

Lif Katkısı ve Sargı Tipleriyle Betonun Çekme Dayanımının İyileştirilmesi

Yusuf Batuhan APTİ^{1*} ve Özlem ÇALIŞKAN²

¹İnşaat Mühendisliği A.B.D. / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği Bölümü /Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

*(batuhanapti61@gmail.com)

Özet – Beton, mühendislik özellikleri, maliyet avantajı ve geniş kullanım alanları nedeniyle inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilen bir yapı malzemesidir. Ancak, gevrek yapısı nedeniyle sünekliğinin artırılması gerekmektedir. Bu amaçla, farklı lif türleri ve çeşitli sargı sistemleri kullanılarak betonun basınç ve eğilme dayanımının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Son yıllarda, betonun mekanik ve fiziksel performansını artırmaya yönelik cam, çelik ve polipropilen lif katkılarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte, liflerin boyutu, şekli ve fiziksel özellikleri, beton içindeki etkilerini doğrudan belirlemektedir. Öte yandan, hafif yapıları, yüksek dayanımları ve kolay uygulanabilirlikleri sayesinde kumaş kaplamalar da yapı güçlendirme çalışmalarında öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, farklı lif katkılarının ve çeşitli sargı yöntemlerinin betonun çekme dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Beton, Eğilme dayanımı, Çelik lif, Polipropilen lif, CFRP, TRM

I. GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan depremler, düşük ve orta dayanımlı betonarme elemanların deprem yükleri altındaki performansını artırmaya yönelik malzemelerin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaşmasını teşvik etmiştir [1]. Günümüzde yapı mühendisliğinde, yapıların dayanımını artırmak, mekanik performanslarını iyileştirmek, maliyet etkinliği sağlamak ve güvenliği artırmanın yanı sıra farklı yaklaşımlar geliştirmek önemli bir hedef haline gelmiştir. Bu doğrultuda, çeşitli lif katkıları, farklı kompozit kaplama yöntemleri ve yenilikçi yapısal sistemlerin kullanımı önerilmiş ve deneysel çalışmalarla değerlendirilmiştir [2]. Günümüzde betonda yaygın olarak kullanılan lifler arasında polipropilen, çelik, karbon ve cam lifler yer almaktadır. Bu lifler, betonun geçirimsizliğini azaltarak dayanıklılığını artırmakta, darbe etkilerine karşı direncini güçlendirmekte ve çekme dayanımını iyileştirmektedir. Ayrıca, donatıların paslanmasını ve korozyona uğramasını önleme özelliğine sahiptir. Lif takviyesi, betonun bütünlüğünü koruyarak parçalanmasını engellemekte ve depremler sırasında oluşabilecek hasarları azaltarak yapının göçme riskini düşürmektedir. Bunun yanı sıra, betonun aşındırıcı kimyasallara karşı direncini artırarak bütünlüğünü korumasına katkı sağlamaktadır. Lifler, kendi çekme dayanımlarına ulaşıncaya kadar betonun maruz kalabileceği basınç ve çekme gerilmeleri nedeniyle oluşabilecek kılcal çatlakların oluşumunu en aza indirmektedir [3]. Kaplama amacıyla kullanılan elyaf lifleri, kesitte meydana gelen çatlak oluşumunu önemli ölçüde sınırlayarak sünekliği azaltmakta ve çekme dayanımını belirgin şekilde artırmaktadır. Yapılan araştırmalar, bu tür lif takviyelerinin beton üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymuştur. Karbon lif takviyeli polimerler (CFRP) ve tekstil takviyeli harçlar (TRM), hafif yapıları, kolay uygulanabilir olmaları, korozyona karşı dirençleri ve yüksek mukavemet ile sertlik sağlamaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme kirişler, deprem sırasında yoğun yüklemeye, yüksek iç kuvvetlere ve büyük deformasyonlara maruz kalmaktadır. Bu tür zorlayıcı koşullara karşı, CFRP ve TRM gibi kompozit malzemeler, mekanik özelliklerinin üstün olması, uzun ömürlü yapıları ve düşük ağırlıkları sayesinde yapıya ek yük getirmeden etkin bir güçlendirme çözümü sunmaktadır [4]. Bu çalışmada, beton ve betonarme elemanların çekme dayanımını artırmaya yönelik çelik ve polipropilen liflerin yanı sıra karbon

lif takviyeli polimer (CFRP) ve tekstil takviyeli harç (TRM) içeren sargı malzemelerinin etkileri ve mekanik performansları incelenmiştir.

