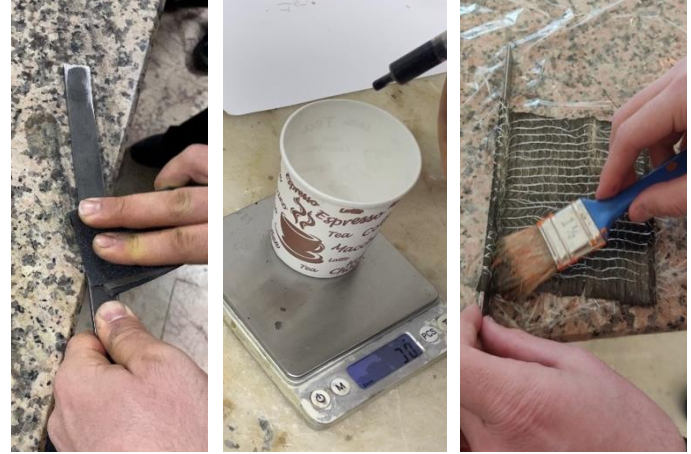
Kobalt hızlandırıcılar, düşük viskoziteli, küreleme sistemlerinde hızlandırmaya yardımcı olan bir malzemedir. Oda sıcaklığında MEK peroksit ile doymamış polyester ve vinilester reçinelerinin sertleşmesine yardımcı olmaktadır (Şekil 3)[15].



a. MEK sertleştirici b. Kobalt hızlandırıcı
Şekil 3. Reçine sertleştiricileri

C. Numune Hazırlama

Kumaş CFRP ile güçlendirilecek olan numuneler P120D zımparası ile zımparalanarak yüzey temizliği ve pürüzlendirme işlemi yapılmıştır. Bu şekilde CFRP ile çelik arasındaki aderansın artırılması hedeflenmiştir. Numuneler üzerine tam sarım yapılarak kumaş CFRP üç katlı olacak şekilde her katmana epoksi, polyester ve vinilester reçine sürülerek yapıştırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Deney numunelerinin hazırlanması

Katman adedi CFRP etkisini daha net görmek amacıyla artırılmıştır. CFRP ve reçine arasındaki yeterli sertleşme gerçekleştikten sonra tüm numunelere Shimadzu markalı 50 KN kapasiteli metal çekme makinesi ile çekme deneyi yapılmıştır (Şekil 5). Tüm numunelerde deney hızı 3 mm/dk olarak kullanılmıştır.



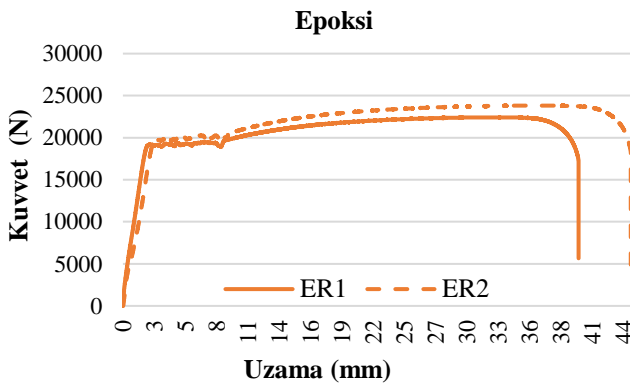
Şekil 5. Çekme deney düzeneği

III. BULGULAR

Deney sonuçları reçine isimleri dikkate alınarak isimlendirilmiş ve sunulmuştur. Epoksi reçine ile CFRP yapıştırılan numuneler ER, polyester reçine ile yapıştırılan numuneler PR, vinilester reçine kullanılan numuneler ise VR olarak isimlendirilmiştir.

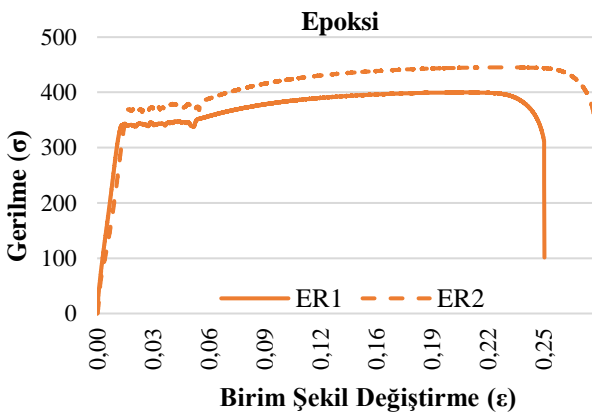
A. Epoksi Reçine Deney Sonuçları

Çekme deneyi sonucunda ER numuneleri referans numunesine göre %0,83 daha az yük taşımıştır. Uzama miktarına bakıldığında ise referans numunesine göre ortalama % 1,69 daha fazla uzama artışı göstermiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Epoksi reçine kuvvet-uzama grafiği

