

Ham ve Epoksi Reçine Kaplı Teknik Elyaf Kullanımının Yapı Elemanı Performansına Etkisi

Mutlu KURBAN¹ ORCID 0000-0001-9132-0349

Osman BABAARSLAN² ORCID 0000-0002-1606-3431

İsmail Hakkı ÇAĞATAY³ ORCID 0000-0001-5182-776X

¹Çukurova Üniversitesi, AOSB Teknik Bilimler MYO, Tekstil Teknolojisi Programı, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

³Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 22.04.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: KURBAN, M., BABAARSLAN, O., ÇAĞATAY, İ.H., (2022). Ham ve Epoksi Reçine Kaplı Teknik Elyaf Kullanımının Yapı Elemanı Performansına Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 577-588.

Öz

Tekstil takviyeli betonlar (TTB) kullanımı giderek yaygınlaşan sandviç paneller, çatı konstrüksiyonları, yürüyüş köprüleri ve bahçe mobilyaları gibi kullanım alanları olan yenilikçi yapı malzemeleridir. TTB'ler ince tanecikli agregadan üretilen beton ve yüksek çekme dayanımına sahip korozyon riski taşımayan tekstil yüzeylerinden oluşan kompozit yapılardır. Çalışmada beton takviyesinde yaygın olarak kullanılan alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filamentler ham ve epoksi reçine kaplı olarak iki farklı yüzey halinde ve üç farklı konumda kullanılmıştır. Takviyesiz numune ile birlikte farklı parametrelerde 37 adet numune üretilmiş ve numunelere eğilme deneyi uygulanmıştır. Eğilme deneyi sonucunda en fazla değer karbon filamentli numunelerde elde edilirken en düşük değer ise bazalt filamentli numunelerde elde edilmiştir. Epoksi reçine kullanımının ham filament kullanımına göre eğilme dayanımına katkısı ortalama olarak alkali dayanımlı cam filamentte %63, bazalt filamentte %71, karbon filamentte ise %127 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: İnşaat teknik tekstilleri, Tekstil takviyeli beton, Teknik lifler, Epoksi reçine, Eğilme dayanımı

The Effect of Using Raw and Epoxy Resin Coated Technical Fibers on Construction Element Performance

Abstract

Textile-reinforced concrete (TRC) is an innovative building material with areas of use such as sandwich panels, roof constructions, walking bridges and outdoor furniture, which are becoming increasingly common. TRC's are composite structures consisting of concrete produced from fine-grained aggregate and textile structures with high tensile strength and non-corrosive. In the study, alkali resistant glass, basalt and carbon filaments, which are widely used in concrete reinforcement, were used as raw and epoxy resin coated on two different structures and in three different positions. 37 samples with different

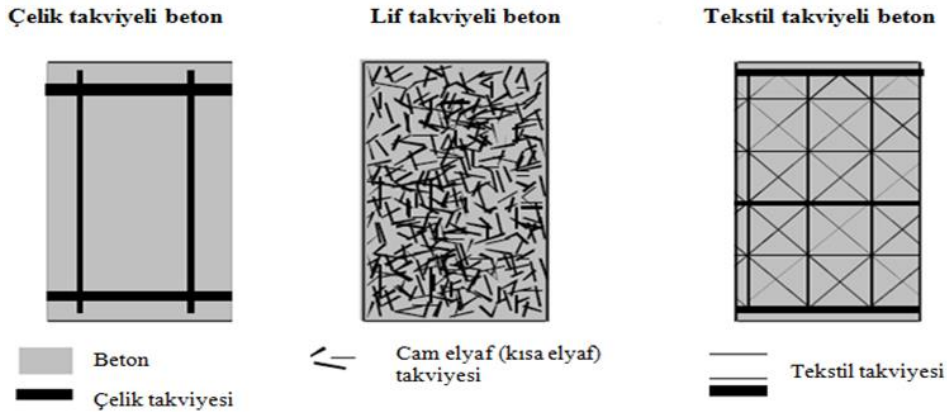
parameters were produced together with the non-reinforced sample and flexural test was applied to the samples. As a result of the flexural test, the highest value was obtained in carbon filament samples, while the lowest value was obtained in basalt filament samples. The contribution of the use of epoxy resin to the flexural strength compared to the use of raw filament was 63% in alkali resistant glass filament, 71% in basalt filament, and 127% in carbon filament.

Keywords: Buildtech textile, Textile reinforced concrete, Technical fibers, Epoxy resin, Flexural strength

1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su, kimyasal ve mineral katkıların karışımıyla elde edilen bir yapı malzemesidir [1]. Kendini oluşturan malzemelerin doğadan kolayca temin edilmesi, üretim maliyetinin düşük olması ve yüksek dayanımı nedeniyle günümüzde beton yapı sektöründe en yaygın kullanılan yapı malzemesidir [2]. Yapı malzemesi olarak kullanılan harçlar kullanıldığı ilk

günden itibaren içine kırılğan özelliğinin giderilmesi amacıyla bitkisel veya hayvansal lifler katılarak kullanılmışlardır. Örneğin, killi çamur içine saman, çeşitli bitki dalları, sap ve lifleri katılarak yapı dayanıklılığının artırıldığı kerpiç yapılar Anadolu'da da yaygın olarak kullanılmıştır [3]. Günümüzde ise betonların dayanımını artırmak için kimyasal ve mineral katkıları yanında çeşitli tekstil lifleri de kullanılmaktadır [1].