II. LİF KATKISI VE SARGI TİPLERİYLE BETONUN ÇEKME DAYANIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Beton, agrega ile bağlayıcı malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit malzemedir. Günümüz inşaat sektörünün popüler yapı malzemelerinden biri olan beton, basınç dayanımının oldukça iyi olması ile bilinir. Buna karşın betonun çekme dayanımı basınç dayanımına göre çok düşüktür. Çekme dayanımının düşük olması, darbe ve dış etkilere karşı betonun dayanıksız olmasına, betonda çatlak oluşumuna ve bununla beraber ömrünün kısa olmasına neden olur. Bu nedenle betonun mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Bunun için taze betona lifler eklenmekte, sertleşmiş betonlara da sargı yapılarak betonun çekme dayanımı iyileştirilebilmektedir.

A. Çelik Lifli Beton

Çelik lifler, yapı sektörü ve endüstrisinde betonda kullanılan lif türleri içerisinde en yoğun kullanıma sahip lif türüdür. Beton ve betonarme yapılarda sıklıkla kullanılmaktadır. Önemli avantajlar sağlaması nedeniyle çelik lif çalışmalarının yoğunlaştığı yapısal elemanlardan birisi kirişlerdir. Betonda oluşan rötre çatlak oluşumunun sebeplerinin beton prizi sırasında meydana gelecek içsel gerilmelerin yeterli oranda karşılanamaması olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırma ve çalışmalara göre bu çatlaklar, betonun küründe alınan bazı önlemlerle kılcal düzeyde kalmalarına rağmen, yük baskısı altında çatlaklar genişleme eğilimi göstermektedir. Betonarme kirişler, deprem sırasında yoğun yükleme, önemli iç kuvvetlere ve şekil değiştirmelere maruz kalırlar. Donatı detaylarına ve geometrik özelliklerine bağlı olarak eğilme veya kesme hasarına uğrarlar. Çelik liflerin eklenmesi, sünek davranışa yol açan deformasyon ve yük taşıma kapasitelerini artırır. Bu ayrıca çatlakların yayılmasını kontrol eder ve çatlak genişliğini azaltır. Liflerin ana katkısı, gelişmiş eğilme ve kesme tepkileriyle sonuçlanan kompozit çekme dayanımlarının artırılmasıdır [5]. Lifler betonda rötre çatlak oluşumuna engellemek ve dayanımı artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Çelik liflerin farklı istek ve amaç doğrultusunda beton veya betonarme elemanlarda kullanımının geometrik özellikleri, imalat şekli üzerindeki etkisi büyüktür. İstenilen amaca göre lifin kıvrım sayısı, uzunluğu, çapı vb. özelliklerin hedeflenen mekanik dayanıma ulaşmada direkt etkisi vardır. Beton içerisinde kullanılan çelik lifler, genellikle soğuk çekilmiş düşük karbonlu çelikten üretilmektedir [6]. İnşaat endüstrisinde genellikle; düz, kıvrımlı, uzun ve kancalı şekillerde bulunan lifler kullanılmaktadır [7]. Kancalı lif örnekleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kancalı lif örnekleri [7]

Yol döşemelerinde, hidrolik yapılarda, ağır endüstriyel yapılarda aşınma ve çekme dayanımının yüksek olmasından dolayı dayanımı ve dayanıklılığı yüksek olan beton kullanmak gerekmektedir.