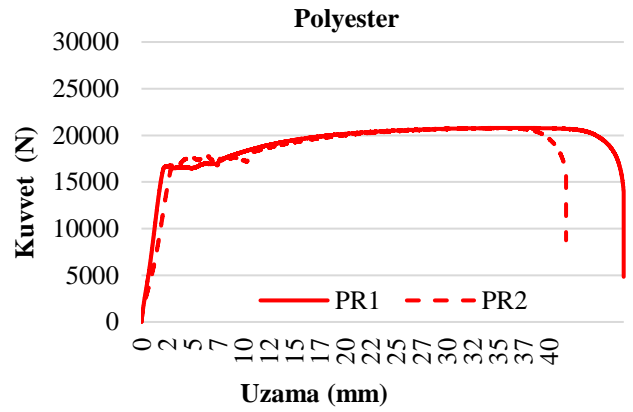
Epoksi kullanılan numunelerin gerilme değerleri incelendiğinde ortalama akma dayanımı 355,92 N/mm² olup referans numunesine göre %1,67 artış olmuştur. Ortalama çekme dayanımı ise 422,66 N/mm² olup, %2,90 artış belirlenmiştir. Birim şekil değiştirme değerinde ise ortalama % 1,15'lik artış meydana gelmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Epoksi reçine gerilme-şekil değiştirme grafikleri

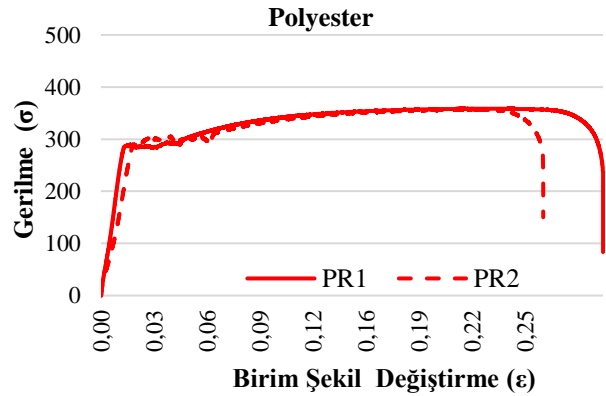
B. Polyester Reçine Deney Sonuçları

Polyester kullanılan PR numuneleri ortalama 20780,45 N yük taşımış olup yük taşıma kapasitesinde, %10,91 azalma olmuştur. Fakat ortalama uzama kapasitesi 2.887 mm artışla, % 6,93 daha fazla uzamıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Polyester reçine kuvvet-uzama grafiği

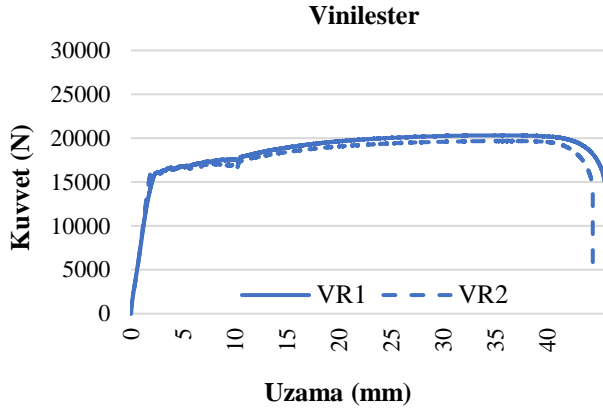
Polyester numunelerin ortalama akma dayanımı 292,02 N/mm² olup, referans numunesine göre %16,58 düşüş olmuştur. Çekme dayanımında ise benzer şekilde ortalama % 12,98 düşüş olmuştur. Birim şekil değiştirme kapasitesi ise ortalama % 6,89 artış göstermiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Polyester reçine gerilme-şekil değiştirme grafikleri