Şekil 1. Beton güçlendirme sistemleri [4]

Tekstil takviyeli beton (TTB) kompozit yapıları, matris kısmı ince tanecikli malzemelerden elde edilmiş betondan oluşan, takviye bileşeni ise tekstil yapılarından oluşan yüksek yük taşıma kapasitesine sahip yenilikçi yapı malzemeleridir [5]. Kullanılan tekstil yapıları beton kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımında artış sağlamaktadır. Mekanik katkılarının yanında, kullanılan tekstil materyali yapıya süneklik de sağladığından tekstil kumaş yapılarının takviye bileşeni olarak kullanıldığı beton tabanlı kompozit yapıların kullanımı günümüzde gittikçe artmaktadır. [6]. Modern mimarinin yapılarda kaliteli ve farklı

dizaynlara sahip dış cepheler kullanması günümüzde giderek artmaktadır. Bu yapıların oluşturulabilmesinde konvansiyonel yöntem ve materyaller yeterli olmadığı için yeni teknolojiler ve materyallere gereksinim duyulmaktadır. TTB'lerde kullanılan yüksek performanslı ve metalik olmayan tekstil bileşenleri, yapılarda hafiflik, incelik ve kıvrımlı yapı oluşturabilme imkânı sağlamaktadır [7]. TTB'ler; yüksek yüzey kalitesine sahip olması, tasarımda özgürlük sunması, ince duvarların elde edilebilmesine olanak tanınması, çevreci olması ve iyi mekanik özellikleri yanında düşük maliyetli olması gibi

avantajlara sahiptir [8]. TTB'ler çelik takviyeli betondan farklı olarak çatlak oluşumu sonrası ortaya çıkan çekme gerilmesini taşıma eğilimindedirler. Takviye amacıyla kullanılan tekstil bileşenleri korozyon riski taşımadığı için klasik kullanımdaki gibi pas payına ihtiyaç duyulmamakta, tekstil yüzeylerinin ince bir yüzeyle kaplanmış olması yeterli olmaktadır. Böylece tekstil takviyeli beton uygulamaları yüksek dayanıklılık ve yüksek yüzey kalitesi yanında farklı tasarımlara ve düşük ağırlıklı yapılara öncülük etmektedirler. Tekstil takviyeli betonlar çoğunlukla dış cephe duvarlarında başarıyla uygulanmakta olup, son dönemlerde yapılan çalışmalarla bu kullanım alanları genişletilmeye çalışılmaktadır [9].

Tekstil takviyeli betonun matris kısmını beton oluştururken, takviye elemanı kısmını ise tekstil bileşenleri veya bu bileşenlerin oluşturduğu kompozit yapılar oluşturmaktadır. Tekstil bileşenleri tek başlarına kullanılabilirler gibi farklı yöntemlerle oluşturulmuş kompozit yapılar olarak da kullanılabilirler. Bu yönüyle tekstil takviyeli beton yapıların iç içe geçmiş kompozit yapılardan oluştuğu söylenebilir. Tekstil takviyeli beton üretiminde, tekstil bileşenleri kesikli lif formunda veya kesiksiz filament olmak üzere iki türlü kullanılabilir. Kesikli formdaki polipropilen, cam, metal veya bazı doğal lifler beton sünekliğini artırmak için kullanılırken, kesiksiz formdaki alkali dayanımlı cam filament, bazalt filament ve karbon filament gibi malzemeler genellikle çekme ve eğilme dayanımını artırmak için kullanılmaktadır [8,10]. Epoksi reçineler tekstil filamentlerinin dayanımlarını artırmada çok başarılı matris yapılar olup epoksi reçine kaplı tekstil filament yapıları mükemmel mekanik özellikleri sayesinde yenilikçi ürünlerin oluşturulmasında özellikle de tekstil takviyeli betonların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Yoo ve arkadaşları (2016), beton takviyesinde kaplamalı/kaplamasız tekstil yüzeyleri ve çelik lifi kullanımının eğilme dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Tekstil bileşenleri ham olarak kullanıldığında çelik lifi kullanımına nazaran daha düşük eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda daha iyi eğilme dayanımı ve tokluk değeri elde etmek için

çelik lifi kullanımı yerine epoksi reçine kaplı tekstil yüzeylerinin kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır [12]. Krüger ve arkadaşları (2001), tekstil takviyeli betonlarda tekstil bileşeni kaplamasının beton eğilme dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Takviye amacıyla kullanılan tekstil bileşenin kaplamalı olarak kullanılmasının ürün kullanım performansını artırdığı görülmüştür. Tekstil yüzeyinin epoksi reçine ile kaplanmasıyla ürün çekme dayanımında yüksek oranda artış elde edilmiştir. Diğer bir kaplama maddesi olan stiren butadien kauçuk (SBR) esaslı maddelerle kaplanmış numuneler epoksi reçineyle kaplanarak üretilen ürünlere göre daha düşük dayanım performans değeri göstermiştir [13]. Chira ve arkadaşları (2016), epoksi reçine kaplı tekstil ürünleriyle takviyelendirilmiş betonların performans özelliklerini incelemişlerdir. Yürütülen çalışmada epoksi reçinenin içine %1-3 oranında nanosilika ilavesi yapılarak numuneler üretilmiş ve test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda %2'lik nanosilika takviyesinin basma dayanımında %13, kesme dayanımında %68 ve çekme dayanımında da %32'lik bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca alkali dayanımlı cam filament kullanılarak bir panel oluşturulmuş ve panel dayanımının teorik olarak hesaplanması ve tahminlenmesi için bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model yardımıyla elde edilen ve yapılan deneyler sonrası elde edilen sonuçlar birbirine yakın bulunmuş olup nano silika takviyesinin panel eğilme dayanımına %21 katkı sağladığı görülmüştür [11]. Lv ve arkadaşları (2012), tekstil takviyeli beton üretiminde kullanılan tekstil yüzeylerinin epoksi reçine kaplamasının beton performansına etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada alkali dayanımlı cam ve karbon filamentten elde edilen yüzeyler kaplanarak tekstil takviyeli beton numuneleri oluşturulmuştur. Uygulanan testler sonucunda elde edilen değerlerden epoksi reçine kaplamasının beton performansını artırdığı ve çelik takviyesine alternatif oluşturabileceği görülmüştür. Ayrıca, epoksi reçine kaplamasının betonun eğilme dayanımını artırmasına karşın oluşturduğu pürüzsüz yüzey nedeniyle tekstil yüzeyi-beton bağlantısını azalttığından, daha iyi eğilme dayanımı değerleri adına tekstil yüzeyi-beton