Betonda, liflerin karışımında çelik lif miktarı arttıkça, darbe sönümlenme, tokluk ve süneklik gibi özelliklerinin olumlu etkilendiği düşünülse de lif miktarı standartlarca sınırlandırılmıştır. Sınırlandırmaların nedenleri arasında karışım hacimce artan miktarlarda lif kullanımının, liflerin karışımında homojen biçimde yer almadığı ve topaklanmaları, karıştırma sırasında eğilmeleri ve deforme olduğu araştırmalarda ve çalışmalarda ortaya çıkmıştır. Liflerin beton karışımına katılma oranı hacimsel olarak %0.5-2.5 olarak sınırlandırılmıştır. Çelik lifli beton üretimi öncesinde oluşabilecek problemleri

önlemek için TS 10514'e göre önlemlerin alınması gerekmektedir [8]. Homojen bir beton karışımı elde etmek istendiği takdirde yürürlükteki ilgili standartlarda belirtilen kurallara uyulmalıdır [9].

Normal dayanımlı çelik tel (BN) ve yüksek dayanımlı çelik telin (BP) aynı narinlik sınıfında farklı uzunluktaki ve dayanımdaki çelik tellerin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Çelik telin karbon oranı, kıvrım sayısı (3D, 4D, 5D) ve uzunlukları dayanım açısından farklılık göstermektedir.

Tablo 1. Çelik liflerin teknik özellikleri [10], [11]

Lif Tipi	RC 80/60 BN	RC 80/60 BP	RC 65/60 BN	RC 65/60 BN	RC 80/60 BN	RC 65/60 BN
Boy (mm)	60	60	60	60	60	60
Çap (mm)	0.75	0.75	0.90	0.90	0.75	0.90
Narinlik (l/d)	80	80	65	65	80	65
Kanca tipi	3D	3D	3D	4D	4D	5D
Çekme day. (N/mm ²)	1225	2300	1160	1500	1800	2300

Türkmenoğlu vd. [12], tarafından yapılan bir çalışmada, yapı sektöründe sıklıkla kullanılan düz ve iki ucu kancalı çelik liflerin normal betonun basınç, yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerini hangi ölçüde artırdığını öğrenmek için bir dizi çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında farklı narinlik oranlarına sahip düz ve iki ucu kancalı (3D) çelik lifler kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda; beton içine katılan çelik lif oranı arttıkça kontrol betonuna kıyasla daha yüksek basınç ve eğilme dayanımları elde etmişlerdir. İki ucu kancalı çelik lifin düz çelik life göre basınç ve eğilme dayanımı daha fazla dayanım gösterdiğini belirtmişlerdir. Düz çelik liflerin, eğilme mukavemetinde önemli bir artış sağlarken basınç dayanımında aynı etkiyi gösteremediği sonucuna ulaşmışlardır.

B. Polipropilen Lifli Beton

Polipropilen lifler beton karışımına sonradan eklenen bir malzemedir. Polipropilen lifler tekil ve elyaf lif olmak üzere iki farklı modülde üretilip özellikle eğilme dayanımını arttıracak özelliklere sahip olduğundan sektörde sıklıkla kullanılmaktadır. Tekil lif ince uzun yapıda olup yapının karşılaşacağı yüklerden dolayı oluşacak çatlakları önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Elyaf lif, iplik kalınlığında çokça ince ve kısa parçaların bir araya getirilmesiyle oluşturulan liflerden meydana gelir. Elyafımsı fiberin, beton dökümünden sonra oluşan kılcal rötrelere ve daha geç dönemde yapının dış etkilerden meydana gelen çatlakları önleyerek yapının servis ömrünü uzattığı bilinmektedir [13]. Beton teknolojisinde kullanılan polipropilen liflerin (Şekil 2) çapları genellikle 10 ila 100 µm arasında ve boyları 6 ila 50 mm arasında değişmektedir [7]. Polipropilen liflerin sıklıkla kullanılmasının nedenleri arasında; kolay işlenebilir olması, düşük yoğunluk, düşük maliyet, yüksek dayanım ve iyi mekanik özellikleri olmasıdır. Tablo 2'de polipropilen liflerin teknik özellikleri verilmiştir [14]. Polipropilen liflerin bir başka avantajı yangın sırasında eriyerek beton içerisinde küçük hava kanalcıkları oluşturarak betonun çatlamayla beraber patlamasını önlemesidir [15].