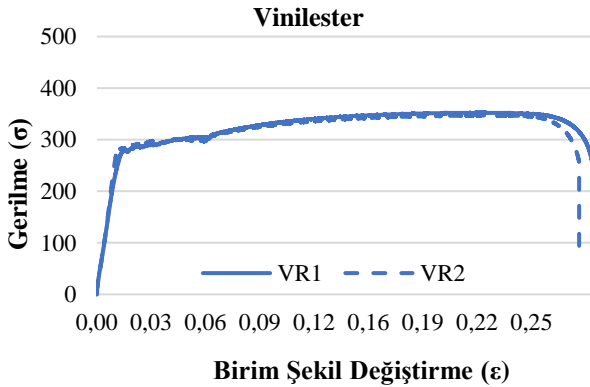
C. Vinilester Reçine Deney Sonuçları

Vinilester kullanılan VR numuneleri ortalama 20014,85 N yük taşımıştır. Referans numunesine göre %14,19 daha az yük taşımıştır. VR numuneleri ortalama 45,009 mm maksimum uzama kapasitesi ile, % 8,08 daha sünek davranış göstermiştir (Şekil 10).



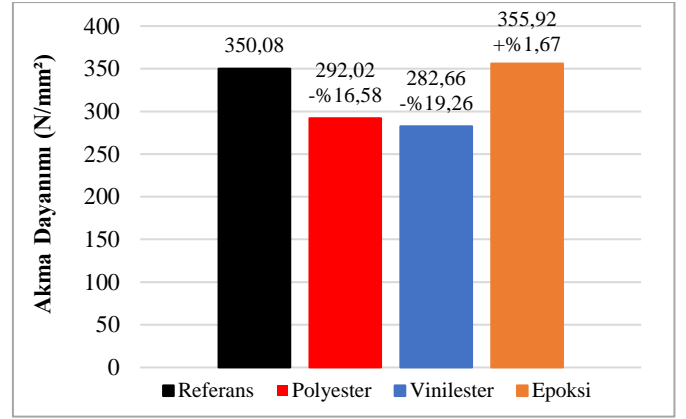
Şekil 10. Vinilester reçine kuvvet-uzama grafiği

Vinilester kullanılan VR numunelerin ortalama akma dayanımı 282,66 N/mm² olup, referans numunesinden %19,26 daha düşük akma dayanımına sahiptir. Benzer şekilde çekme dayanımı da ortalama 349,63 N/mm² olup, %14,88 düşüş olmuştur. Birim şekil değiştirme kapasitesi ortalama 0,281 olup, referanstan %7,66 daha fazla birim şekil değiştirme kapasitesine sahiptir (Şekil 11).



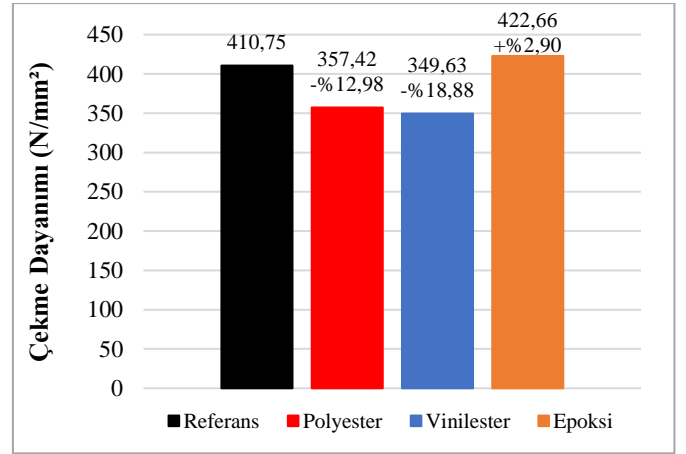
Şekil 11. Vinilester reçine gerilme-şekil değiştirme grafikleri

CFRP ile güçlendirilmiş çelik plakaların çekme deneyinde, tüm reçinelerin akma ve çekme dayanımları referans numune ile karşılaştırılmıştır. Epoksi kullanılan numunelerin akma dayanımı %1,67 artmıştır. Polyester ve vinilester kullanılan numunelerde ise azalma meydana gelmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Akma dayanım karşılaştırması

Çekme dayanımları da benzer şekilde epoksi numunelerde %2,90 artmış polyester ve vinilester kullanılan numunelerde azalmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Çekme dayanım karşılaştırması

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çelik plakaların üç farklı reçine kullanılarak kumaş CFRP ile güçlendirildiği bu çalışmada çeliğin çekme mukavemetinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Epoksi reçine kullanılan numunelerde akma ve çekme dayanımında artış meydana gelirken, polyester ve vinilester kullanılan numunelerin sünekliliği artarken akma ve çekme dayanımlarında azalma görülmüştür. Elde edilen sonuç kullanılan reçinelerin, CFRP'nin emmesi istenen miktardan daha fazla reçine uygulanmasıyla numunelerin gevreklediği dolayısıyla CFRP'nin yüksek dayanımı yerine reçinelerin etkisinin ön plana çıktığı yönündedir. FRP uygulamalarında yüksek hassasiyet ve uygun kür ortamının oluşturulması ayrıca çelik plaka kalınlığının azaltılarak FRP kumaş etkisinin ön plana çıkması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] F. Aydın Ve A. Sarıbiyık, “Mermer Ve Seramik Malzemelerinin Frp İle Güçlendirilmesi”, *Acad. Perspect. Procedia*, C. 1, Sy 1, Art. Sy 1, Eyl. 2018, Doi: 10.33793/Acperpro.01.01.204.
- [2] N. Çetinkaya, H. Kaplan, Ve Ş. M. Şenel, “Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (Frp) Malzemeler Kullanılarak Onarım Ve Güçlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendis. Bilim. Derg.*, C. 10, Sy 3, Art. Sy 3, Mar. 2004.
- [3] L. Gemi, E. Madenci, Ve Y. O. Özkiliç, “Çelik, Cam Frp Ve Hibrit Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme Performansının İncelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknol. Derg.*, C. 8, Sy 2, Art. Sy 2, Nis. 2020, Doi: 10.29130/Dubited.629354.
- [4] Ş. Kılınçarslan Ve Y. Ş. Türker, “Ahşap Malzemelerin Frp İle Güçlendirilmesinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi”, *Tek. Bilim. Derg.*, C. 10, Sy 1, Art. Sy 1, Şub. 2020, Doi: 10.35354/Tbed.615101.
- [5] A. Sarıbiyık, “Effect Of Using Frp Composites As Hybrid In The Strengthening Of Concretes”, *Sak. Univ. J. Sci.*, C. 22, Sy 2, Art. Sy 2, Nis. 2018, Doi: 10.16984/Saufenbilder.343562.
- [6] A. E. Sever, “Frp Levha İle Güçlendirmenin Yığma Bir Kemer Yapısının Deprem Davranışına Olan Etkilerinin İncelenmesi”, *Uluslar. Sürdürülebilir Mühendis. Ve Teknol. Derg.*, C. 7, Sy 1, Art. Sy 1, Haz. 2023.
- [7] Z. Özcan, *Betonarme Kirişlerin Kompozit Malzemeler İle Güçlendirilmesi*. 2015.
- [8] M. M. Maras, “Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Frp Kompozitin Yapısal Performansa Etkisi”, *Avrupa Bilim Ve Teknol. Derg.*, Sy 23, Art. Sy 23, Nis. 2021, Doi: 10.31590/Ejosat.797437.
- [9] O. Güneş, O. Büyüköztürk, Ve E. Karaca, *Frp Kompozit Malzemeler Yapıştırılarak Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerde Frp Stırılma Problemlerinin Kırılma Mekanik Modeli*. Teorik Ve Uygulamalı Mekanik Türk Millî Komitesi, 2010. Erişim: 15 Ağustos 2023. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://hdl.handle.net/11527/15016](http://hdl.handle.net/11527/15016)
- [10] T. Akgül, “Gfrp’lerle Güçlendirilen Çelik Yapı Elemanlarının Mekanik Dayanımının İncelenmesi”.
- [11] B. Dindar, “Kompozit Yama İle Tamir Edilmiş Oval Çentikli Çelik Plakanın Çekme Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması”, *Eur. J. Sci. Technol.*, Nis. 2021, Doi: 10.31590/Ejosat.802907.
- [12] K. Yılmaz, M. Akçil, Ve A. Çelik, “Fiber Takviyeli Polimer Uygulamalarında Yapışma Yüzeyi Kalitesinin Kompozit Performansına Etkisi”, *Sak. Univ. J. Sci.*, C. 6, Sy 2, Art. Sy 2, Ağu. 2002, Doi: 10.16984/Saufbed.06437.
- [13] M. Aktaş Ve E. Aydın, “Isıl İşlem İle Onarılan Narin Çelik Plakaların Cam Fiber Takviyeli Polimerler (Gfrp) İle Güçlendirilmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendis. Mimar. Fakültesi Derg.*, C. 27, Sy 2, Art. Sy 2, Şub. 2013.
- [14] Admin, “Yardımcı Malzemeler”, *Tıla Kompozit*. <https://www.tila.co/yardimci-malzemeler/> (Erişim 15 Ağustos 2023).
- [15] “Vinilester Reçine | Akpa Kimya”. <https://www.akpakimya.com/uygulama-alani/vinilester-recine/> (Erişim 15 Ağustos 2023).