aderansını artırmak için kaplama sonrası yüzeyin modifiye edilmesi gerektiği önerilmiştir [14]. Koeckritz ve arkadaşları (2010), kaplama prosesinin tekstil takviyeli betonlardaki etkisini incelemek için yürüttükleri çalışmada 2400 tex alkali dayanımlı cam filament ve 800 tex karbon filamentten oluşturulmuş tekstil yüzeylerini kaplamasız ve stiren butadien kauçuk (SBR) esaslı maddelerle kaplayarak 2, 3 ve 4 katlı olarak kullanılmışlardır. Yapılan testler sonucunda kaplamanın ve tekstil yüzeyi kat sayısının tekstil takviyeli beton numunelerin yük taşıma kapasitesini doğrudan artırdığı görülmüştür. Karbon filamentlerden elde edilen yüzeylerin kullanıldığı numuneler alkali dayanımlı cam filament kullanılarak elde edilen numunelere göre daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir [15]. Rampini ve arkadaşları (2018), İtalya'da deprem bölgesinde tekstil takviyeli beton kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Alkali dayanımlı cam filamentlerden leno dokuma yapısında üretilen yüzeyler epoksi reçine ve stiren-butadien esaslı maddelerle kaplanarak beton takviyesinde kullanılmıştır. Numunelere uygulanan testler sonucunda, tekstil takviyeli betonları restorasyon ve güçlendirme çalışmalarında kullanmanın bir çözüm olarak değerlendirilebileceği ortaya konulmuştur [16]. Kurban ve Babaarslan (2017), beton takviyesinde kullanılacak hibrit iplik üretimi için saç örgü tekniğini kullandıkları çalışmada ham, epoksi reçine kaplı ve hibrit iplikli beton numuneler üretmişlerdir. Kullanılan tekstil yüzeyleri betona daha çok eğilme yönünde katkı sağlayacağı için numunelerin eğilme dayanımları test edilmiş ve takviyesiz numuneler ile kıyaslanmıştır. Testler sonucunda alkali dayanımlı cam filamentin tek başına eğilme dayanımına %38,60, epoksi reçine kaplı filamentin %171,68 ve hibrit ipliğin

%80,38'lik katkı sağladığı görülmüştür [17]. Kurban ve arkadaşları (2017), yürüttükleri çalışmada tekstil materyallerinin ham, epoksi reçine kaplı ve hibrit iplik formunda kullanımının betonun eğilme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışmada uygulanan testler sonucunda epoksi reçine kaplamanın ham filament kullanımına göre alkali dayanımlı cam filamentli numunelerde %75, karbon filamentli numunelerde ise %65 katkı sağladığı görülmüştür [18].

Bu çalışmada; tekstil takviyeli beton üretiminde kullanımı uygun olan alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filamentlerin kullanımının betonun performans özellikleri üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kullanılan filamentler, ham ve epoksi reçine ile kaplı olarak iki farklı formda, numunede 10x40 tel ve 10x8 tel olacak şekilde iki farklı yüzey halinde ve beton numune içerisinde üç farklı konumda kullanılarak bunların beton performansı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında üretilecek tekstil takviyeli beton kompozit yapısının takviye bileşeni için beton takviyesinde yaygın olarak kullanılan alkali dayanımlı cam filament (AR-Glass) (Cem-FIL® 5325-OCV Reinforcements), bazalt filament (Spinteks) ve karbon filament (DowAksa) kullanılmıştır. Kullanılan filamentlerin teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu üç filament ham ve epoksi reçine (SR8500-Sicomina) kaplı olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1. Materyallerin teknik özellikleri

Filament türü	Lineer yoğunluk (tex)	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
AR-Glass	2400	2,68	1700	72
Bazalt	2400	2,75	2800	89
Karbon	1600	1,78	4200	240

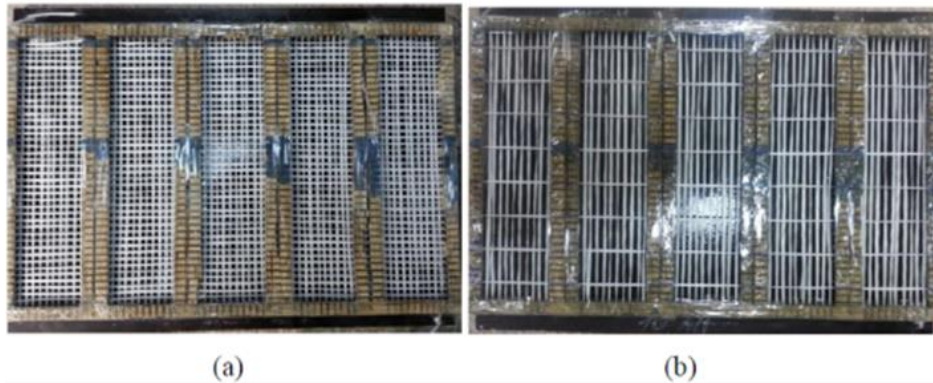
Kompozit yapının matris kısmını oluşturacak olan beton yapı Çimsa A.Ş.'nin Mersin'de bulunan tesislerindeki çalışmalar sonucu belirlenmiş olan ve Çizelge 2'de verilen reçeteye göre hazırlanmıştır. Karışımın hazırlanmasında kullanılacak materyaller istenen dayanım ve işlenebilirlik özelliklerini sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Öncelikle istenen dayanımın sağlanabilmesi için çimento olarak CEM I 42,5 R gri Portland çimentosu kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak çimentonun yanında uçucu kül kullanılarak çimento kullanımı azaltılmış ve beton harcı maliyetinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Beton işlenebilirliğinin istenen seviyede olabilmesi için maksimum tane büyüklüğü 300 μ ve 500 μ olan iki farklı agrega türü kullanılmıştır. Yüksek dayanımlı beton eldesi ve işlenebilirliğe katkı sağlamasından ötürü de beton harcı içerisinde süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Belirlenen karışıma göre hazırlanan betonun dayanımı ve beton sınıfını belirlemek için TS EN 12390-3 nolu "Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini" standardına göre test edilmiş ve 52,3 MPa bulunmuştur [19]. Elde edilen dayanım C40 beton sınıfına karşılık gelmekte olup tekstil takviyeli beton üretiminde kullanılacak olan beton yeterli dayanıma sahiptir. Ayrıca beton karışımının akışkanlığı TS EN 12350-5 nolu "Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi" standardına göre test edilmiş ve 75-80 cm'lik yayılma değeri ile istenen kıvam sağlanmıştır [20].