Şekil 2. Polipropilen lifler [7]

Tablo 2. Polipropilen liflerin teknik özellikleri [14]

Özellikler	Elyaf Polipropilen	Tekil Polipropilen
Boyut (mm)	15	45
Özgül ağırlık (g/cm^3)	0.92	0.91
Elastisite modülü (GPa)	3.15	3.5
Çekme dayanımı (MPa)	620	724
En büyük uzama (%)	22	15
Erime noktası ($^{\circ}C$)	160	164
Yanma noktası ($^{\circ}C$)	590	550

Elyaf tipi polipropilen lifli beton, ağır endüstriyel tesislerde, prefabrikasyon, şap, püskürtme sıva, harç, bitüm kaplama işlerinde kullanılır. Tekil lif tipi polipropilenler ise şap, kaplama, püskürtme sıva, harç, prefabrikasyon ve alçı işlerinde kullanılır [16].

Açıkgenç vd. [14], çalışmalarında, iki tip polipropilen lif kullanarak ürettikleri betonların taze ve sertleşmiş özelliklerini araştırmışlardır. Deneylerinde farklı çimento miktarlarına, su/çimento oranlarına ve lif oranlarına sahip 21 adet lifli beton karışımı tasarlamışlardır. Bu betonların çökme miktarlarını ölçtükten sonra, üretilen 28 günlük küp ve kiriş numuneleri üzerinde basınç ve üç noktalı eğilme deneyi yaparak dayanım özelliklerini saptamışlardır. Çalışmaları sonucunda; polipropilen liflerin, akıcı kıvamlı betonlardaki çökme miktarını azalttığını gözlemlemişlerdir. Ancak lif oranı arttıkça eğilme-çekme dayanımlarındaki artmanın sınırlı olduğunu, lif oranının artmasının betonu topaklaştırmakta ve karışımını zorlaştırmakta olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum betonun işlenebilirliğini azaltmakta ve betonun kohezyonu için sıkıntılar oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Polipropilen liflerin betonun mekanik özelliklerini geliştirmede göz ardı edilemeyecek katkı sunduğunu, özellikle eğilmede çekme mukavemetini arttırmamasından dolayı taşıyıcı elemanlarda kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

C. Karbon Lif Takviyeli Polimer Kumaş (CFRP)

Karbon lif takviyeli polimer kumaşlar, yüksek çekme dayanımına sahip tek doğrultulu kumaşlardır. İplik şeklindeki karbon lifler ile dokunan karbon lif takviyeli polimer kumaşlar, kolaylıkla şekil almakta ve özel epoksi reçinesi ile uygulandığında uygulanan yapı elemanını rijit hale getirmektedir. Şekil 3'te karbon lif takviyeli polimer kumaş verilmiştir [17].



Şekil 3. Karbon lif takviyeli polimer kumaş [17]

Karbon lif takviyeli polimer malzemesinin; mekanik özelliklerinin yüksek olması, hafif bir malzeme olması, uygulanma kolaylığı, korozyona ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığı, uygulanan bölümün geometrik ölçülerini değiştirmemesi ve çok farklı kullanım alanlarının bulunması nedeniyle yapıların onarılması ve güçlendirilmesi işlerinde sıklıkla kullanılan bir malzeme olmasını sağlamıştır. Tablo 3'te karbon lif kumaşın teknik özellikleri verilmiştir [18].