Çizelge 2. Beton karışım oranları

Bileşen	Miktar (kg/m ³)
Çimento CEM I 42,5 R	480
Uçucu kül	240
Agrega (0-0,3 mm)	642
Agrega (0,2-0,5 mm)	503
Süper akışkanlaştırıcı	10,8
Su	284

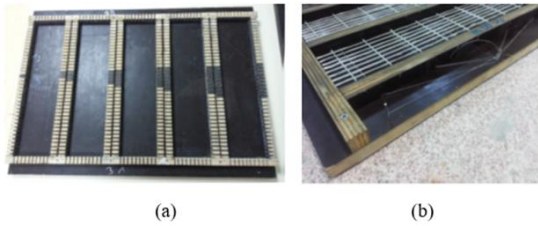
2.2. Yöntem

Üretimi gerçekleştirilecek tekstil takviyeli betonlar TS EN 12390-5 numaralı "Beton-sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini" standardına uygun bir şekilde 400x100x20 mm ebatlarında üretilmiş ve tekstil yüzeyleri bu ebatlara uygun bir şekilde hazırlanmıştır [21]. Takviye amacıyla kullanılan filamentler ham ve epoksi reçine kaplı olmak üzere iki formda kullanılmıştır. Ham filamentlerden yüzey elde edilirken filamentler, Şekil 4'de görülen çentikli kalıplara direkt olarak sarılırken, epoksi reçine kaplı numunelerde yüzey üretimi gerçekleştirildikten sonra beton kalıplara yerleştirilmiştir. Takviye amacıyla kullanılacak filamentler bir fulardda epoksi reçine ile kaplandıktan sonra belirlenen konstrüksiyonda çerçevelere sarılmış ve ürün prospektüsüne göre kurlenmiştir. Sonrasında beton içerisine yerleştirilebilmek amacıyla 400x100 mm ebatlarında kesilmiştir. Ham ve epoksi reçine kaplı yüzey oluşumunda bir numune içerisinde 10x40 ve 10x8 tel olacak şekilde iki farklı formda yüzey oluşturulmuştur (Şekil 2).

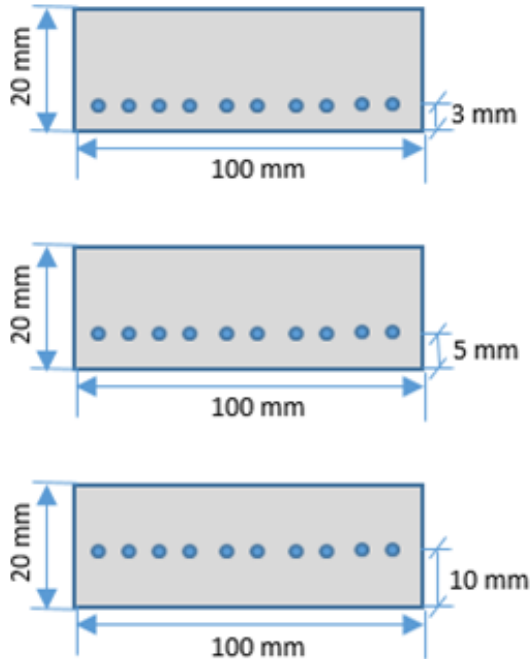


Şekil 2. a) 10x40 tekstil yüzeyi, b) 10x8 tekstil yüzeyi

Ham filamentlerden numune üretilirken filament direkt olarak çentikli kalıplara sarılırken epoksi reçine kaplı yüzeyler misina iplikleriyle oluşturulan askı sistemiyle istenen konumda sabit olarak tutturulmuştur (Şekil 3). Tekstil yüzeyleri beton kalıplara beton tabanından 3-5-10 mm yükseklikte olacak şekilde üç farklı konumda yerleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. (a) Ham filamentler için çentikli kalıp, (b) Epoksi reçine kaplı tekstil yüzeyleri için misina askılı kalıp



Şekil 4. Tekstil yüzeylerinin beton içerisindeki konumları

Tekstil bileşenleri beton kalıbına yerleştirilmeden önce beton numunelerin kolayca kalıptan çıkartılabilmesi için kalıp yağı ile yağlanmıştır.

Tekstil yüzeyleri kalıplara yerleştirildikten sonra reçeteye göre hazırlanan beton dikkatli bir şekilde kalıp içerisinde porsiyonlar halinde dökülmüştür. Betonun homojen bir şekilde yerleşmesi için düşük oranda titreşim uygulanmıştır. Kalıpların üzerindeki fazla beton bir mala yardımıyla sıyrılarak beton numunelerin üst kısmı düzeltilmiştir. Sonrasında epoksi reçine kaplı yüzeylerin bulunduğu kalıplardaki misina iplikler sökülmüş ve numuneler kurumaya bırakılmıştır. 24 saat sonra kalıplardan çıkartılan numuneler TS EN 12390-2 nolu “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması” standardında belirtildiği gibi 20 °C’de 27 gün boyunca kürlenmiştir [22].

Böylelikle alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filament olmak üzere üç ana takviye bileşeni ham ve epoksi reçine kaplı olarak iki farklı formda kullanılarak 10x40 ve 10x8 tel olacak şekilde iki farklı tekstil yüzeyi oluşturulmuştur. Üretilen yüzeyler beton numuneler içerisinde numune tabanından 3-5-10 mm olacak şekilde üç farklı konumda yerleştirilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için üretilen takviyesiz numune ile birlikte toplam 37 adet farklı parametrelerde numune üretimi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3).

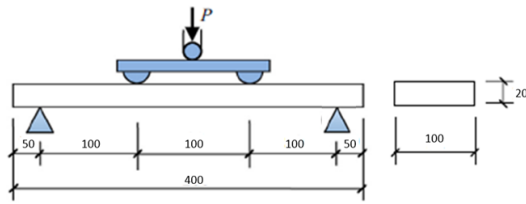
Çizelge 3. Beton numune üretim deney planı

Takviye bileşen	Kullanım şekli	Tekstil yüzey formu	Numune yerleşimi
AR-Glass	Ham	10x40 tel	3 mm
Bazalt	Epoksi reçine	10x8 tel	5 mm
Karbon			10 mm

Kürlenme sonrası üretim parametrelerinin beton dayanımına etkisinin gözlemlenebilmesi ve tekstil bileşenleri daha çok eğilme doğrultusunda katkı sağladıkları için numunelere TS EN 12390-5 standardına göre dört nokta eğilme deneyi uygulanmıştır (Şekil 5). Numunenin deney düzeneğindeki yerleşimi Şekil 6’daki gibi olup eğilme dayanımı TS EN 12390-5 standardında belirtilen Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 5. Eğilme deneyi test cihazı



Şekil 6. Dört nokta eğilme deneyi numune yerleşimi

$$\sigma = \frac{(Pl)}{(bh^2)} \quad (1)$$

Burada; σ (MPa) eğilme dayanımını, P (N) kırılma yükünü, l (mm) mesnetler arası mesafeyi, b (mm) numune genişliğini ve h (mm) ise numune kalınlığını ifade etmektedir.

Eğilme deneyi kamera ile kayıt altına alınmış ve beton numuneler altına yerleştirilen komperatör yardımıyla yük uygulama esnasında oluşan sehim ölçülmüştür. Uygulanan yük esnasında oluşan sehim değerleri grafiğe dönüştürülmüş ve yük-deplasman grafikleri oluşturularak numunelerin yük altındaki davranışları incelenmiştir.

Eğilme deneyi sonucunda oluşturulan yük-deplasman grafikleri üretilen numunelerin kırılma enerjilerinin hesaplanmasında da kullanılmıştır.

Numunelerin kırılma enerjileri oluşturulan grafiklerin altında kalan alana eşit olup Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$W = \int_0^{\delta} F d\delta \quad (2)$$

Eşitlik 2'de W (N.mm) kırılma enerjisini, F (N) uygulanan yükü ve δ (mm) ise oluşan sehimi ifade etmektedir.

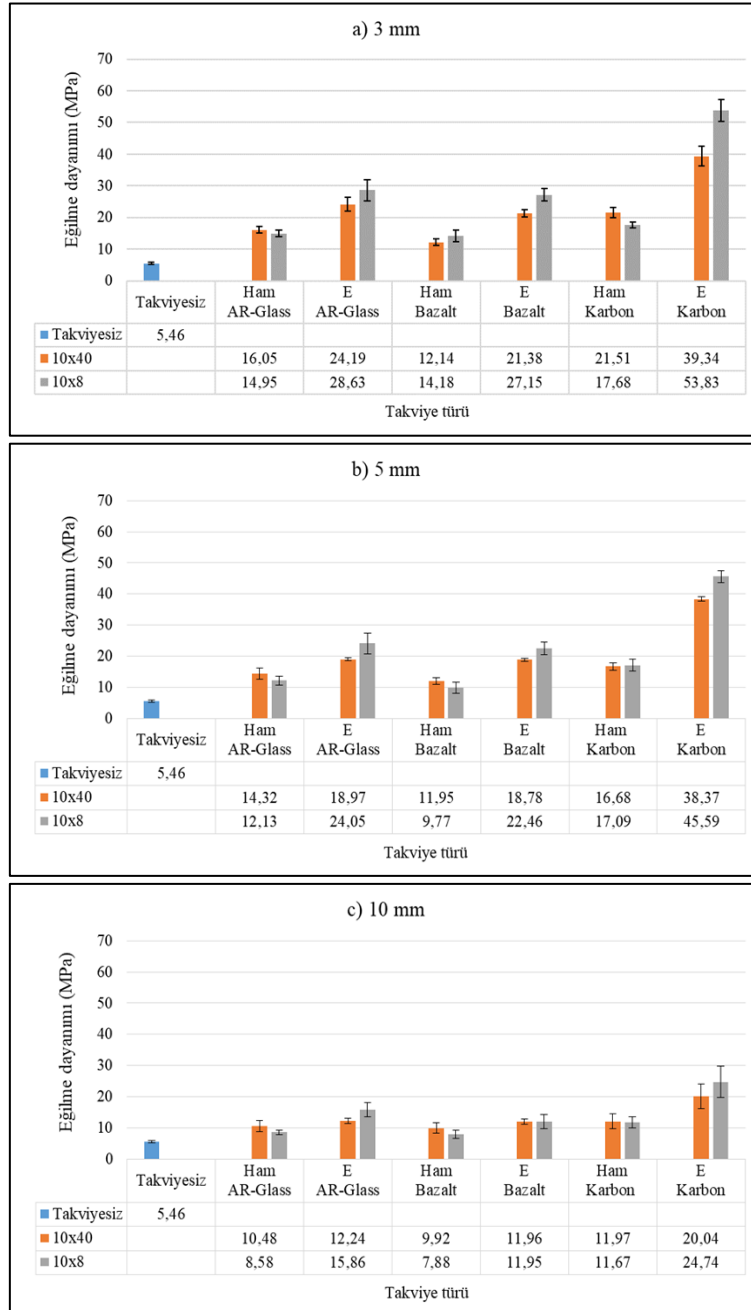
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Eğilme Dayanımı