Tablo 3. CFRP Teknik Özellikleri [18]

CFRP Özellikleri	
Çekme Dayanımı (MPa)	4000-5000
Elastisite Modülü (MPa)	>235
Kopma Uzama (%)	~2
Birim Genişlikteki Rijitlik (kN/mm)	40

Karbon lif takviyeli polimer kumaşlar; güçlendirme malzemesi olarak, köprü kolonları, köprü kirişleri, kolon-kiriş birleşim yerleri, su depoları, döşemeler, ahşap kirişler gibi birçok yapı elemanında betonarme kirişlerin eğilme ve kesme, betonarme döşemelerin ise eğilmeye karşı dayanımlarının ve yük taşıma kapasitelerinin artırılmasında, betonarme kolonlarda uygulandıklarında ise kolonların kesme ve basınç dayanımları ile sünekliklerinin artırılmasında, tarihi yapılarda veya ahşap yapılarda mevcut bulunan ahşap kirişlerin eğilmeye karşı güçlendirilmesinde kullanılabilir [18]. Şekil 4'te karbon lif takviyeli polimer kumaşın betonarme kiriş ve döşemeye uygulanması gösterilmektedir [19].

Kaya vd. [20], çalışmalarında, 28 günlük basınç dayanım değeri 30 MPa olan 100x100x500mm'lik beton kirişler üretmişlerdir. Kirişlerin çekme yüzeylerinin merkezlerine karbon lif takviyeli polimer (CFRP) şeritleri 50-75 mm genişliğinde ve 50, 150, 300 ve 450 mm uzunluklarında hazırladıkları kirişleri güçlendirmişlerdir. Elemanlara uygulanan şeritlerin uzunluk ve genişliği artırıldıkça çekme dayanımı değerlerinin artış gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

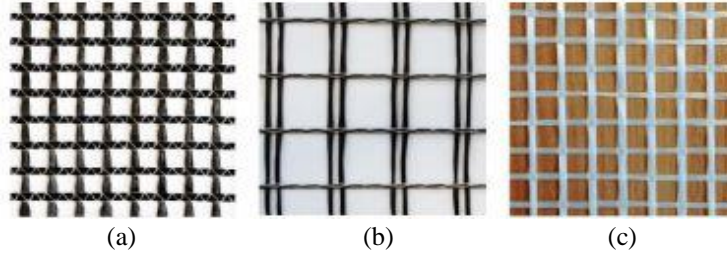


Şekil 4. CFRP Kumaşın betonarme kiriş ve döşemeye uygulanması [19]

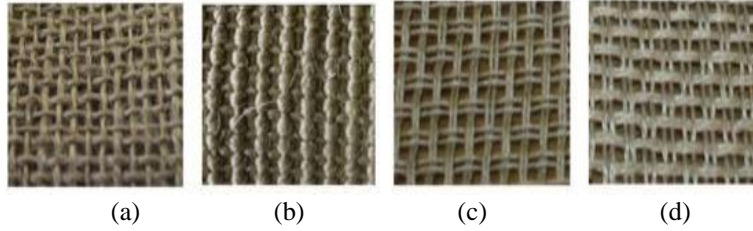
D. Tekstil Takviyeli Harç (TRM)

Yapısal güçlendirme alanında kullanılmak üzere fiber takviyeli polimerlere alternatif olarak çimento bazlı kompozit bir malzeme ortaya çıkmıştır. Tekstil takviyeli harçlar, genellikle polimerik bağlayıcılar ile takviye edilmiş inorganik malzemelerin karışımını ifade etmektedir. Genellikle bazalt, cam, karbon elyafı veya bazı doğal lifler gibi tekstil takviyeleri ile güçlendirilirler. Bu takviyeler sayesinde çekme dayanıklılıkları ve işlenebilirlikleri artarken ağırlıkları azalır [21]. Şekil 5'de yapay ve Şekil 6'da doğal lifli bazı tekstillere örnekler verilmiştir.