Şekil 7'de, ham ve epoksi reçine kaplı alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filament kullanılarak oluşturulmuş 10x40 ve 10x8 tekstil yüzeylerinin numune tabanından 3, 5 ve 10 mm mesafeye yerleştirilmesi sonucu elde edilmiş beton numunelerin eğilme dayanımı sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm takviye bileşenleri eğilme dayanımına katkı sağlamış olup en büyük katkıyı karbon filamentten üretilen yüzeyler sağlarken, en düşük katkıyı ise bazalt filamentten üretilen yüzeyler sağlamıştır. Bazalt filament alkali dayanımlı cam filamentten daha yüksek çekme dayanımına sahip olmasına rağmen beton içerisindeki performansı ve epoksi reçineye uyumundan dolayı eğilme dayanımında alkali dayanımlı cam filamentte göre daha düşük katkı sağlamıştır. Epoksi reçine kaplama prosesi tüm filamentler için eğilme dayanımına katkı sağlamıştır. 10x8 tekstil yüzeylerinin kullanıldığı numunelerde epoksi kullanımının katkısı ham filament kullanımına göre alkali dayanımlı cam filamentte %92, bazalt filamentte %91, karbon filamentte ise %205 olmuştur. 10x40 tekstil yüzeyleri ham filament kullanımında, 10x8 tekstil yüzeyleri ise epoksi reçine kaplı filament kullanımında genellikle daha yüksek eğilme dayanımları vermiştir. Ham filament kullanımında filament beton içerisinde nüfuz ederek aderansı artırmaktadır. Bu nedenle tekstil bileşeni miktarının fazla olduğu 10x40 tekstil yüzeyleri ham filament kullanımında daha iyi dayanım göstermektedir. Epoksi reçine ile filamentlerin kaplanması durumunda filament çevresinde oluşan kaplama tabakası ile bileşen kalınlaşmakta bu da beton geçişini azaltmaktadır. Bunun sonucunda tekstil yüzeyi-beton bağlantısı azaldığından tekstil yüzeyi sıyrılmaları meydana gelmekte bu da eğilme dayanımını azaltmaktadır. Bu durum tekstil bileşeninin fazla olduğu 10x40 tekstil yüzeylerinde daha fazla gerçekleşmektedir. Bu nedenle epoksi reçine kaplı filamentlerin kullanıldığı 10x8 tekstil

yüzeyleri daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. Tekstil yüzeylerinin beton içerisindeki konumları incelendiğinde takviye bileşeninin numune tabanına yaklaştıkça katkısının

arttığı görülmüştür. Bundan sonraki bölümlerde alkali dayanımlı cam filament “AR-Glass”, epoksi reçine kaplı filament ise “E” olarak kodlanmıştır.

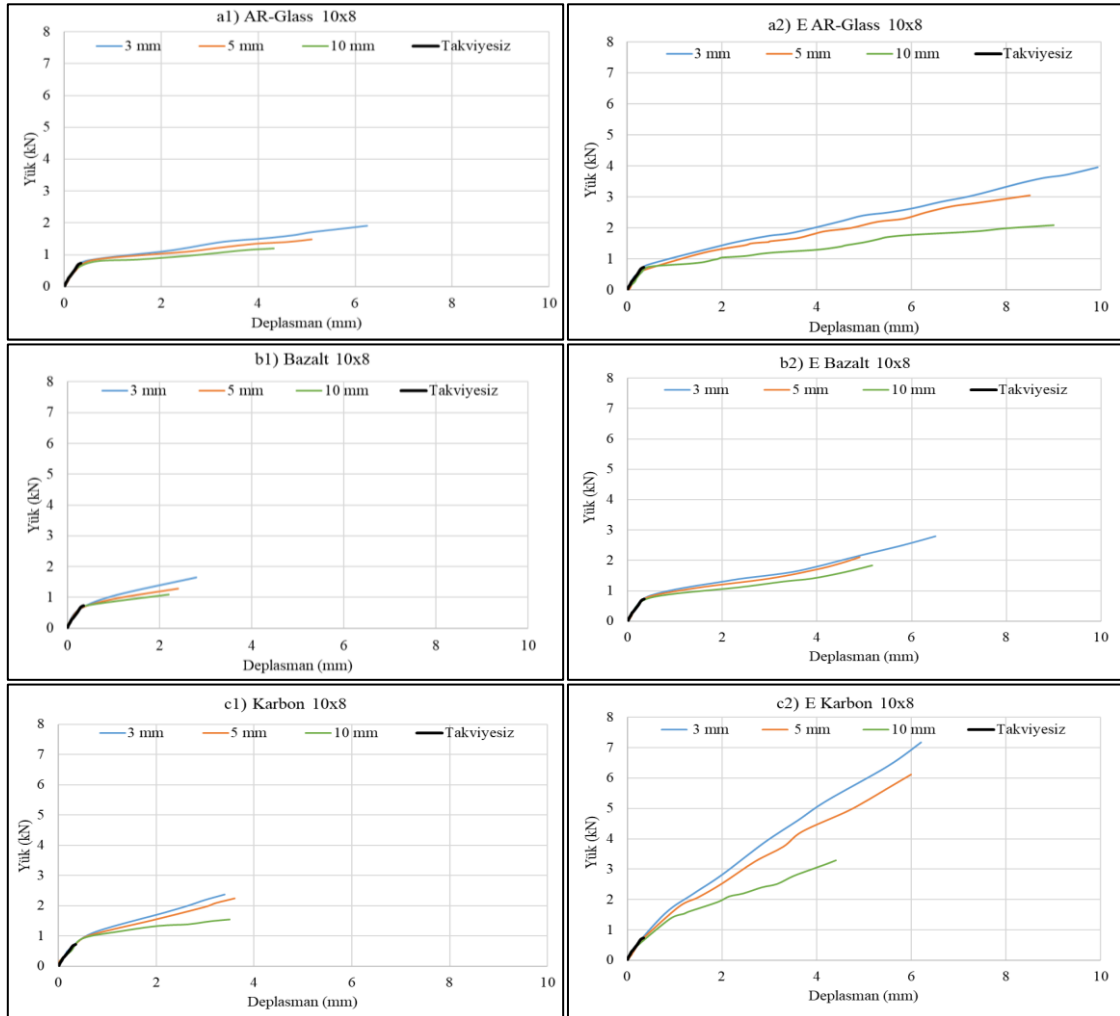


Şekil 7. Eğilme dayanımı sonuçları

3.2. Yük-Deplasman Grafikleri

Eğilme deneyi sırasında numunelere uygulanan yük ve oluşan sehim değerlerinden yük-deplasman grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 8). Yük-deplasman grafikleri en fazla katkının sağlandığı 10x8 tekstil yüzeylerine için hazırlanmıştır. Grafikler incelendiğinde epoksi reçine kullanımında yük ve deplasman değerlerinde artış elde edildiği görülmektedir. Tekstil bileşenlerinin epoksi reçine ile kaplanması takviye bileşeninin dayanımını artırmış bu da betonun eğilme performansına etki etmiştir. Grafikler genel olarak ilk kırığın olduğu bölgeye kadar olan kısım ve

sonrası olan kısım olmak üzere iki ana bölgeye ayrılabilir. Takviyesiz numune incelendiğinde oluşturduğu eğri doğrusal olup betonun elastik durumuna karşı gelir ve betonun kırılmasıyla birlikte sonlanır (I. Bölge). Takviyeli numunelerde ise ilk bölge takviyesiz numune gibi hareket etmekte olup ilk kırık oluşumunda sonra doğrunun eğimi azalmakta ve takviye bileşeni yük taşımaya nihai kapasitesine kadar devam etmekte ve sonrasında deney sonlanmaktadır (II. Bölge). Grafikler incelendiğinde takviye bileşeninin numune tabanına yakın yerleştirilmesi sonucu oluşan eğimin daha büyük olduğu görülmüştür.

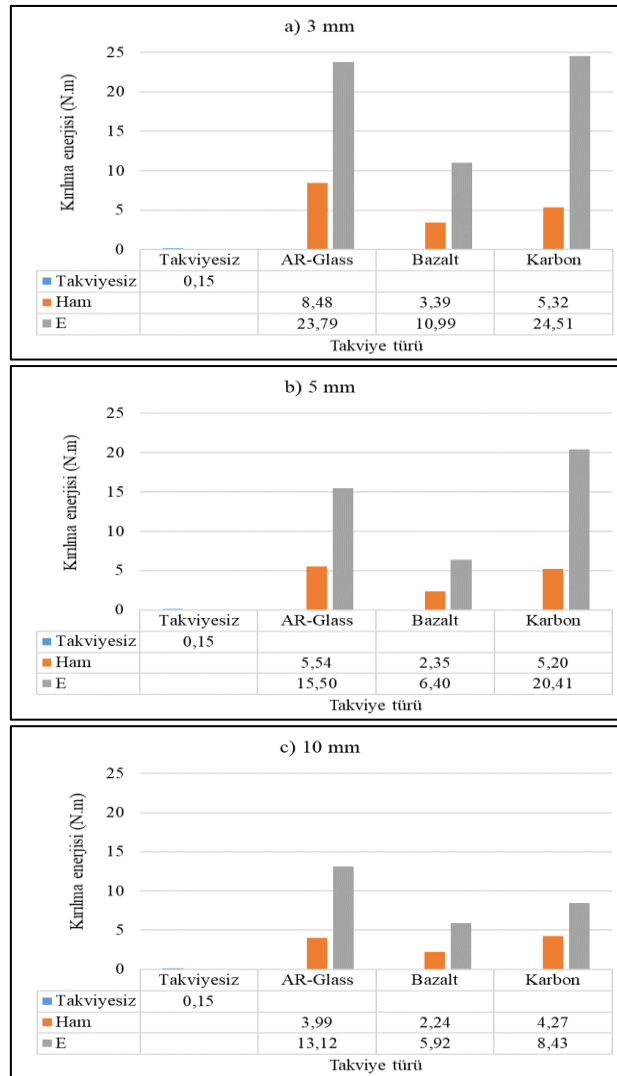


Şekil 8. Yük-deplasman grafikleri

3.3. Kırılma Enerjisi

Eğilme deneyi sonucunda oluşturulan yük-deplasman grafikleri üretilen numunelerin kırılma enerjilerinin hesaplanmasında da kullanılmıştır. Numunelerin kırılma enerjileri oluşturulan grafiklerin altında kalan alana eşit olup, hesaplanan değerler Şekil 9'da grafik olarak verilmiştir. Şekil 9'da da görüldüğü gibi tüm takviye bileşenleri hem ham hem de epoksi reçine kaplı olarak takviyesiz bileşene göre kırılma enerji değerlerini kayda değer bir şekilde artırmışlardır.

Kırılma enerjisi grafikleri eğilme dayanımı grafiklerine benzer özellikler göstermiştir. Sadece AR-Glass kullanımında elde edilen deplasman değerlerinin daha yüksek olmasından dolayı karbon filament kullanımına göre yakın veya daha yüksek kırılma enerjisi değerleri elde edilmiştir. Kırılma enerjisinin en büyük olduğu takviye yüzeylerinin 3 mm'de kullanıldığı durumda epoksi reçine kullanımı ham filament kullanımına göre kırılma enerjisinde alkali dayanımlı cam filamentte %181, bazalt filamentte %224, karbon filamentte ise %360 artış elde edilmiştir.



Şekil 9. Kırılma enerjileri

4. SONUÇLAR

Tekstil takviyeli betonlar yapı sektöründe kullanımı giderek artan yenilikçi kompozit malzemelerdir. Farklı kullanım alanları bulunan bu yapılar yapılan çalışmalarla giderek yaygınlaşmaktadır. Çalışmada beton takviyesinde yaygın olarak tercih edilen alkali dayanımlı cam, bazalt ve karbon filament ham ve epoksi reçine kaplı olarak kullanılmıştır. Filamentler numunede 10x40 ve 10x8 tel olacak yüzeylere dönüştürülmüş ve üç farklı konumda beton içerisine yerleştirilmiştir. Böylelikle yaygın kullanılan üç tekstil filamenti iki farklı formda, iki farklı yüzeyde ve üç farklı konumda kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Her bir takviye bileşeni eğilme dayanımına katkı sağlamış en fazla katkıyı karbon filament, en düşük katkıyı ise bazalt filamentten üretilen yüzeyler sağlamıştır.
- Epoksi reçine kullanımı eğilme dayanımında ham filament kullanımına göre alkali dayanımlı cam filamentte %92, bazalt filamentte %91, karbon filamentte ise %205 katkı sağlamıştır.
- Ham filament kullanımında 10x40 tekstil yüzeyleri, epoksi reçine kaplı filament kullanımında ise 10x8 tekstil yüzeyleri daha iyi eğilme dayanımı değerleri vermiştir.
- Takviye amacıyla kullanılan tekstil yüzeyleri numune tabanına yaklaştıkça eğilme dayanımına katkısı artmıştır.
- Epoksi reçine kullanımı eğilme deneyindeki sehim değerlerini artırmıştır.
- Kırılma enerjisi ve eğilme dayanımı grafikleri benzer olup epoksi reçine kullanımı durumunda yük ve sehim değerlerindeki artıştan dolayı kırılma enerjisindeki artışlar daha fazla olmuştur.

5. TEŞEKKÜR

Çalışma Çukurova Üniversitesi BAP Birimi tarafından FDK-2016-6682 kodlu proje numarası ile desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Ünsal, A., Şen, H., 2008. Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab. Şubesi Müdürlüğü, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
2. Bagherzadeh, R., Sadeghi, A.H., Latifi, M., 2011. Utilizing Polypropylene Fibers to Improve Physical and Mechanical Properties of Concrete. *Textile Research Journal*, 82(1), 88-96.
3. Kurt, G., 2006. Lif İçeriği ve Su/çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 87.
4. Pidun, K., Gries, T., 2013. Shaped Textile Reinforcement Elements for Concrete Components, *Advanced Materials Research* 747, 415-419.
5. Shams, A., Horstmann, M., Hegger, J., 2014. Experimental Investigations on Textile-Reinforced Concrete (TRC) Sandwich Sections. *Composite Structures*, 118, 643-653.
6. Peled, A., Cohen, Z., Pasder, Y., Roye, A., Gries, T., 2008. Influences of Textile Characteristics on the Tensile Properties of Warp Knitted Cement Based Composites. *Cement & Concrete Composites*, 30, 174-183.
7. Funke, H., Gelbrich, S., Ehrlich, A., 2013. Development of a New Hybrid Material of Textile Reinforced Concrete and Glass Fibre Reinforced Plastic. *Procedia Materials Science*, 2, 103-110.
8. Brameshuber, W., 2006. Textile Reinforced Concrete, in State-of-the-art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC, RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, France.
9. Hegger, J., Zell, M., Horstmann, M., 2008. Textile Reinforced Concrete-realization in Applications. *Taylor Made Concrete Structures*. Taylor & Francis Group, London, 357-362.

10. Kurban, M., 2021. Hibrit İplikler Kullanılarak Düşük Maliyetli Tekstil Takviyeli Beton Geliştirilmesi, Yapı ve Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 363.
11. Chira, A., Kumar, A., Vlach, T., Laiblova, L., Skapin, A.S., Hajek, P., 2016. Property Improvements of Alkali Resistant Glass Fibres/epoxy Composite with Nanosilica for Textile Reinforced Concrete Applications. *Materials and Design*, 89, 146-155.
12. Yoo, D.Y., Gohil, U., Gries, T., Yoon, Y.S., 2016. Comparative Low-velocity Impact Response of Textile-reinforced Concrete and Steel-fiber-reinforced Concrete Beams. *Journal of Composite Materials*, 50(17), 2421-2431.
13. Krüger, M., Reinhardt, H.W., Fichtlscherer, M., 2001. Bond Behaviour of Textile Reinforcement in Reinforced and Prestressed Concrete. *Otto-Graf-Journal* 12, 33-50.
14. Lv, L.B., Du, M., Xun, Y., 2012. Design and Production of Pre-Stressed Carbon Fabric Used in Fabric Reinforced Concrete Board. *Applied Mechanics and Materials*, 174-177, 900-904.
15. Koeckritz, U., Cherif, C.H., Weiland, S., Curbach, M., 2010. In-situ Polymer Coating of Open Grid Warp Knitted Fabrics for Textile Reinforced Concrete Application. *Journal of Industrial Textiles*, 40(2), 157-169.
16. Rampini, M.C., Zani, G., Colombo, M., Prisco, M.D., 2018. Textile Reinforced Concrete Composites for Existing Structures: Performance Optimization Via Mechanical Characterization. Proc. of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Aug 29 to 31, 2018, Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic.
17. Kurban, M., Babaarslan, O., 2017. Saç Örgü Tekniği İle Tasarlanan Hibrit İpliklerin Tekstil Takviyeli Beton Üretiminde Kullanımı. 2. Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, Bursa, Türkiye, 27-28 Nisan 2017, 62-63.
18. Kurban, M., Babaarslan, O., Çağatay İ.H., 2017. Hybrid Yarn Composites for Construction. *Textiles for Advanced Applications* (Bipin Kumar and Suman Thakur, Editör), InTech Open, Londra, 135-160.
19. TS EN 12390-3: 2010 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deneysel Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini.
20. TS EN 12350-5: 2010 Beton-Taze Beton Deneyleri- Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi.
21. TS EN 12390-5: 2010 Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deneysel Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini.
22. TS TSEN 12390-2: 2019 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deneysel Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabii Tutulması.