Tekstil takviyeli harcın betonda sargılama olarak kullanılması, yük taşıma kapasitesinin ve sünekliğin artırılması için kullanılan verimli bir yöntemdir. CFRP malzeme sadece lif eksenine paralel çekme kuvvetlerini karşılayabildiklerinden uygulama yönü önemlidir. Tekstil takviyeli harç kaplamanın iki yönlü tabakalar halinde uygulanabildiğinde (yatayda ve düşeyde) kirişlerde eğilme ve kesme dayanımının, kolonlarda eğilme ve sargılama etkisiyle basınç dayanımının artırılması mümkündür. TRM tekstillerinde kullanılan bazı lif çeşitlerinin mekanik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 5. Yapay Lifli Tekstiller: a) karbon, b) bazalt, c) cam [22]



Şekil 6. Doğal Lifli Bazı Tekstiller: a) jüt, b) sisal, c) kenevir, d) keten [23]

Tablo 4. Lif türlerinin mekanik özellikleri [24]

Lif Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Şekil Değişirme (%)
Çelik	7.85	1200	200	3-4
Cam	2.78	2500	70	3.6
Bazalt	2.7	3000-4840	79.3-93.1	3.1
Karbon	1.60-1.95	3500-6000	230-600	1.5-2.0
Aramid	1.4	3000	60-130	2.1-4.0
Keten	1.45	700	60	2.3
Jüt	1.4	325	37.5	2.5
Kenevir	1.2	530	45	3
Polietilen	0.95	250	1.4-2.2	10-15

Ren vd. [25] düşük malzeme dayanımı ve yetersiz donatıya sahip betonarme kirişler için önerilmeli TRM donatısı kullanarak taşıma kapasitesi, kırılma özellikleri ve süneklik üzerindeki etkilerini incelemiştir. TRM takviyesi ile; çatlak ve nihai yükün önemli ölçüde, akma yükünün de %30'dan fazla arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Yeni bir malzeme ve dış donatı olarak tekstille güçlendirilmiş harç kullanımı yapı endüstrisi tarafından sıklıkla incelenmektedir [26]. TRM kompozitlerinin buhar geçirgenliği, uygulama kolaylığı, yangına dayanıklılık, ekonomik olması, duvar ve beton yüzeylere uyumluluk, tarihi yapılarda tarihi dokuyu bozmaması ve kolay çıkarılabilirlik gibi birçok avantajı bu kompozitleri ilginç hale getirmiştir [21].

III. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli lif türleri kullanılarak üretilen beton ve beton kaplamaların kullanım amaçları ile eğilme dayanımına etkileri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Beton içerisinde çelik liflerin kullanımı, yüzeyde oluşan çatlakları büyük ölçüde önleyerek çatlak kontrolünü iyileştirmektedir.
- Çelik liflerin basınç dayanımı üzerindeki etkisi sınırlı olmakla birlikte, eğilme dayanımında olumlu katkılar sağladığı belirlenmiştir.
- Polipropilen lifler, beton içerisindeki boşluk oranını azaltarak daha homojen bir matris oluşumuna katkı sağlarken, düşük erime sıcaklıkları nedeniyle yangın sırasında mikro kanallar oluşturarak buhar basıncının tahliyesine ve betonun ani patlama riskinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.
- Liflerin eğilme dayanımını artırdığı ancak aşırı kullanımının topaklaşmaya neden olarak betonun mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

- Metal içermeyen karbon lif takviyeli polimerler, kırıışlerin korozyon direncini artırarak özellikle deniz kıyısı ve kimyasal madde maruziyeti yüksek ortamlarda yapı güçlendirmede etkili olmaktadır.
- Karbon lif takviyeli polimer, betonarme elemanlarda çekme ve basınç dayanımını artırırken gevrekliği azaltarak yapısal bütünlüğü ve uzun ömürlülüğü sağlar.
- Tekstil takviyeli harç kaplama, düşey ve yatay yükleri sönümleyerek yapıların onarım ve güçlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Martinola, G., Meda, A., Plizzari, G. A., & Rinaldi, Z. (2010). Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete. *Cement and concrete composites*, 32(9), 731-739.
- [2] Kim, G. B., Pilakoutas, K., & Waldron, P. (2008). Thin FRP/GFRC structural elements. *Cement and Concrete Composites*, 30(2), 122-137.
- [3] Yaprak, H., Şimşek, O., & Öneş, A. (2004). Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 7(4), 353-358.
- [4] Erkan, İ. H., Aksoylu, C., Alshlash, S., & Arslan, M. H. (2019). Eğilmeye Çalışan Betonarme Kırıışlerde Cfrp İle Onarım Ve Güçlendirme Yöntemlerinin Deneysel Olarak İrdelenmesi. IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi, 163-171, Ankara.
- [5] Fares, A. M., & Bakir, B. B. (2024). Parametric study on the flexural behavior of steel fiber reinforced concrete beams utilizing nonlinear finite element analysis. In *Structures* (Vol. 65, p. 106688).
- [6] Öztürk, İ. Ş. (2020). Çelik lifli betonlarda geri dönüştürülmüş nano karbon siyahı ve kandıra taşı tozunun değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [7] Şenol, A. F. (2022). Beton Teknolojisinde Lif Türleri ve Lif Takviyeli Betonların Özellikleri. *Mühendislik Biliminde Güncel Tartışmalar*. (1), 7-22.
- [8] TS EN 10514, Lif takviyeli betonun karışım oranları ve imalatı için kurallar, TSE, Ankara, Ekim, 2015.
- [9] TS EN 1247, Beton Yapım Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında), TSE, Ankara, Kasım, 2018.
- [10] Sarı, D. S. (2008). Normal ve yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışına lif içeriğinin ve dayanımının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [11] Kızılırmak, C., Aydın, S., & Yardımcı, M. Y. (2019). Çelik lif kanca geometrisinin yüksek dayanımlı lifli betonların statik ve darbe yükleri altında eğilme özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 1609-1628.
- [12] Türkmenoğlu, Z. F., Güler, S., Korkut, F., & Yavuz, D. (2016). Çelik lif katkılı betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Engineering Sciences*, 11(4), 93-99. doi:10.12739/NWSA.2016.11.4.1A0366.
- [13] Hsie, M., Tu, C., & Song, P. S. (2008). Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete. *Materials Science and Engineering*: 494(1-2), 153-157.
- [14] Açıkgeç, M., Arazsu, U., & Alyamaç, K. E. (2012). Farkli karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri. *Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(3), 41-54.
- [15] Bahadır, F. (2010). Polipropilen lifli betonların mekanik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- [16] Sümer, B. (2012). Silis dumunu katkılı betonlarda polipropilen lif kullanımının beton özelliklerine etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Sakarya.
- [17] Sarıbıyık, A. (2018). Effect of using FRP composites as hybrid in the strengthening of concretes. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 383-391.
- [18] Akbaş, A., & Çalışkan, Ö. (2024). Kırıışlerin CFRP ile Güçlendirilmesinde Uygulama Detayları. In *International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*, 582-591, Konya.
- [19] Keskin, E. (2005). Betonarme yapıların onarımı, güçlendirilmesi ve lifle güçlendirilmiş polimerler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [20] Kaya, T., Aras, M., & Çalışkan, Ö. (2017). Beton Basınç ve Eğilme Dayanımlarına CFRP'nin Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 1-9.
- [21] Yüncüler, M. ve Çalışkan, Ö., "Tekstil ile Takviye Edilmiş Harçların Kullanımı", *Innovative Studies in Engineering, All Sciences Academy Design*, 270-286, Haziran, 2024.
- [22] Raouf, S. M. (2017). Bond between textile reinforced mortar (TRM) and concrete substrate. Doctor of Philosophy in Civil and structural Engineering at The University of Nottingham.
- [23] Codispoti, R., Oliveira, D. V., Olivito, R. S., Lourenço, P. B., ve Fangueiro, R. (2015). Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry. *Composite Part B: Engineering*, 77, 74-83.
- [24] Güneş, E. M. (2022). Tekstil donatılı harçlar ile yığma elemanların güçlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı, Doktora Tezi.
- [25] Ren, W. ve Liu, H., Z. (2021). Research on bending performance of RC beams reinforced by prestressed TRM. *Journal of Physics: Conference Series*, 2158.
- [26] Nasrinpour, A. (2014). Seismic retrofit of RC columns with sprayed basalt mesh reinforced GRC: Effects of stirrup spacing. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul