İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PVA TEKSTİLLERİN ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERDE KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Avni Can KARADENİZ
501101070

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bekir Y. PEKMEZCİ

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101070 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Avni Can KARADENİZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"PVA TEKSTİLLERİN ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERDE KULLANILMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Bekir Y. BEKMEZCİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Hakan N. ATAHAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nabi YÜZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **7 Haziran 2012**

Sevgili anneme, babama ve kardeşime,

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini benden esirgemeyen, annem Harika KARADENİZ, babam Yakup KARADENİZ, kardeşim Erkal KARADENİZ başta olmak üzere, bana bu yolda yardımcı olan benden bilgi, birikim ve kaynaklarını esirgemeyen, pratik çözümleriyle olası zor durumların altından kolaylıkla kalkmamı sağlayan değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ'ye, kumaş malzemeleri konusunda bilgilerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Burçak Karagüzel KAYAOĞLU'na ve bana yardımcı olan diğer değerli öğretmenlerim ile İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuar'ı çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca bana çoğu zaman destek olan ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım ile bu zamanda örneğine çok rastlanmayacak şekilde zaman konusunda bana hoşgörü gösteren iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2012

Avni Can KARADENİZ

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**
2.1 Liflerin Genel Özellikleri 5
2.1.1 Liflerin takviye elemanı olarak kullanılması 5
2.1.2 Lif çeşitleri 7
2.1.2.1 Süreksiz lif 8
2.1.2.2 Sürekli lif 8
2.1.3 Cam lif takviyeli betonların genel özellikleri 9
2.1.4 PVA lif takviyeli betonların genel özellikleri 11
2.1.4.1 PVA lif üretim aşaması 14
2.1.4.2 PVA lif kullanımı ve uygulama alanları 14
2.1.5 Lif-matris ilişkisi 15
2.2 Tekstil Takviyeli Betonlar 15
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **19**
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri 19
3.1.1 Çimento 19
3.1.2 Agrega 20
3.1.3 Kimyasal katkı 20
3.1.4 Cam file kumaşı 21
3.1.5 Yönlendirilmiş PVA keçe 23
3.1.6 PVA kısa lif 24
3.1.7 Mineral toz 24
3.1.8 Kür koşulları 25
3.2 Karışım Oranları ve Numunelerin Kodlanması 25
3.3 Numune Üretimi ve Kür Aşaması 27
3.3.1 Kumaş donatıların hazırlanması 27
3.3.2 Numune üretimi 27
3.3.3 Kür aşaması 29
3.4 Kompozit Malzeme Deneyleri 30
3.4.1 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisi hesabı 30
3.4.2 Çekme deneyi 31
4. DENEY SONUÇLARI **33**
4.1 Matrisler Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları 33
4.1.1 Eğilme deneyi sonuçları 33

4.2 Kompozit Malzeme Deney Sonuçları 34
4.2.1 Eğilme deneyi sonuçları 34
4.2.2 Çekme deneyi sonuçları 35
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 37
5.1 Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 37
5.2 Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 49
6. GENEL SONUÇLAR 57
KAYNAKLAR 59
EKLER 61
ÖZGEÇMİŞ 63

KISALTMALAR

ARG : Alkali Dirençli Cam Lif
FRC : Lif Donatılı Beton
PVA : Polivinil Alkol
GFRC : Cam Lif Takviyeli Beton
PP : Polipropilen
PE : Polietilen
PAN : Poliakrilo Nitrit
PES : Polyester

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Değişik türdeki liflere ait mekanik ve fiziksel özellikler 5
Çizelge 2.2 : Tekstil cam liflerin yüzde karışım oranları 9
Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri 19
Çizelge 3.2 : Çimentonun kimyasal bileşimi 20
Çizelge 3.3 : Süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri 20
Çizelge 3.4 : R52 A101 cam file kumaşın teknik özellikleri 21
Çizelge 3.5 : R96 A101 cam file kumaşın teknik özellikleri 22
Çizelge 3.6 : R117 A101 cam file kumaşın teknik özellikleri 23
Çizelge 3.7 : Yönlendirilmiş PVA keçe birim ağırlığı 23
Çizelge 3.8 : PVA lif özellikleri 24
Çizelge 3.9 : Ağırlıkça matris karışım miktarları. 25
Çizelge 3.10 : Cam file kumaş numune kodları 26
Çizelge 3.11 : Yönlendirilmiş PVA keçe numune kodları 26
Çizelge 3.12 : PVA kısa lif numune kodları 26
Çizelge 4.1 : Matris üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları 33
Çizelge 4.2 : Kompozit malzeme ve matris eğilme deneyi sonuçları 34
Çizelge 4.3 : Kompozit malzeme çekme kuvvetleri ve dayanımları 35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çimento matris içindeki çatlak ucunda lif performansı 4
Şekil 2.2 : Lifli malzeme-Lifsiz malzeme çatlak görünüşü 6
Şekil 2.3 : Çimento esaslı matris içindeki mikro çatlaklar ve lifler 7
Şekil 2.4 : Lif takviyeli kompozit türleri 8
Şekil 2.5 : PVA lifli çimento esaslı kompozitte eksenel çekme altındaki mikro çatlak oluşumu 12
Şekil 2.6 : (a) PVA kısa lif (b) Yönlendirilmiş PVA keçe. 14
Şekil 2.7 : Çeşitli kumaş yapıları 16
Şekil 3.1 : R52 A101 tipi cam file kumaş 21
Şekil 3.2 : R96 A101 tipi cam file kumaş 22
Şekil 3.3 : R117 A101 tipi cam file kumaş 22
Şekil 3.4 : Yönlendirilmiş PVA keçe 23
Şekil 3.5 : PVA kısa lif. 24
Şekil 3.6 : Taş tozu 24
Şekil 3.7 : (a) Çekme deneyi için 35*4 cm'lik yönlendirilmiş PVA keçe (b) Eğilme deneyi için 35*5 cm'lik yönlendirilmiş PVA keçe 27
Şekil 3.8 : Pleksiglas döküm kalıbı 27
Şekil 3.9 : Numune üretim aşaması : (a) PVA kısa lif-matris (b) Yönlendirilmiş PVA keçe-matris (c) Cam file kumaş-matris 28
Şekil 3.10 : Numunelerin kalıba dökülmüş halleri:(a) Cam file kumaş takviyeli (b) Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli (c) PVA kısa lif takviyeli 29
Şekil 3.11 : Numunelerin kür aşaması 29
Şekil 3.12 : Eğilme deneyi kurulumu: (a) Temsili mesnetler, (b) Sistem düzeneği.. 31
Şekil 3.13 : Çekme deneyi kurulumu 32
Şekil 4.1 : Matrislerin eğilme dayanımları 33
Şekil 4.2 : Matrislerin kırılma enerjileri 33
Şekil 4.3 : Kompozit malzemelerin eğilme dayanımları 34
Şekil 4.4 : Kompozit malzemelerin kırılma enerjileri 35
Şekil 4.5 : Kompozit malzemelerin çekme kuvvetleri 36
Şekil 4.6 : Kompozit malzemelerin çekme dayanımları 36
Şekil 5.1 : %100 çimento içeren matrisin yük-sehim grafiği 37
Şekil 5.2 : %75 çimento - %25 taş tozu içeren matrisin yük-sehim grafiği 38
Şekil 5.3 : %50 çimento - %50 taş tozu içeren matrisin yük-sehim grafiği 38
Şekil 5.4 : Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitin yük-sehim grafiği 39
Şekil 5.5 : Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-sehim grafiği: Çimento/Taş tozu(3/1) 39
Şekil 5.6 : Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-sehim grafiği: Çimento/Taş tozu(1/1) 40
Şekil 5.7 : Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitlerin eğilme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri 41

Şekil 5.8 : PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitin yük-sehim grafiği..... 42
Şekil 5.9 : PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-sehim grafiği: Çimento/Taş tozu(3/1)..... 42
Şekil 5.10 : PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-sehim grafiği: Çimento/Taş tozu(1/1)..... 43
Şekil 5.11 : PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitlerin eğilme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri 43
Şekil 5.12 : Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması 44
Şekil 5.13 :Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması: Çimento/Taş tozu (3/1)..... 44
Şekil 5.14 :Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması: Çimento/Taş tozu (1/1)..... 45
Şekil 5.15 : R 52 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük-sehim grafiği 46
Şekil 5.16 : R 96 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük-sehim grafiği 46
Şekil 5.17 : R 117 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük-sehim grafiği ... 46
Şekil 5.18 : Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitlerin eğilme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri 47
Şekil 5.19 : Yönlendirilmiş PVA keçe ve R52 A101 tipi cam file kumaş takviyeli kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması 48
Şekil 5.20 : Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitin yük-uzama grafiği..... 49
Şekil 5.21 : Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-uzama grafiği: (a) Çimento/Taş tozu(3/1) (b) Çimento/Taş tozu(1/1)..... 50
Şekil 5.22 : Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri..... 51
Şekil 5.23 : PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitin yük-uzaman grafiği . 51
Şekil 5.24 : PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-uzama grafiği (a) Çimento/Taş tozu(3/1) (b) Çimento Taş tozu(1/1) 52
Şekil 5.25 : PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri 53
Şekil 5.26 : R 52 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük- uzama grafiği ... 54
Şekil 5.27 : R 96 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük- uzama grafiği ... 54
Şekil 5.28 : R 117 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük- uzama grafiği.. 55
Şekil 5.29 : Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri 55

PVA TEKSTİLLERİN ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERDE KULLANILMASI

ÖZET

Lifler, geleneksel çelik donatıların daha küçük boyutlu çeşitleri olarak düşünülebilir ve benzer davranışlar gösterirler. Elastisite modülleri ve dayanımları genellikle aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre büyüktür. Gevrek bir malzeme olan betona karışım esnasında lif ilave edilmesiyle sünek bir yapı oluşturularak betonun bazı mekanik özelliklerinde iyileşme beklenir. Lifler; tipi, boyutu, narinlik oranı (boy/çap), geometrisi, miktarı, çekme dayanımı, yüzey özellikleri ve lif-matris aderansı gibi birçok parametreye bağlı olarak betonda dayanımı, çatlak kontrolünü, şekil değiştirme kapasitesini, darbe dayanımını ve durabiliteyi arttırır. Kompozitler, süreksiz liflerle üretilebilirken aynı zamanda sürekli lif olarak bilinen kumaşlar da çimento esaslı kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır.

Bu deneysel çalışma, PVA tekstil takviyeli çimento esaslı kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine odaklanmıştır. Bu amaçla takviye elemanı olarak ucuz ve kolay temin edilebilen, fiziksel ve mekanik özelliklerine göre diğer tekstil malzemelerinden daha üstün özelliklere sahip olan yönlendirilmiş PVA keçe ve cam kumaş kullanılmıştır. İlk olarak, 3 farklı cam file kumaş kullanılarak oluşturulan çimento esaslı kompozit malzemeler üzerinde eğilme ve çekme deneyleri yapılmıştır. Buradaki amaç, farklı tex özelliklerine sahip ve farklı yoğunluktaki cam file kumaşların mekanik özelliklerinin karşılaştırılmasıdır. İkinci aşamada ise, North Coralina State Üniversitesi, Nonwoven Textile Research Center'da bu tez için özel olarak üretilen yönlendirilmiş PVA keçe ile oluşturulan çimento esaslı kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu aşamada tek çeşit yönlendirilmiş PVA keçe ve 3 farklı matris kullanılarak kompozit numuneler hazırlanmıştır. Öncelikle, yönlendirilmiş PVA keçe ile cam file kumaş içeren kompozitler arasındaki mekanik özelliklerin karşılaştırılması amacıyla yalnız çimento bağlayıcılı matrisle numuneler oluşturulmuştur. Yönlendirilmiş PVA keçenin farklı bileşimlerdeki matrisler içindeki performanslarının karşılaştırılması amacıyla çimento ve taş tozu oranları sırasıyla 1/3 (T/Ç) ve 1/1 (T/Ç) olan matrisler kullanılarak çimento esaslı kompozitler üretilmiştir. PVA kısa lif ile üretilen numunelerde ise yönlendirilmiş PVA keçe ve cam file kumaş içeren kompozitlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, takviye elemanı olarak PVA kısa lif içeren kompozitler ile aynı çimento ve taş tozu oranına sahip yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozit numuneler üretilerek iki malzeme arasındaki davranış farklılıkları deneysel olarak belirlendi. Son olarak, yalnızca matrislerin oluşturduğu numunelerin eğilme ve çekme davranışları araştırılarak tekstil takviyelerin etkisi sorgulanmıştır.

Kompozit üretiminde CEM I 42,5 R Portland çimentosu, 200 mikron boyutlu tek tip agrega, taş tozu ve Polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Eğilme deneyi için 35x5x1 cm boyutlarında kalıplar, çekme deneyi için ise 35x4x1 cm boyutlarındaki kalıplar kullanılmıştır. Dört noktalı eğilme deneyinde yükleme hızı

0,8 mm dakika/sehim'dir ve yük, max. yük değerinin % 30'una geldiğinde deney sonlanmıştır. Çekme deneyinde ise yükleme hızı 1 mm dakika/sehim'dir ve malzemenin ulaşabildiği max. yük esas alınmıştır.

Deneysel çalışmalar neticesinde, yalnızca matrisler üzerinde yapılan eğilme deneylerinde; çimento yerine kullanılan taş tozu miktarı arttıkça, matrislerin eğilme dayanımının azaldığı sonucuca ulaşıldı. Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lifin takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozit malzemelerde yapılan eğilme deneyleri sonucunda; çimento yerine kullanılan taş tozu miktarı arttıkça, takviye elemanlarının matrislerden sıyrılma özelliklerine bağlı olarak enerji yutma kapasitesi artmıştır. Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitler ile cam file kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme davranışları incelenmesiyle; cam file kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımının yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlere göre daha yüksek olduğu ve yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin sehim yapabilme yeteneklerinin cam file kumaş takviyeli kompozitlere yaklaştığı görülmüştür.

Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli kompozitlerin çekme deneyleri karşılaştırıldığında; üretim sırasında yönlendirilmiş olan yönlendirilmiş PVA keçe ile oluşturulan kompozitlerin çekme dayanımının, PVA kısa lif takviyeli kompozitlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Yönlendirilmiş PVA keçe veya PVA kısa lif takviyeli kompozitlerde, çimento yerine taş tozu miktarı arttıkça uzama miktarı artmıştır. Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin çekme dayanımları cam kumaş takviyeli kompozitlere göre daha düşüktür.

Cam file kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme davranışlarında, cam file kumaşların alan yoğunluklarının yanı sıra doğrusal yoğunlukları da belirleyici olmuştur.

.

USAGE OF PVA TEXTILES IN CEMENT BASED COMPOSITES

SUMMARY

In a broad sense, fibers used for reinforcing concrete are small versions of conventional steel reinforcement, and they provide a similar service. It has greatly increased strength and modulus of elasticity compared to big volumed form of the matter. By adding fibers to the concrete, which is a brittle matter, increased ductility and better mechanical properties are expected. Fibers increases strength, crack (fracture control), capacity of strain, impact strength and durability of concrete depending on fibers type, size, slenderness ratio, geometry, quantity, tensile strength, surface characteristic and fiber-matrix bonding. Composites both can be produced with discontinuous fiber and fabric known as continuous fiber can be used in producing cement-based composites.

Fibers have many varieties depending on characteristic of fiber and usage area. Mechanism of concrete fracture is completed by the first crack occurrence. In continuous or discontinuous fibers, equipped concrete fracture mechanism is completed with many parallel cracks. In concrete, micro-cracks, which exist at hardened areas and cracks formed by internal stress will begin to grow after receiving load. When crack encounter fibers in concrete, it will transfer stress energy that allows the crack progress, to the fibers. Fibers will be broken or stripped from concrete when the stress energy exceeds their strength. The stress energy will be transferred back to the crack and crack will progress until encountering next fiber. This process will be repeated while the load increases and many parallel cracks will occur on the element. These cracks show that the elements ductility has been increased.

This experimental study focused on the mechanical properties of PVA textile reinforced cement based composites. For this purpose, nonwoven PVA felt and glass fabrics which have superior physical and mechanical properties than the other textile materials, using as a reinforcement. Firstly, the behaviors under flexural and tensile tests of cement-based composites containing three different glass mesh fabrics were compared. Firstly, bending and tensile tests were performed on cement based composite materials, which were carried out by three different glass mesh fabrics. The aim here is comparison the mechanical properties of the glass mesh fabrics, which has different tex properties and different densities. Secondly, the mechanical properties of composites containing PVA fabric produced specially for this thesis at North Coralina State University (at Nonwoven Textile Research Centre), were investigated. In this stage, composites samples were prepared by using one type nonwoven PVA felt and three different matrixes. First of all, samples were formed with only cement based matrix in order to compare mechanical properties of composites include nonwoven PVA felt and glass fabric. With the aim of comparing performances of nonwoven PVA felt in different compositions of matrixes, cement based composites were produced by using matrixes that include cement and stone powder in 1/3 (T/Ç) and 1/1 (T/Ç) percentage. In samples produced by using PVA

short fiber, composites, which include nonwoven PVA felt and glass fabric, were compared. In addition, composites, which include PVA short fiber as reinforcement material and nonwoven PVA felt reinforced composites that have same cement and stone powder rate, were produced and behavior differences of these two materials were determined. Finally, bending and tensile behaviors of the samples that were prepared by only matrix were searched and the effects of textile reinforcement were questioned.

All of the materials were subjected to air cure in a special laboratory which has % 60±5 relative humidity and with a temperature of 23±2 ^{0}C. After 21 days, the four point bending tests were applied and after 28 days, the tensile tests were applied. After curing in the laboratory, mechanical properties of matrix and composite materials were investigated on hardened specimens. The four point bending tests were applied on the matrix and composites to determine flexural behavior. Furthermore, the composite materials were subjected to the tensile load for calculating their tensile strengths. For each different composite and matrix materials, at least five specimens were produced to obtain the better results.

The CEM I 42,5 R Portland cement, 200 micron-sized unique type of aggregate, mineral powder and Polycarboxylate-based super plasticizer were used for production of composites. 35x5x1 cm dimensional moulds for the bending tests and 35x4x1 cm dimensional moulds for the tensile tests were used. The load speed in four point bending test were 0,8 mm minute/deflection and the test were ended when the value of the load were % 30 of max. load. However, the load speed in tensile test were 0,8 mm minute/deflection and the maximum load of the materials were based on.

As a result of the bending tests performed on matrix, increasing the amount of stone powder is used instead of cement, the flexural strength of matrix decreases.

Nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites have better deflection capacity than PVA short fiber reinforced cement-based composites and consequently the fracture energy is higher than the fracture energy of PVA short fiber reinforced cement-based composites.

As a result of the bending tests on nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites and PVA short fiber reinforced cement-based composites, increasing the amount of stone powder is used instead of cement, the capacity of absorbing energy has increased, depending on characteristic of detachment from matrix.
By reason of the bending tests on nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites and glass mesh fabric reinforced cement-based composites, the flexural strength of nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites is lower than the flexural strength of glass mesh fabric reinforced cement-based composites. However, the capabilities to make deflection of nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites which include cement and stone powder, increasing the amount of stone powder is used instead of cement, have approached to the capabilities to make deflection of glass mesh fabric reinforced cement-based composites.
As a result of the bending tests on PVA short fiber reinforced cement-based composites and glass mesh fabric reinforced cement-based composites, the flexural strength of PVA short fiber reinforced cement-based composites is lower than the flexural strength of glass mesh fabric reinforced cement-based composites.

By reason of the tensile tests on nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites and PVA short fiber reinforced cement-based composites, the tensile strength of nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites is higher than the tensile strength of PVA short fiber reinforced cement-based composites.

As a result of the tensile tests on nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites and PVA short fiber reinforced cement-based composites, increasing the amount of stone powder is used instead of cement, the amount of elongation has increased.

By reason of the tensile tests on nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites and glass mesh fabric reinforced cement-based composites, the tensile strength of nonwoven PVA felt reinforced cement-based composites is lower than the tensile strength of glass mesh fabric reinforced cement-based composites.

As a result of experimental study on glass mesh fabric reinforced cement-based composites, it was arrived that linear density and area density of used glass mesh fabric affected flexural strength.

1.GİRİŞ

Kompozitler, iki ya da daha çok malzemenin makro seviyelerde yapay olarak farklı ara yüzlerde bir araya gelmesiyle oluşurlar ve kendisini oluşturan malzemelerden daha yüksek mekanik özelliklere sahip olabilirler. Çimento esaslı kompozitler yapı endüstrisinde uygulama kolaylığı ve yapının diğer bileşenleriyle olan uyumu sayesinde sıklıkla tercih edilmektedir. Günümüzde, çimento esaslı kompozitlerde takviye elemanı olarak çelik donatıların kullanımı yaygındır fakat ince cidarlı çimento esaslı kompozit malzemelerin üretilmesinde geleneksel çelik donatı kullanılması, malzemenin korozif etkilere karşı hassasiyetini arttırmaktadır. Bu sorunun çözümüne tekstil takviyeli beton teknolojisi iyi bir alternatif olmuştur.

Bu çalışmada yapılan araştırmalar ışığında, elde edilen bilgiler doğrultusunda yüksek mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı yönlendirilmiş PVA keçe ve cam kumaş takviyeli, farklı türde matrisler kullanılarak oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Çimento esaslı kompozit malzemelerde yönlendirilmiş PVA keçe kullanılması, liflerin istenilen yönde yönlendirilebilmesi ve bunun sonucunda da özelliği istenilen yönde değişen kompozitler elde edilmesi açısından önemlidir. Cam kumaşların çekme dayanımı ve elastisite modülü özelliklerinin yönlendirilmiş PVA keçelerden üstün olduğu bilinmektedir. Bununla beraber, PVA'nın şekil değiştirme özelliğinin yüksek olması aynı zamanda diğer mekanik özelliklerinin de cam lifle kıyaslanabilecek ölçülerde olması bu araştırmanın yapılmasında etkili olmuştur. Yönlendirilmiş PVA keçeler yüksek çekme dayanımları ve elastisite modülleri ile çatlak ilerlemesine karşın çok iyi performans gösterirler, ayrıca oluşturdukları kompozit malzemelerin lif-matris aderansı da oldukça yüksektir.

Araştırmada, North Coralina State Üniversitesi, Nonwoven Textile Research Center'da bu tez için özel olarak üretilen yönlendirilmiş PVA keçe takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Yönlendirilmiş PVA keçe ile üretilen kompozitlerde 3 farklı matris çeşidi kullanılmıştır. Üretimlerde, yönlendirilmiş PVA keçe ile aynı miktarda PVA kısa lif, takviye elemanı olarak kullanılmış ve aynı tür matris birleşimleriyle

PVA kısa lif takviyeli kompozitler oluşturulmuştur. Ayrıca, farklı tex özelliklerine ve yoğunluklarına sahip 3 tür cam file kumaş ile yalnızca çimento içeren kompozitler oluşturulmuştur.

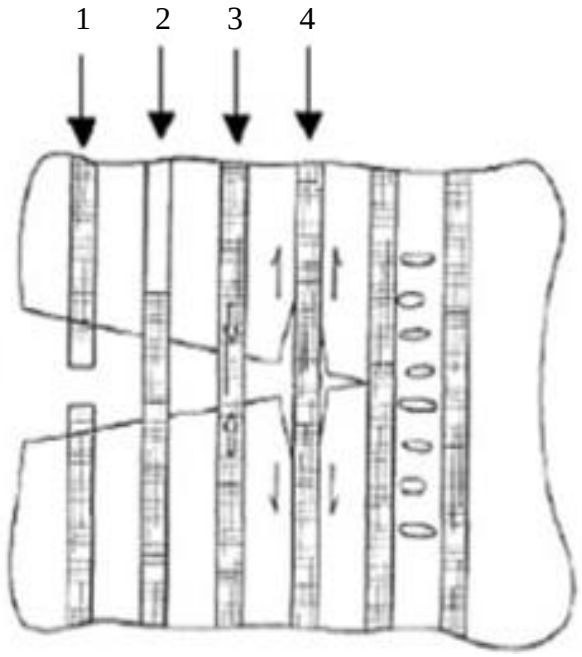
Kompozit malzemeler üzerinde yapılan bu araştırmanın amacı; yönlendirilmiş PVA keçe içeren kompozitlerin özelliklerinin araştırılması, matris bileşenlerinin bu özellikler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, PVA kısa lif ve cam kumaş takviyeli kompozitlerin performansı ile karşılaştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan kompozit malzemeler çekme ve dört noktalı eğilme deneylerine maruz bırakılmıştır. Deneyler sonucunda numunelerin enerji yutma kapasiteleri, lif-matris aderansı, çatlak oluşumları, çekme ve eğilme dayanımları incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Dayanım, süneklik, tokluk ve dayanıklılık gibi özelliklere sahip yapı arayışı, lifli ve yüksek performanslı beton gibi malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur. Bu tür malzemelerin kullanım alanları günümüzde oldukça yaygınlaşmış ve kompozitlerin özelliklerini geliştirmek adına önemli adımlar atılmıştır. Çelik lifler betonun çekme dayanımını önemli ölçüde arttırmaktadır. Çekme dayanımının yanı sıra diğer özelliklerinde de bir düzelme söz konusudur. Beton malzemeler çoğunlukla, gevrek olmaları nedeniyle basınç yüklerini taşımak için kullanılır; çelik lif donatılı çekme elemanları ise çekme yüklerini karşılamak amacıyla beton içinde kullanılır. Ancak, lifi saran beton tabakasının donma-çözünme gibi tahrip edici etkilerle çatlaması ve kabarıp dökülmesi, çelik çubukların ortaya çıkmasına ve korunaksız kalmasına neden olabilmektedir. Bu durum, korozif etkilerin donatıya kolayca zarar vermesine zemin hazırlamış olur. Son yıllarda çimento esaslı malzemeler üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki, çimento kimyasının anlaşılması, en uygun kimyasal kompozisyonunun bulunması, kür koşulları ve porozitenin azaltılması dış etkenlere dayanıklılık açısından son derece önemlidir. Betonda dayanıklılığın geliştirilmesi bazı koşulların sağlanmasına bağlı olmakla beraber, betonu kimyasal ve mekanik yönden geliştirmek amacıyla katkılar kullanılması önem taşımaktadır [1].

Son yıllarda, betonda çelik takviyelerin yerini alabilecek metal olmayan elemanlar için önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu alternatif takviyelerin temelini yüksek dayanımlı ve yüksek elastisite modülüne sahip yapay lifler oluşturur. Metal olmayan liflerin en etkileyici özelliğin çeliğin korozyonu için agresif ortamlarda kimyasal kararlılık gösterebilmeleridir [2]. Lifler, güçlendirilen kompozitin kalın cidarlı (100-200 mm) olması durumunda (örn. kaldırımlar ve diğer zemin betonları) temel olarak çatlak kontrolü için çalışırlar; yaklaşık 10 mm gibi görece ince kompozitlerde (çatı kiremitleri, duvar panelleri vb.) ise ana takviye malzemesi (donatı) görevi görürler. Çimento esaslı kompozitlerde kullanılan takviye elemanları, malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirirler. Liflerin en önemli özellikleri, kompozitlerin tokluğunu, çekme ve eğilme dayanımlarını arttırmalarıdır [3,24].

Yapısal görevli donatı elemanları, kısa lifler, sürekli takviye elemanları (iplik, fitil) ya da kumaş biçiminde olabilir. Kısa lifler mikro çatlaklar üzerinde köprü görevi görerek kompozitin eğilme dayanımının artmasına neden olurken kırılma sonrası davranışta etkileri çok küçüktür. Ancak uzun lifler kırılma sonrasındaki süreçte etkin hale gelerek yüksek kırılma enerjisi elde ederler. Takviye olarak kullanılan polimerik lifler yaygınlık, kimyasal dayanım, kolay şekil alabilme gibi üstünlüklerinin yanında çimento esaslı kompozitlerin eğilme/çekme özelliklerini de iyileştirebilir, mikro çatlaklar üzerinde köprü kurarak çatlak oluşumunu ve yayılmasını önler, enerji emilimini ve sünekliği geliştirirler [3,25]. Şekil 2.1'de çimento matrisinde donatı görevini yerine getiren lifin çatlak ucundaki yapabileceği farklı davranışlar gösterilmiştir.



1. Lif kopması
2. Lif çekilmesi
3. Lif kenetlemesi
4. Lif/matris ayrılması

Şekil 2.1 : Çimento matris içindeki çatlak ucunda lif performansı [3].

Günümüzde betonda yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polimer (polipropilen, PVA), cam ve karbon esaslıdır. Liflerin betona katılması, betonun; çekme ve eğilme dayanımını, düktilitesini, enerji tüketme kapasitesini, çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir. Bundan dolayı hava alanı pistlerinde, limanlarda, çok katlı şehirlerarası otobüs terminallerinde, sulama kanalı beton kaplamalarında ve dolu savaklarda kullanılmaktadır. Lifler, kendi çekme dayanımlarına ulaşıncaya kadar beton basınç ve çekme gerilmelerinden meydana gelecek olan çok sayıdaki kılcal çatlak oluşumunu en aza indirmektedir [4].

2.1 Liflerin Genel Özellikleri

Lifler, geleneksel çelik donatıların daha küçük boyutlu çeşitleri olarak düşünülebilir ve benzer davranışlar gösterirler. Liflerin etkili ve kullanışlı olabilmesi için betonun fiziksel özelliklerini geliştirmesi ve dayanıklı olması gerekir. Ayrıca, lifler betonun eğilme dayanımı, yorulmaya ve darbeye karşı direnç ile çatlak direncini gibi özelliklerini geliştirir [5]. Değişik türdeki liflere ait mekanik özellikler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Değişik türdeki liflere ait mekanik ve fiziksel özellikler [3].

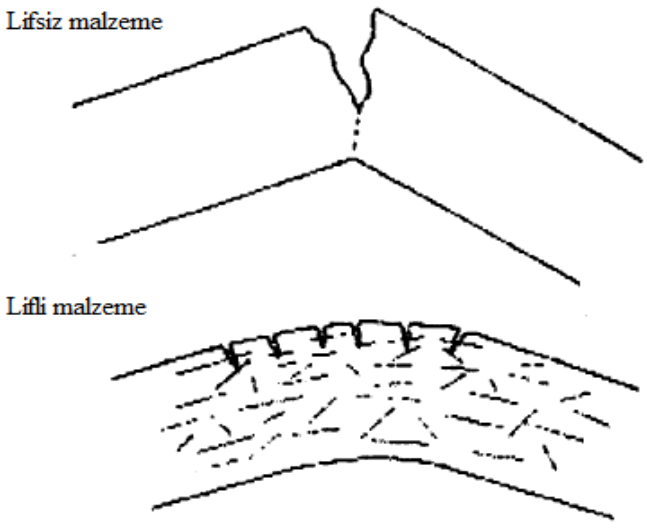
Lif cinsi	**Çekme dayanımı (MPa)**	**Elastisite modülü (10^3, MPa)**	**Maksimum uzama (%)**	**Özgül agırlık (gr/cm^3)**
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4.8	3-10	1,5
Cam	**1035-3795**	**69**	**1,5-3,5**	**2,5**
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8.3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Yüksek Performanslı Polietilien	2700	120	5	0,97
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,90
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral Yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-35	7,8
PVA	**880-1600**	**25-40**	**6-10**	**1,30**

2.1.1 Liflerin takviye elemanı olarak kullanılması

Betonda pek çok farklı tipte yapay ve doğal lifler kullanılmıştır. Tarihsel bağlamda betonda doğal lifler, geleneksel çelik takviyeli betonlardan daha önce kullanılmıştır. 1940'lı yıllarda betonda lif takviyesi kullanılmasından bu yana, her bir ürünün avantajlarını ve gerçek özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli lifli malzemeler

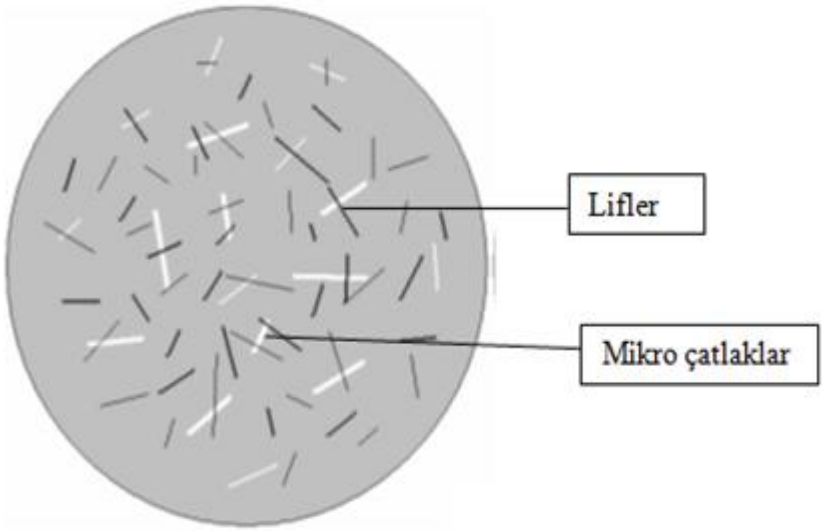
üzerinde çok sayıda test yapılmıştır. Pek çok farklı lif tipi çimento esaslı matrislerde takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Lif çeşitlerinin seçimi polipropilen veya karbon gibi organik sentetik, çelik veya cam gibi inorganik sentetik, selüloz ve sisal gibi doğal organik ve asbest gibi doğal inorganik lifler arasında yapılmıştır. Asbest'in kullanımı kanserojen olduğu için yasaklanmıştır. Günümüzde polipropilen, PVA, polyester, cam ve çelik lifler ticari ürün olarak kullanılan liflerdir. Çapı, özgül ağırlığı, elastisite modülü, çekme dayanımı gibi özelliklerinin yanı sıra kullanılacak lif miktarı lif tipinin seçiminde etkili olur [6].

Günümüzde yapılarda lif takviyeli beton kullanımı yaygınlaşmaktadır. Çünkü betonda lif takviyesi, tokluğu, eğilme dayanımı, çekme dayanımı ve darbe dayanımı gibi betonun tek başına yetersiz kaldığı özelliklerini geliştirebilir. Ayrıca, bilindiği üzere lif takviyesi, betonun basınç dayanımını çok az etkiler veya hiç etkilemez. Bununla birlikte, lif takviyeli betonlar tokluğu ve lif-matris ara yüzündeki bağ kuvvetlerinden dolayı en büyük şekil değiştirmeyi büyük oranda arttırır [7]. Yalın beton, nihai eğilme dayanımı aşıldığında bir defada aniden kırılır, diğer yandan lif takviyeli betonlar takviyesiz betonun taşıyabileceğinden fazla yük taşıyabildikleri ve çok yüksek şekil değiştirmeye izin verdikleri için önemli ölçüde sehim yapabilirler. Lif takviyeli betonların deneyi yapılmış numuneleri gösteriyor ki; kırılma, lif sıyrılması veya kopmasından dolayı olur. Böylece düz betonun aksine kırılma, ilk çatlak başlangıcından hemen sonra olmaz [15]. Lifli malzeme ve lifsiz malzemelerdeki çatlak görünüşü Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Lifli malzeme- Lifsiz malzeme çatlak görünüşü [15].

Donatısız betonun kırılma mekanizması ilk çatlağın oluşmasıyla tamamlanmaktadır. Kısa ve rastgele dağıtılmış liflerle donatılandırılmış betonda ise kırılma mekanizması bir çok paralel çatlağın oluşması ile tamamlanır. Beton içinde, gerek priz anında oluşan mikro çatlaklar gerekse içsel gerilmelerden oluşan çatlaklar, eleman çalışmaya ve yük almaya başladıktan sonra büyümeye başlayacaktır. Çatlak, beton içinde ilerlerken liflerle karşılaştığında, çatlağın ilerlemesini sağlayan enerji liflere aktarılacak ve lifler tarafından karşılanmaya başlayacak, lif bu enerjiyi karşılayamadığı anda ya kopacak ya da betondan sıyrılacaktır. Lif koptuktan ya da sıyrıldıktan sonra, enerjisi tekrar betona aktarılacak, çatlak bir sonraki lifle karşılaşıncaya kadar ilerlemeye devam edecektir. Bu işlem yük arttıkça tekrarlanacak ve elemanda paralel çatlaklar oluşacaktır. Nihai kırılma gerçekleşinceye kadar oluşan paralel çatlaklar elemanın sünekleştiğinin göstergesidir. Normal beton ile lifli betonların yük deplasman eğrisine bakıldığında, ilk çatlak oluştuktan sonra normal betonun derhal kırıldığı, ancak lifli betonun yük almaya devam ettiği, hatta eğilme dayanımının arttığı görülecektir [19]. Çimento esaslı matris içerisindeki mikro çatlaklar ve lifler Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



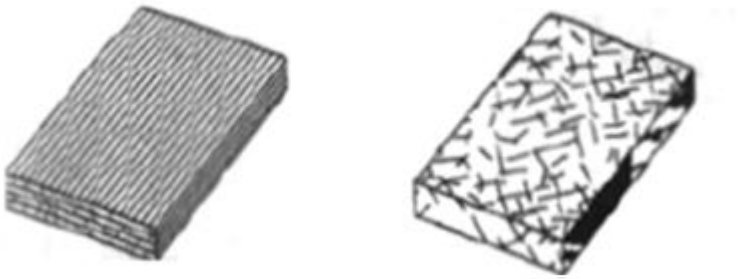
Şekil 2.3 : Çimento esaslı matris içindeki mikro çatlaklar ve lifler [8].

2.1.2 Lif çeşitleri

Lif takviyeli kompozit malzemelerde bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdırlar ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Kompozit malzemelerin son özellikleri, bileşen malzemelerin özelliklerinden daha iyidir. Lif takviyeli kompozit türleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

Kompozit malzemeler takviye elemanının şekline göre;

1. Süreksiz lif takviyeli kompozitler
2. Sürekli lif takviyeli kompozitler olarak iki gruba ayrılabilir.



Sürekli lif takviyeli kompozitler Süreksiz lif takviyeli kompozitler

Şekil 2.4 : Lif takviyeli kompozit türleri [17].

2.1.2.1 Süreksiz lifler

Genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılgan malzemenin zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi, kırılganlığın giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla bu özellikleri iyileştirecek nitelikte elyaflardır [9].

Elyaflar demet haline getirildiklerinde her zaman yapımlarında kullanılan ana malzemenin yığın haline göre daha dayanıklıdırlar. Elyaf demeti üzerine dışarıdan bir etki yapıldığında, demette bulunan elyaflardan bazıları kopabilir veya yüzeylerinde çatlama, çizilme vb. kusurlar oluşabilir. Demetin dış kuvvetler karşısında aldığı bu tür zararlar, yalnız etkilenen elyaflarla sınırlı kalır ve demet içerisindeki diğer elyaflara aktarılmaz [9].

2.1.2.2 Sürekli lifler

Bu lifler sonsuz uzunlukta olup ipek gibi bir görünüşe sahiptir. Farklı incelik derecelerinde üretilir. Bu lifler iplikten daha incedir. Belli miktarda birçok filament bükülerek veya bükülmeden çok filamentli tek iplik yapılır. Bu iplikler düzgün görünüşlüdür. Kimyasal işleme tabi tutulmadıkça parlaktır [9].

Endüstride en yaygın olarak kullanılan kısa lifler olan cam ve PVA lif içeren betonların özellikleri ilerleyen paragraflarda açıklanmıştır.

2.1.3 Cam lif takviyeli betonların genel özellikleri

Camdan iplik ve çeşitli mamullerin yapımı çok eski tarihlere kadar uzanmaktadır. 1734 yılında Rene Ferchault de Reaumur tarafından cam lifi üretilmiş ise de fabrikasyon olarak üretimi 19. yüzyılda gerçekleşmiştir. Bunun nedeni ise Reamur'un, elde ettiği bu ipek gibi ince cam liflerini dokumakta zorluk çekmesidir. 1935 yılında Owens-İllinois Glass Co., Newark/Ohio, firması tarafından iplik haline getirilebilecek ve dokunabilecek incelikte cam lifleri üretilmiştir [14].

Cam lifler; sertlik, korozyona dayanıklılık ve diğer malzemelerle fazla tepkimeye girmeme gibi tipik cam özeliklerini sergiler. Ayrıca, esnek, hafif ve pahalı olmayan bir malzemedir. Bu özelikler, cam liflerini düşük maliyetli endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen lif tipi yapmaktadır [16]. Cam lifler, yüksek sıcaklık dayanımına ve stabilitesine, saydamlık ve teknik amaçlara uygunluk özelliklerine sahiptir. Bu nedenle bugün dünyada üretilen cam liflerin büyük kısmı teknik amaçla ve özellikle de izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak endüstriyel olarak kullanılan cam lifleri farklı bileşen oranlarına sahip olabilmektedirler[14]. Kullanılan tekstil cam liflerin bileşenleri Çizelge 2.2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Tekstil cam liflerin yüzde karışım oranları [14].

Cam Tipi	A Tipi	C Tipi	D Tipi	E Tipi	Advantex	ECRGlass	AR Tipi	R Tipi	S-2 Tipi
Oksit	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO2	63-72	64-68	72-75	52-56	59-62	54-62	55-75	56-60	64-66
Al2O3	0-6	3-5	0-1	12-16	12-15	9-15	0-5	23-26	24-26
B2O3	0-6	4-6	21-24	5-10	<0,2		0-8	0-0,3	<0,05
CaO	6-10	11-15	0-1	16-25	20-24	17-25	1-10	8-15	0-0,2
MgO	0-4	2-4		0-5	1-4	0-4		4-7	9,5-10,3
ZnO						2-5			
BaO		0-1						0-0,1	
Li2O							0-1,5		
Na2O+K2O	14-16	7-10	0-4	0-2		0-2	11-21	0-1	<0,3
TiO2	0-0,6			0-0,8		0-4	0-12	0-0,25	
ZrO2							1-18		
Fe2O3	0-0,5	0,8	0-0,3	0-0,4		0-0,8	0-5	0-0,5	0-0,1
F2	0-0,4			0-1				0-0,1	

Cam lifi çeşitleri:

A-Tipi cam lifi: Bor ilaveli veya ilavesiz alkali-kireç camlarıdır. Özel tiplerinde % 0,8'den daha fazla olacak şekilde alkali oksit bileşikleri içermektedirler. E- Tipi cam lifindeki gibi dayanım, stabilite ve iyi elektriksel dayanımın gerekli olmadığı durumlarda soda kireç silikat camlarının kullanımıyla üretilmektedir.

C- Tipi cam lifi: Korozif asidik koşullara karşı kimyasal stabilite sağlayan kalsiyum borosilikat camlarından oluşmaktadır. Hem asitler hem de alkaliler olmak üzere kimyasallara karşı dayanımları oldukça iyidir.

D- Tipi cam lifi: Elektriksel uygulamalar için düşük dielektrik sabitli borosilikat camlarından oluşmaktadır.

E- Tipi cam lifi: % 0,8'den daha az oranda alkali oksit bileşikleri içeren aliminyumbor silikat camlarıdır. Sentetik liflerin takviyesinde ve yüksek dayanım ve elektrik dayanımı gereken durumlarda kullanılmaktadır. Geniş bir kullanım alanı bulan E tipi camlar, esasen elektroteknik amaçlar için geliştirilmiştir. Ancak bugün sentetik maddelerin takviyesinde de kullanılmaktadır (özellikle dokuma kumaş formundaki cam takviyeli plastiklerde). Asitlere, alkalilere ve diğer kimyasal maddelere karşı dayanıklı olduklarından kimya sanayinde filtre yapımında geniş oranda kullanılmaktadırlar.

ADVANTEX Tipi cam lifi: E- Tipi cam lifi maliyetinde, ECRGLAS türünün sahip olduğu avantajların çoğunu sağlayan kalsiyum aliminosilikat camından oluşmaktadır.

ECRGLASS Tipi cam lifi: Dayanım, elektriksel dayanım ve asidik korozyon dayanımı için tasarlanmış max. %2 alkali içeren kalsiyum aliminosilikat camlarından oluşmaktadır.

AR-GLASS Tipi cam lifi: Alkali zirkonyum silikatların alkali dayanımlı camların karışımı kullanılmaktadır.

R Tipi cam lifi: Asidik korozyon dayanımı ve mukavemet istendiği durumlarda kalsiyum aliminosilikat camlarının kullanılmasıyla oluşan türdür.

S-2 Tipi cam lifi: S-2 tipi yüksek dayanımlı cam lifleri alüminyum silikatların yüksek sıcaklıktaki karışımlarından oluşan, incelikleri 5-27 μm arasında değişen liflerdir. Silikat cam liflerinin birçoğu tekstil ve kompozit endüstrisi için üretilmektedir.

Ayrıca bu tiplerin dışında M tipi ve Z tipi cam lifleri de bulunmaktadır;

M-tipi Cam lifleri: Elastisite modülleri yüksek berilyum içeren camlardır.

Z-tipi Cam lifleri: Betonların takviyesinde kullanılan, çimento ile birlikte kullanılabilen cam lifleridir [14].

Cam lifi donatılı kompozitlerde lifler, malzemenin kırılma sırasında gevrek davranış göstermesini engellemektedir. Cam lifi içermeyen numuneler gevrek bir şekilde kırılırken, cam lifi içeren numuneler yüksek miktarda enerji yutarak, kontrollü ve uzun sürede kırılmaktadır. Bu özellik ile çimento esaslı malzemelerde karşılaşılan ve en önemli sorun olan gevrek davranış ortadan kalkar. Malzeme içerisindeki cam lifi miktarı arttıkça kırılma enerjisi, eğilme dayanımı ve karakteristik boy büyük oranda artmaktadır [3,26].

Alkali dirençli cam lifler (ARG), çimentolu matrisleri güçlendirmek için kullanılır. Yuwaraj M. Ghugal ve Santosh B. Deshmukh, cam lifle özellikleri değiştirilmiş yapısal beton üzerinde deneysel araştırmalar yapmıştır. Bu araştırmalarda alkali dirençli cam lifler kullanılmıştır. Araştırmada cam lif takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve çekme dayanımı incelenmiştir. Lif takviyeli betonun işlenebilirliği normal betona kıyasla, lif içeriğindeki artış ile azalma göstermiştir. Basınç dayanımı, lif içeriğindeki artış ile doğru orantılı olarak artmıştır. Dayanımdaki artış direk olarak lif miktarındaki artış ile doğru orantılıdır. Bunun sonucunda sehim miktarı da artmıştır. Bu bize eğilme dayanımının artışıyla GFRC (cam lif takviyeli beton)'in sünekliğindeki artışı gösterir. Araştırmalarda, betonun çekme dayanımı da lif içeriğinin artışıyla artış göstermektedir [18].

2.1.4 PVA lif takviyeli betonların genel özellikleri

PVA lif 50 yıl önce Japonya'nın ilk organik lifi olarak üretildi ve bu zamandan itibaren çeşitli uygulamalarda kullanıldı. Özellikle 1980'li yıllardan itibaren çimento esaslı kompozitlerin donatılandırılmasında kullanılmıştır.

PVA lifler diğer organik liflere kıyasla yüksek dayanıklılık ve elastisite modülü değerine sahiptir. PVA lifler yüksek eğilme dayanımları ve elastisite modüleri ile çatlak ilerlemesine karşı çok iyi performans gösterirler. PVA lifler yüksek derecede

lif-matris aderansı gösterirler ve üretim aşamasında lif yüzeyinde lif-matris aderansını geliştirecek iyileştirmeler yapılması mümkündür [23].

Polivinil alkol (PVA) lif donatılı betonlarla ilgili yayınlar oldukça kısıtlı olmakla birlikte, bu betonlarla ilgili olarak yürütülen çalışmalar neticesinde, bu betonların eğilmede çekme dayanımlarının yalın betonlara kıyasla oldukça yüksek olduğu, enerji yutma kapasitelerinin yüksekliği nedeniyle oldukça sünek bir davranış sergiledikleri gözlemlenmiştir. Polivinil alkol lif donatılı betonların bu üstün özelikleri, polivinil alkol liflerin beton matrisi ile oluşturduğu aderansın kendine has özeliğinden ve bu liflerin elastisite modülü ve çekme dayanımı gibi değerlerinin oldukça yüksek olmasından ileri gelmektedir [20]. Şekil 2.5'de PVA lifli çimento esaslı kompozitte eksenel çekme altında meydana gelen çoklu mikro çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 2.5: PVA lifli çimento esaslı kompozitte eksenel çekme altında mikro çatlak oluşumu [21].

Birçok çeşitli lifler (çelik, cam, sentetik, asbest vs), beton ve çimento harçlarına katılarak güçlendirme için kullanılmaktadır. Sentetik lifler son yıllarda daha çok ön plana çıkmış ve çimento materyallerini güçlendirmek için yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Ucuz oldukları ve gereken güçlendirmeyi sağladıkları için, diğer alternatifleri (çelik, cam, asbest) yanında daha çok tercih edilmektedirler. Metalik olmayan lifler, polietilen (PE), polipropilen (PP), akrilik (PAN), polivinil

alkol (PVA), polymid (PA), aramid, polyester (PES) ve karbondan oluşmaktadır. Lif destekli kompozitler günümüzde baraj tamirleri, köprü destek kaplamaları, yüksek binaların bağlantı profillerinde ve diğer yapısal eleman ve sistemlerde başarılı olarak kullanılmaktadırlar [9].

Diğer düşük maliyetli lifler, örneğin plastik, düşük yoğunluklu polietilen ve polipropilen lifler daha az esneme kapasitesine sahip oldukları ve yeterli gerilime dayanamadıkları için PVA liflere göre daha az elverişlidirler. Hidrofillik yapısından dolayı PVA, çimento ile lifler arasında güçlü bir kimyasal bağ kurma kapasitesine sahiptir PVA lifler ara yüzlerindeki materyalin yapısı modifiye edilebildiğinden endüstriyel uygulama için büyük bir potansiyel taşımaktadırlar. PVA donatılı çimento esaslı kompozitler ön karışım ve bu karışımların kalıba dökülmesi ile üretildiğinden beton içinde rastgele yerleşirler [9].

Son 10 yıl içersinde, polivinil alkol'den üretilen lifler lif takviyeli betonların üretiminde kullanılmaya başlamış ve bu bileşenlerle üretilen ürünler yüksek dayanıklılık göstermiş ve "geliştirilmiş çimentolu bileşikler" olarak adlandırılmışlardır. En yüksek denemesi 2 ile %6 arasında olarak elde edilmiş bu da lifle desteklenmiş betonların normal betondan 200 ile 600 kat daha fazla sağlam olduğunu göstermiştir. Bu tip yeni materyaller, çatlaklardaki ve kırıklardaki gerilimi yaymak için oldukça etkilidirler [9].

PVA lif'ler çimentolu bileşenleri desteklemek için uygun karakteristiğe sahiptirler. Yüksek esneme kapasitesi, dayanıklılık, yüksek güç, gücün dağıtılması, beton kalıplarındaki kullanım şekilleri PVA liflerin en çok istenilen özellikleridir. PVA lifler, diğer organik liflerle güç kapasitesi açısından kıyaslanıldığında, çimento güçlendirilmesi için, çok daha fazla ve geniş bir kullanım alanına sahiptirler [9].

PVA lifler, naylon ve polipropilen gibi diğer polimerik liflerle karşılaştırıldığında, daha yüksek çekme dayanımına ve elastisite modülü değerine sahiptir. PVA lifler yüksek düzeyde lif-matris aderans kuvveti sergilemekle birlikte, üretim aşamasında bu liflerin yüzeylerinde yapılabilecek deformasyonlar ile lif-matris aderansının daha da güçlü kılınması da mümkündür. 20 yılı aşkın bir süredir uygulamada tecrübe edilen bu lifler, yüksek durabilite özelikleri ve diğer yapay liflere oranla makul maliyetleri ile iyi bir alternatif teşkil etmektedir [9]. Şekil 2.6'da PVA kısa lif ve yönlendirilmiş PVA keçe gösterilmektedir.



(a) **(b)**

Şekil 2.6: (a) PVA kısa lif (b) Yönlendirilmiş PVA keçe.

2.1.4.1 PVA lif üretim aşaması

PVA (polivinli alkol), lifglas, kalsiyum karbit çözeltesinin bir materyali olan vinil asetat kullanılarak üretilmektedir. Materyallerin ayrılmasında, başlatıcı olarak methanol gibi çözücüler kullanılmaktadır. Hermann ve Haehnel, 1924 yılında polivinli alkolü, polivinli asetat'ı potasyum hidroksitle hidrolize ederek keşfetmişlerdir. İlerleyen zamanlarda bu materyal ticari olarak üretilmeye başlamış ve bu süreç sürekli olarak devam etmiştir. PVA genel olarak iki sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Kısmi veya tamamen hidrolize edilerek iki çeşit PVA üretilir. Üretilen PVA'ların fiziksel karakterleri ve özel fonksiyonele kullanımları, PVA'ların polimerleşme ve hidrolize olma derecelerine göre değişiklik gösterir [9].

Fiziksel özellikleri; tatsız, beyaz veya sarıya yakın renklerde toz şeklindedir. Genellikle karbon lif şeklinde üretilmektedirler. Üretilen lif malzemeler çok dayanıklı oldukları için, birçok üretici firma çeşitli lif PVA'lar üretmektedirler. Polivinli alkol çeşitleri olan bu ürünler; yüksek gerilime, yağ ve kimyasallara karşı çok dayanıklı olmakla birlikte aynı zamanda yüksek oksijen tutma kapasitesine sahiptirler [20].

2.1.4.2 PVA lif kullanımı ve uygulama alanları

PVA lifleri genel olarak inşaat ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Uygulama alanlarında polivinil alkol yüksek gerilime dayanıklı olması ve yeterli esnekliği sağlaması sebebiyle birçok uygulamanın temelinde, esas bileşen olarak kullanılmaktadırlar. Büyük yapıların ince mimari elemanlarında yüksek performans sağlamak içi kullanılan PVA'ların aynı zamanda döşemeler ve beton plakalarda da kullanıldığı uygulamalar görmek mümkündür. Aynı zamanda PVA lif'ler çok çeşitli

beton çatlaklarını azaltmak ve engellemek içinde kullanılmaktadır. Betonu güçlendirerek olası çatlakları engellemesinde büyük önem taşımaktadır [9].

2.1.5 Lif -matris ilişkisi

Çimento esaslı kompozitin mekanik performans kontrolünde lif-matris ara yüzünde oluşan bağ önemli bir rol oynar [10]. Lifler çimento matrisine mekanik tutunmalarını sağlayan özel geometriye (kıvrımlı, bükülmüş, fibrillenmiş ya da gözenekli) sahiptir. Gözenekli yapılarda mekanik tutunma, çimento matris'in söz konusu gözenekler arasından geçmesi ile sağlanır [11]. Matris ve liflerin oluşturduğu kompozit malzemede lifler yükü taşırlar ve matris lifler üzerinden yükü transfer eder.

Matrislerin, oluşturdukları kompozit malzemelerde lifleri tutmak, liflerin yönünü belirlemek, lifleri birbirlerinden ayırmak, lifleri çevre şartlarından korumak ve eğer esnek bir matris ise liflerde çatlak oluştuğu sırada çatlakları durdurmak gibi görevleri vardır [12].

2.2 Tekstil Takviyeli Betonlar

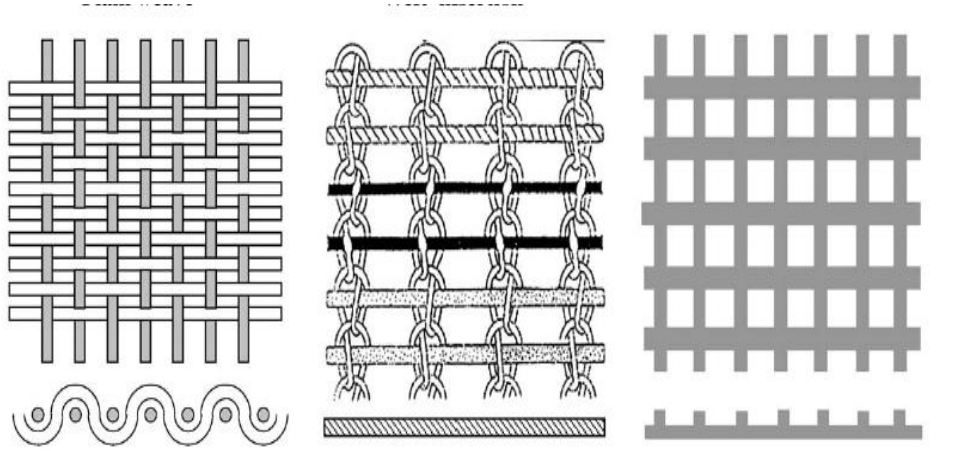
Çimentolu kompozitler için donatı türlerinden biri de tekstillerdir. Günümüzde kumaş takviyesi, kısa lifler yerine bir alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kolay üretim, iyi mekanik aderans, çimento matris ile takviye malzemesi arasındaki tutunmanın artması gibi avantajlar sağlar.

Tekstil takviyeli betonlar 10 yılı aşkın süredir yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tekstiller, yapısal güçlendirme ve yeni yapılar için ince yapı elemanları oluşturmak için imkan sağlar [13]. Tekstil takviyeli çimento esaslı kompozitler, kompozit malzemelerin önemli bir grubunu oluşturmaktadırlar. Bilindiği gibi her malzeme çeşitli olumlu ve olumsuz özelliklere bir arada sahiptir. Tasarımcı ve üretici, amaçlarına uygun malzemeyi seçerken, bilinçli ya da bilinçsiz olarak birbirine seçenek oluşturacak malzemeler arasında, nitelikleri her yönüyle değerlendirerek, içinde bulunulan koşullar altında en uygun malzemeyi seçmeyi hedeflemektedir. Kompozit malzeme üretimi mevcut temel malzemelerin olumsuz yanlarının iyileştirilmesi ve böylece kullanım alanının genişletilmesi, çok yönlü kullanımın sağlanması yönünde önemli bir adımı oluşturmaktadır [23].

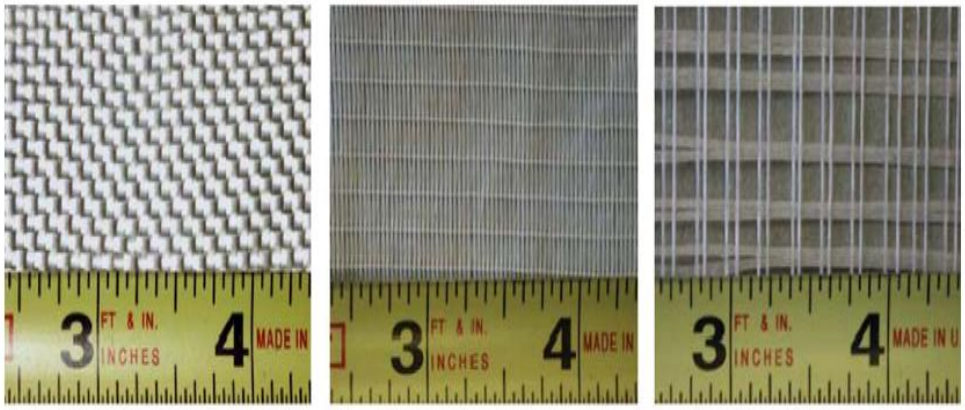
Tekstil takviyeli çimento kompozitlerdeki çimento parçacıklarının, kumaş ve kumaşı oluşturan filament demetlerinin içindeki boşluklardan yeterli miktarda geçmesi

gereklidir. Çimento matrisin kumaştaki boşluklardan ve dokunmuş kumaşlarda iplikler arasından nüfuz etmesi çimento matris ile tutunmaya sebep olur, eğilme performansını arttırır. Matris'in filamentler arasından yetersiz nüfuz etmesi filamentlerin güçlendirme potansiyelinin düşmesine neden olur. Çimento esaslı kompozitlerde ana takviye malzemesi olarak kumaşların kullanımı, cam lif takviyeli beton ve mühendislikteki çimentolu kompozitler gibi diğer farklı lif takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında üstün çekme mukavemeti ve süneklik sağlar [3,31].

Tekstil donatılı beton üretiminde kullanılan birçok kumaş türü mevcuttur. Halihazırda üretilmekte olan tüm kumaş tipleri beton içinde donatı olarak kullanılmasına imkan vermemektedir. Değişik tekstil kumaş üretimi tekniklerinden sadece birkaçı beton takviyesi için uygundur. En önemli kriter yüksek şekil değiştirme stabilitesine imkan veren yapılar oluşturmaktır [3]. Kullanılan kumaşlardan bazılarının örgü tipleri ve çeşitleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



(a) (b) (c)



(a) atkı ekli örme (b) kısa atkı örme (c) dokuma

Şekil 2.7 : Çeşitli kumaş yapıları [10].

Gevrek bir malzeme olan betona karışım sırasında tekstil takviye edilmesiyle daha sünek bir yapı oluşturularak betonun bazı mekanik özellikleri geliştirilmesini sağlar. Betonda tekstil malzemesi kullanımının başlıca yararları şu şekilde sıralanabilir;

1) Yüksek taşıma kapasitesine sahip, sünek bir beton elde edilmesi

2) Donatı korozyonunun engellendiği düzgün yüzeyli beton üretimi

3) Etkin çatlak kontrolü

4) Dayanıklılık

5) Donatı işçiliğindeki önemli azalma [23].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, numunelerin üretiminde kullanılan malzemeler, malzemelerin özellikleri, farklı matris karışımları ile ürünler üzerinde yapılan deneyler incelenmiştir.

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Çalışma sırasında çimento, Polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı, agrega, cam file kumaşı, yönlendirilmiş PVA keçe, PVA kısa lif kullanılmıştır. Malzemelerin özellikleri ayrıntılı olarak ilerleyen başlıklarda incelenmiştir.

3.1.1 Çimento

Bu çalışma için üretilen numunelerin tümünde AKÇANSA çimento tesislerinden temin edinilen CEM I 42.5R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1ve Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri [22].

Özellik	**Değer**
Özgül ağırlık (kg/m³)	3110
Özgül yüzey (cm²/g)	3280
Priz başlangıç süresi (dak.)	203
Priz sonlanma süresi (dak.)	285
Hacim sabitliği (mm)	3

Çizelge 3.2 : Çimentonun kimyasal bileşimi [22].

Bileşen	**%**
SiO_2	20,84
Al_2O_3	4,27
Fe_2O_3	3,66
CaO	63,92
MgO	1,12
SO_3	2,63
Çözünmez kalıntı	0,67
Kızdırma kaybı	0,23
Serbest kireç	0,89

3.1.2 Agrega

Çalışmalarda özgül ağırlığı 2650 kg/m^3 olan ve max. 200 μ boyutundaki kuvars kumu tek çeşit agrega olarak kullanılmıştır.

3.1.3 Kimyasal katkı

Karışım tasarımında % 1 oranında Polikarboksilat eter esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Çizelge 3.3'de süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri verilmiştir.

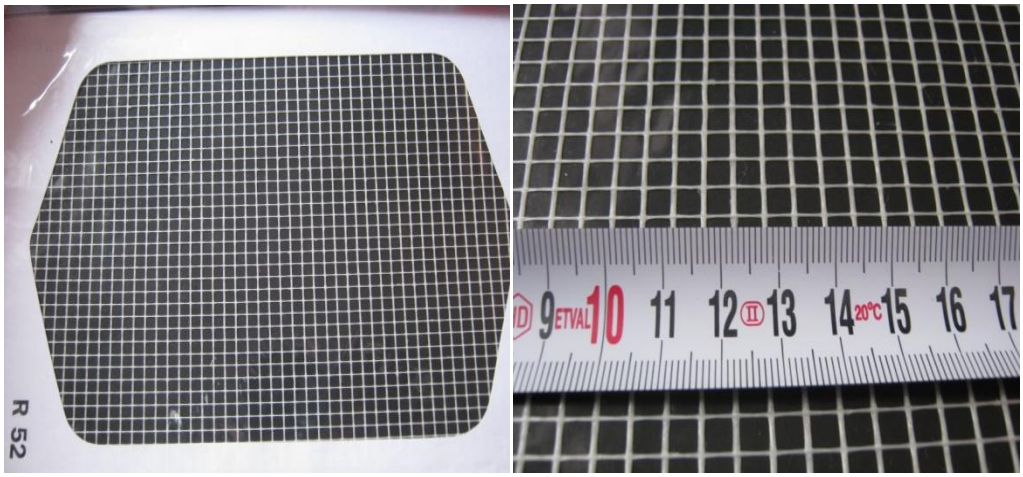
Çizelge 3.3 : Süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri [29].

Kimyasal içeriği	Polikarboksilat Eter zincirleri
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,050 - 1,080 kg/dm^3
Klor İçeriği % (EN480-10)	< 0,1
Homojenlik	Homojen
pH değeri	5-7

Süper akışkanlaştırıcı katkı, betonun uzun süreli akışkanlığını sağlama ve erken yüksek dayanım kazandırma özellikleriyle yüksek dayanım ve dayanıklılık özellikleri istenen hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş yeni nesil katkı malzemesidir. Segregasyon riski olmadan kendiliğinden yerleşen ve sıkışan beton üretiminde kullanılır. Köprüler, viyadükler, turbo jeneratörler, limanlar gibi yapıların radye temellerinde, endüstriyel zeminlerde ve hava alanlarında, betonun aşındırıcı etkilere maruz kaldığı yapılarda sık donatılı köprü kirişlerinde kullanılır [29].

3.1.4 Cam file kumaşı

Piyasadan, matrislere kolayca nüfuz edecek boşluklara sahip 3 çeşit cam file kumaş temin edilerek deneylerde kullanılmıştır. Bunlar R52 A101, R96 A101 ve R117 A101 adı altında birbirinden farklı özelliklere sahip cam file kumaş tipleridir. Cam file kumaş tipleri Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

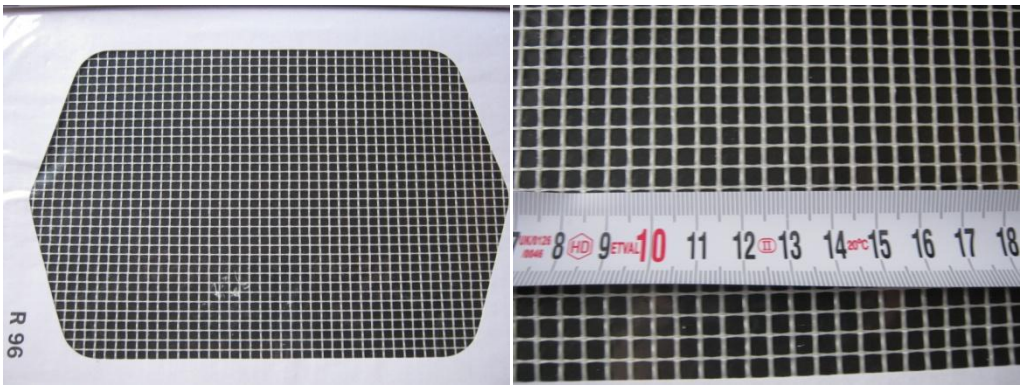


Şekil 3.1 : R52 A101 tipi cam file kumaş.

R52 A101 cam file kumaşının teknik özellikleri Çizelge 3.4'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.4 : R52 A101 cam file kumaşın teknik özellikleri [28].

Teknik özellikler			
Özellikler	Birimler	R52 A101	
		Atkı	Çözgü
Malzeme çizgisel yoğunluğu	tex	68	136
Diziliş	Her 100 mm'de	20x2	18
Dokuma		Yarı leno	
Standart genişlik	cm	100	
Silindir uzunluğu	m	50	
İşlenmiş kumaş kalınlığı	mm	0,34	
Makineden çıkmış kumaş ağırlığı	g/m^2	52	
İşlenmiş durumdaki kumaş ağırlığı	g/m^2	60	
Yanabilir madde muhtevası	kütle yüzdesi	20	
Kare ölçüsü	mm	4,8 X 5,1	

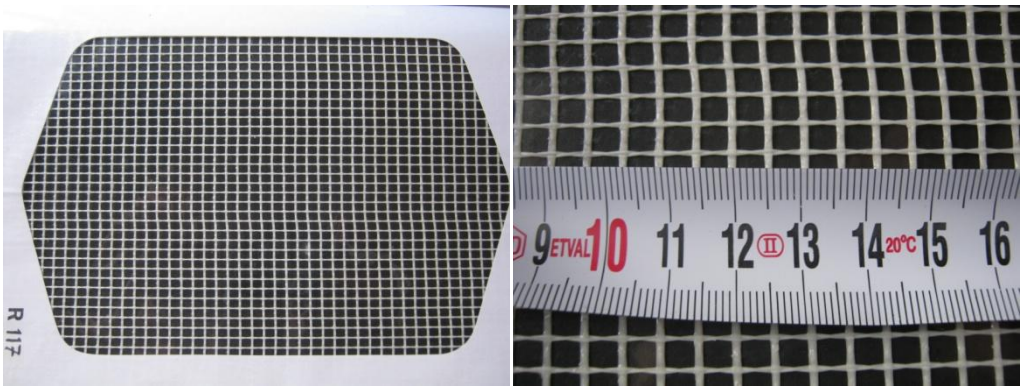


Şekil 3.2 : R96 A101 tipi cam file kumaş.

R96 A101 cam file kumaşının teknik özellikleri Çizelge 3.5'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.5 : R96 A101 cam file kumaşın teknik özellikleri [28].

Teknik özellikler			
Özellikler	Birimler	R96 A101	
		Atkı	Çözgü
Malzeme çizgisel yoğunluğu	tex	136	204
Diziliş	her 100 mm'de	21x2	20
Dokuma		Yarı leno	
Standart genişlik	cm	100	
Silindir uzunluğu	m	50	
İşlenmiş kumaş kalınlığı	mm	0,50	
Makineden çıkmış kumaş ağırlığı	g/m^2	98	
İşlenmiş durumdaki kumaş ağırlığı	g/m^2	118	
Yanabilir madde muhtevası	kütle yüzdesi	20	
Kare ölçüsü	mm	4,1 x 4,1	



Şekil 3.3 : R117 A101 tipi cam file kumaş.

R117 A101 cam file kumaşının teknik özellikleri Çizelge 3.6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.6 : R117 A101 cam file kumaşın teknik özellikleri [28].

Teknik özellikler			
Özellikler	Birimler	R117 A101	
		Atkı	Çözgü
Diziliş	her 100 mm'de	21x2	17,5
Dokuma		Yarı leno	
Standart genişlik	cm	100 veya 110	
Silindir uzunluğu	m	50	
İşlenmiş kumaş kalınlığı	mm	0,50	
Makineden çıkmış kumaş ağırlığı	g/m^2	117	
İşlenmiş durumdaki kumaş ağırlığı	g/m^2	145	
Yanabilir madde muhtevası	kütle yüzdesi	20	
Kare ölçüsü	mm	4,0 X 4,5	

3.1.5 Yönlendirilmiş PVA keçe

North Coralina State Üniversitesi, Nonwoven Textile Research Center'da bu tez için özel olarak üretilen Kuralon K-II 17dtexX64mm' lik yönlendirilmiş PVA keçe numuneler malzeme üretimlerinde kullanılmıştır. Yönlendirilmiş PVA keçe birim ağırlığı ve görünüşü Çizelge 3.7 ve Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Yönlendirilmiş PVA keçe birim ağırlığı.

Malzeme Adı	**Birim Ağırlık (g/m^2)**
Yönlendirilmiş PVA keçe	100



Şekil 3.4 : Yönlendirilmiş PVA keçe.

3.1.6 PVA kısa lif

Bu çalışmada KURARAY'dan temin edilen REC15x8 tipi PVA kısa lif kullanılmıştır. PVA lif Şekil 3.5' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : PVA lif özellikleri [23].

Malzeme adı	**Çap (mikron)**	**Uzunluk (mm)**	**Çekme Dayanımı (GPa)**	**Elastisite Modülü (GPa)**
REC15X8	40	8	1,6	42



Şekil 3.5: PVA kısa lif.

3.1.7 Mineral toz

Mineral toz kuartz esaslı katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. İnce(tozsu) agregadan oluşmaktadır [30]. Mineral toz olarak adlandırılabilen taş tozu Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Taş tozu.

3.1.8 Kür koşulları

Kürleme sırasında numunelere, 23±2 ^{0}C sıcaklıkta ve % 60±5 bağıl neme sahip olan bir odada hava kürü uygulanmıştır.

3.2 Karışım Oranları ve Numunelerin Kodlaması

Çalışmada, yönlendirilmiş PVA keçe ve yönlendirilmiş PVA keçeye eşdeğer miktarda kısa lif ile 3 farklı çeşit cam kumaş takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Yönlendirilmiş PVA keçe ve lifte hidrofilik PVA liflerin farklı matrislerden sıyrılma performansları sebebiyle, farklı kırılma enerjileri elde edebilmek amacıyla mineral tozun çimento yerine ilavesiyle elde edilen 3 farklı matris tipi kullanılmıştır.Ağırlıkça matris karışım miktarları Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Ağırlıkça matris karışım miktarları.

Matris Türü	Agrega	Çimento	Taş Tozu	Su	Akışkanlaştırıcı
C	1	1	-	0,333	0,01
C3-T1	1	0,75	0,25	0,333	0,01
C1-T1	1	0,50	0,50	0,333	0,01

Numunelerin tümünde 200 µ kuvars kumu tek tip agrega olarak kullanılmıştır. Malzemeler, kullanılan tekstil tipine ve çimento/taş tozu oranına göre adlandırılacaktır.

Yönlendirilmiş PVA keçe "PVA", PVA kısa lif "PVAL" olarak, cam file kumaşlar ise "R52", "R96" ve "R117" şeklinde kodlanacaktır. Cam file kumaşlar bütün numunelerde 4 sıra, yönlendirilmiş PVA keçe 2 sıra ve PVA kısa lif ise yönlendirilmiş PVA keçe ile karşılaştırılmak amacıyla ağırlıkça aynı miktarda ve matris içine homojen dağıtılmak şartıyla kompozit malzemeler hazırlanmıştır.

Kompozit karışımların detaylı açıklaması Çizelge 3.10, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12'de açıkça gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 : Cam file kumaş numune kodları.

Matris Türü	Donatı Türü	Donatı Sembolü	Donatı adedi	Numune Kodu
Sadece çimento hamuru içeren matris	R52 A101 Cam file kumaş	R52	4 sıra	R52-C
	R96 A101 Cam file kumaş	R96	4 sıra	R96-C
	R117 A101 Cam file kumaş	R117	4 sıra	R117-C

Çizelge 3.11 : Yönlendirilmiş PVA keçe numune kodları.

Matris Türü	Donatı Türü	Donatı Sembolü	Donatı adedi	Numune Kodu
Sadece çimento hamuru içeren matris	Yönlendirilmiş PVA keçe	PVA	2 sıra	PVA-C
%75 çimento hamuru - %25 taş tozu içeren matris	Yönlendirilmiş PVA keçe	PVA	2 sıra	PVA-C3-T1
%50 çimento hamuru - %50 taş tozu içeren matris	Yönlendirilmiş PVA keçe	PVA	2 sıra	PVA-C1-T1

Çizelge 3.12 : PVA kısa lif numune kodları.

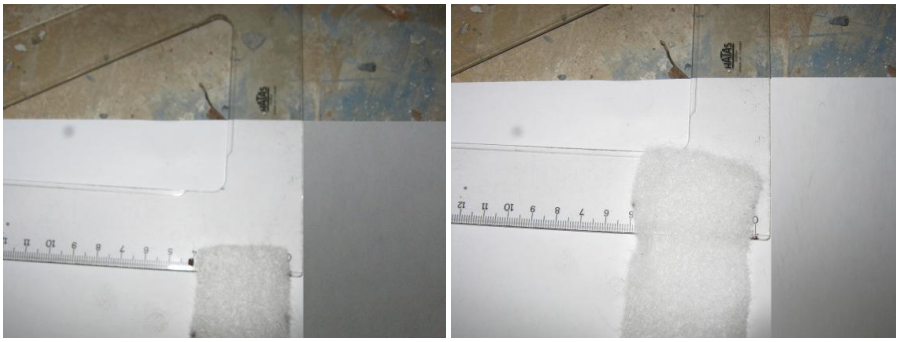
Matris Türü	Donatı Türü	Donatı Sembolü	Donatı adedi	Numune Kodu
Sadece çimento hamuru içeren matris	PVA kısa lif	PVAL	Ağırlıkça Yönlendirilmiş PVA keçe miktarı kadar	PVAL-C
%75 çimento hamuru - %25 taş tozu içeren matrris	PVA kısa lif	PVAL	Ağırlıkça Yönlendirilmiş PVA keçe miktarı kadar	PVAL-C3-T1
%50 çimento hamuru - %50 taş tozu içeren matris	PVA kısa lif	PVAL	Ağırlıkça Yönlendirilmiş PVA keçe miktarı kadar	PVAL-C1-T1

3.3 Numune Üretimi ve Kür Aşaması

Kompozit numuneler elde etmek için öncelikle donatı görevi gören kumaşların hazırlanması ile başlanmıştır. Eğilme deneyleri için 35*5 cm boyutlu kumaşlar hazırlandıktan sonra istenilen matris tipinde döküm işlemi yapılmıştır. Çekme deneyinde ise 35*4 cm boyutlu kumaşlar hazırlandıktan sonra döküm işlemi yapılmıştır.

3.3.1 Kumaş donatıların hazırlanması

Yönlendirilmiş PVA keçeler kalıp boyutlarına göre Şekil 3.7 'de gösterildiği gibi kesilmiştir.

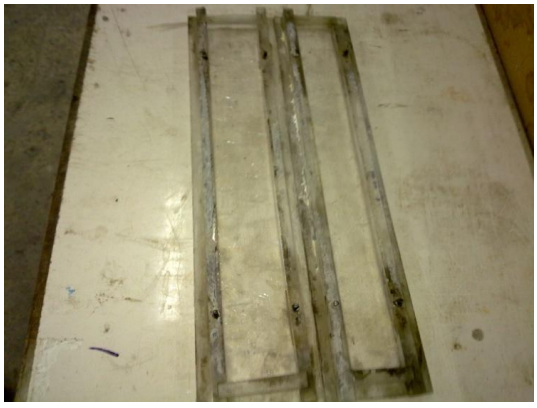


(a) **(b)**

Şekil 3.7: a) Çekme deneyi için 35*4 cm'lik yönlendirilmiş PVA keçe **b)** Eğilme deneyi için 35*5 cm'lik yönlendirilmiş PVA keçe.

3.3.2 Numune üretimi

Döküm işlemi sırasında Şekil 3.8'de görülen 35*4*1 cm ve 35*5*1 cm boyutlarında pleksiglas kalıplar kullanılmış, üretilen farklı türdeki her kumaş donatı ile her bir farklı içerikteki numune için en az 5 adet üretim yapılmıştır.



Şekil 3.8 : Pleksiglas döküm kalıbı.

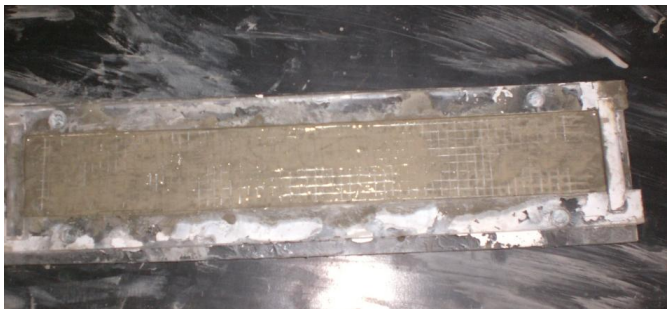
Cam file kumaşlar bir numuneye 4 sıra koyulmuştur. 1 cm kalınlığa sahip kalıpta iki kumaş arasındaki mesafe 2 mm olmaktadır. Aynı şekilde en üst ve en alttaki donatılar da 2 mm kalınlığında matris ile örtülerek dış etkilerden korunmaktadır. Yönlendirilmiş PVA keçe 1 cm kalınlığındaki kalıba 2 sıra şeklinde koyulmuştur. PVA kısa lif ise, numune üretimlerinde kullanılan yönlendirilmiş PVA keçe ile aynı miktarda kullanılmıştır.

Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozit malzemelerin üretimi, cam file kumaş aralıklarının büyük olmasından dolayı kolaydır fakat yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli malzeme üretimleri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Yönlendirilmiş PVA keçe, boşluklarının çok sık olmasından dolayı zor işlenebilen bir malzemedir ve iyi bir sonuç elde edebilmek için matrisin yönlendirilmiş PVA keçenin boşluklarına iyi nüfus etmesi gerekmektedir. PVA kısa lif için ise dikkat edilmesi gereken husus karışımda homojen dağılmasıdır, bu homojenliği sağlamak için malzemenin iyi karıştırılması gerekmektedir.

Yönlendirilmiş PVA keçe, PVA kısa lif ve cam file kumaşlı kompozit numunelerin üretim aşaması Şekil 3.9'da, kalıba dökülmüş malzemeler ise Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



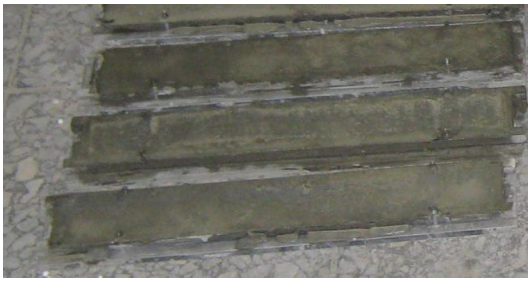
(a) **(b)**



(c)

Şekil 3.9 : Numunelerin üretim aşaması : **(a)** PVA kısa lif-matris **(b)** Yönlendirilmiş PVA keçe-matris **(c)** Cam file kumaş-matris





(a) **(b)**



(c)

Şekil 3.10 : Numunelerin kalıba dökülmüş halleri: **(a)** Cam file kumaş takviyeli (**b)** Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli **(c)** PVA kısa lif takviyeli

3.3.3 Kür aşaması

Üretilen numuneler Bölüm 3.2'de bahsedilen kurala uygun şekilde kodlanmış, ardından eğilme numuneleri 21 gün, çekme numuneleri 28 gün süresince 23±2 ^{0}C sıcaklıktaki odada bekletilmiştir. Numunelerin kür aşaması Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Sertleşmiş numuneler daha sonra deneylere tabi tutulmuştur.



Şekil 3.11 : Numunelerin kür aşaması.

3.4 Kompozit Malzeme Deneyleri

Bu kısımda, üretilen kompozit malzemeler üzerinde eğilme ve çekme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca numunelerin kırılma enerjileri de hesaplanmıştır.

3.4.1 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisi hesabı

Dört noktalı eğilme deneyi, 21 günlük numunelerde uygulanmıştır. Her kompozit malzeme türünden en az 5 numunede deney gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacı ile üç farklı matris türünde donatı bulunmayan numuneler üretilip eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney aracı olarak, maksimum kapasitesi 100 KN olan Instron 5500 R kapalı çevrimli deplasman kontrollü deney makinesi kullanılmıştır. Yükleme hızı 0,8 mm dakika/sehim'dir. Numune boyutları belirtildiği gibi 350*50*10 mm'dir. Mesnet açıklığı 300 mm, yükleme mesnetleri, kenar mesnetlerinden 10'ar cm içeridedir (Şekil 3.11). Deney, kompozit numune taşıdığı max. kuvvet değerinin % 70'ini kaybettiği zamana değin sürmüştür.

Numunelerin eğilme dayanımları (3.1) bağıntısı kullanılarak hesaplandı.

$$F_{net} = (Pl) / (bh^2) \qquad \textbf{(3.1)}$$

F_{net} = Net eğilme dayanımı (N/mm^2)

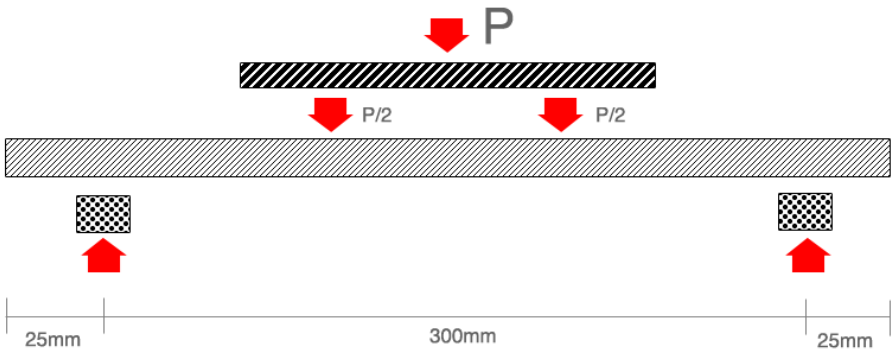
P = Kırılma Yükü (N)

l = Mesnet açıklığı (mm)

b = Kesit genişliği (mm)

h = Kesit yüksekliği (mm)

Kırılma enerjisi, eğilme deneyi sonucu elde edilen gerilme-sehim grafiğinin altında kalan alana eşittir. Böylece grafikler altındaki alan hesaplanarak üretilen kompozitlerin kırılma enerjisi elde edilir.



(a)



(b)

Şekil 3.12 : Eğilme deneyi kurulumu: **(a)** Temsili mesnetler, **(b)** Sistem düzeneği.

3.4.2 Çekme deneyi

Çekme deneyi, 28 günlük numunelerde uygulanmıştır. Her kompozit malzeme türünden en az 5 numunede deney gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacı ile üç farklı matris türünde donatı bulunmayan numuneler üretilip çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney aracı olarak, maksimum çekme kapasitesi 5000 N olan MTS deney makinesi kullanılarak çekme yükleri ve maksimum uzama miktarları elde edilmiştir. Yükleme hızı 1 mm dakika/uzama'dır. Numune boyutları belirtildiği gibi 350*40*10 mm'dir. Çekme deneyi kurulumu Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Çekme deneyi kurulumu.

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Formüldeki simgeler ise:

σ : Çekme gerilmesi (N/mm^2)

P : Çekme kuvveti (N)

A : Kesit alan (mm^2)

4. DENEY SONUÇLARI

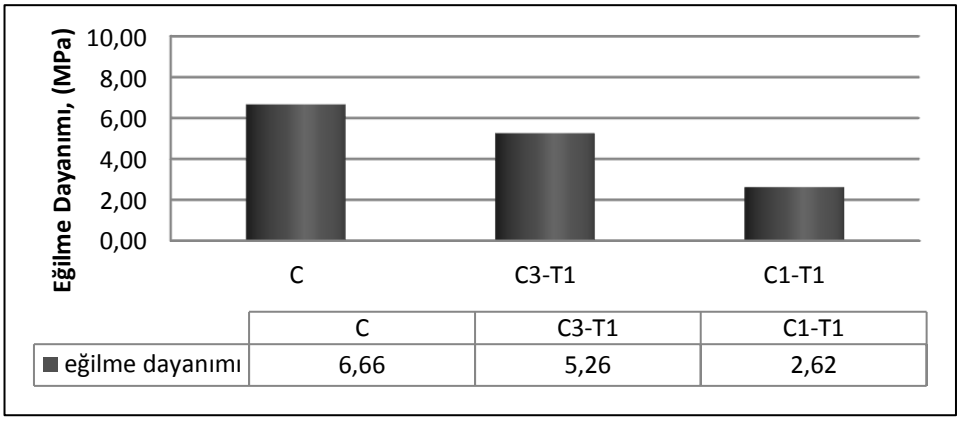
4.1 Matrisler Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları

4.1.1 Eğilme deneyi sonuçları

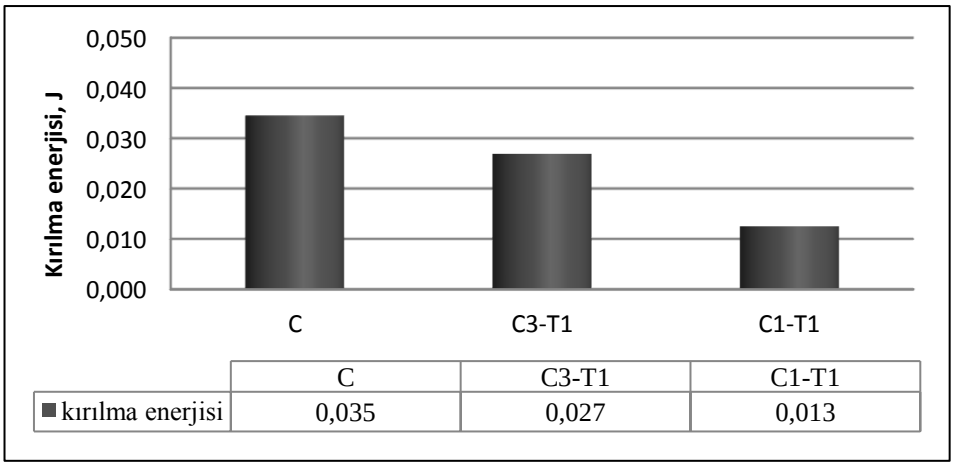
35*5*1 cm'lik kalıplara dökülen 3 farklı çeşit matris üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları Çizelge 4.1, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Matris üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları.

Matris Türü	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Enerjisi (J)
C	6,70	0,035
C3-T1	5,30	0,027
C1-T1	2,60	0,013



Şekil 4.1 : Matrislerin eğilme dayanımları.



Şekil 4.2 : Matrislerin kırılma enerjileri.

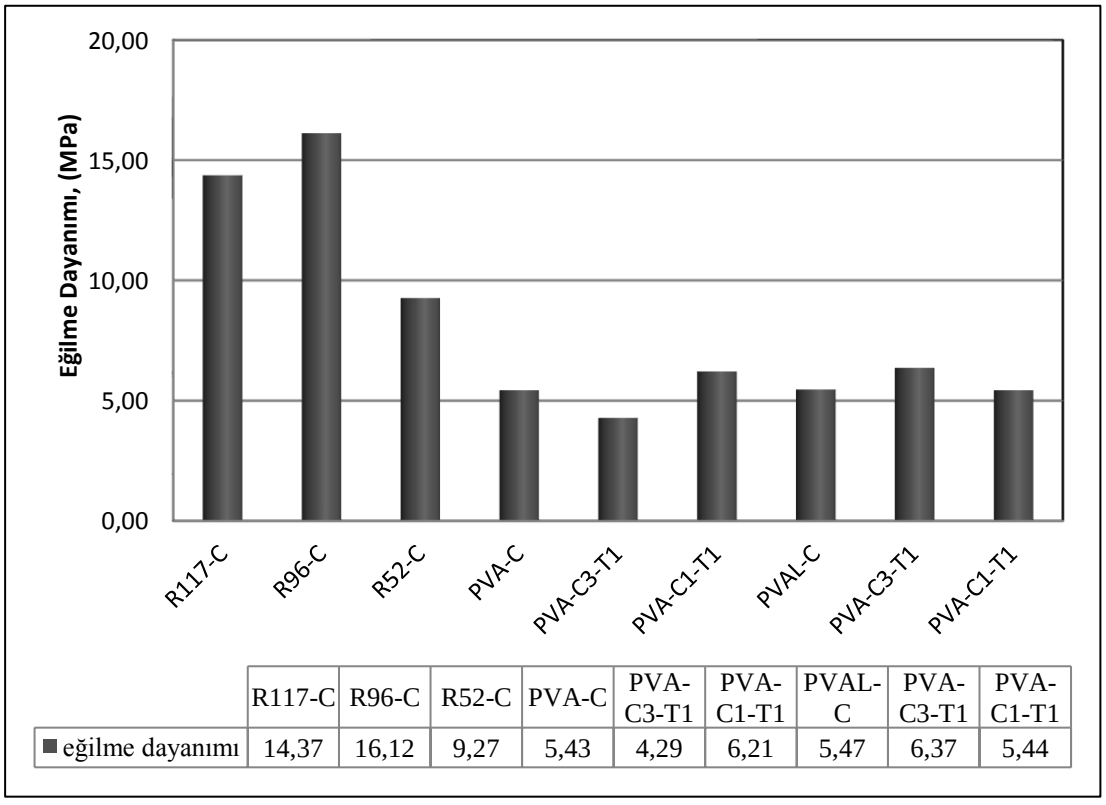
4.2 Kompozit Malzeme Deney Sonuçları

4.2.1 Eğilme deneyi sonuçları

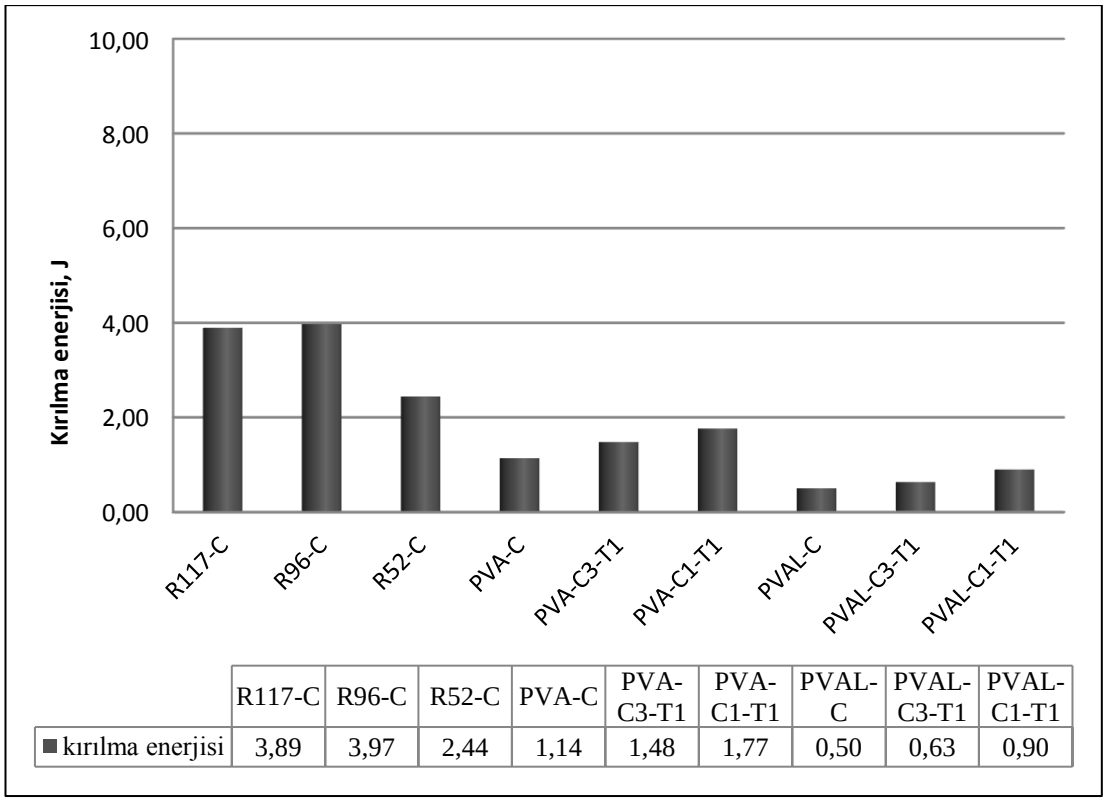
21 gün sonunda, numuneler üzerinde yapılan dört noktalı eğilme deneyi ile elde edilen eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri Çizelge 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri için verilen değerler en az 5 numune üzerinde yapılan deneyler sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır.

Çizelge 4.2 : Kompozit malzeme ve matris eğilme deneyi sonuçları.

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Enerjisi (J)
R117-C	14,40	3,90
R96-C	16,10	4,00
R52-C	9,30	2,40
PVA-C	5,40	1,10
PVA-C3-T1	4,30	1,50
PVA-C1-T1	6,20	1,80
PVAL-C	5,50	0,50
PVAL-C3-T1	6,40	0,60
PVAL-C1-T1	5,50	0,90



Şekil 4.3 : Kompozit malzemelerin eğilme dayanımları.



	R117-C	R96-C	R52-C	PVA-C	PVA-C3-T1	PVA-C1-T1	PVAL-C	PVAL-C3-T1	PVAL-C1-T1
kırılma enerjisi	3,89	3,97	2,44	1,14	1,48	1,77	0,50	0,63	0,90

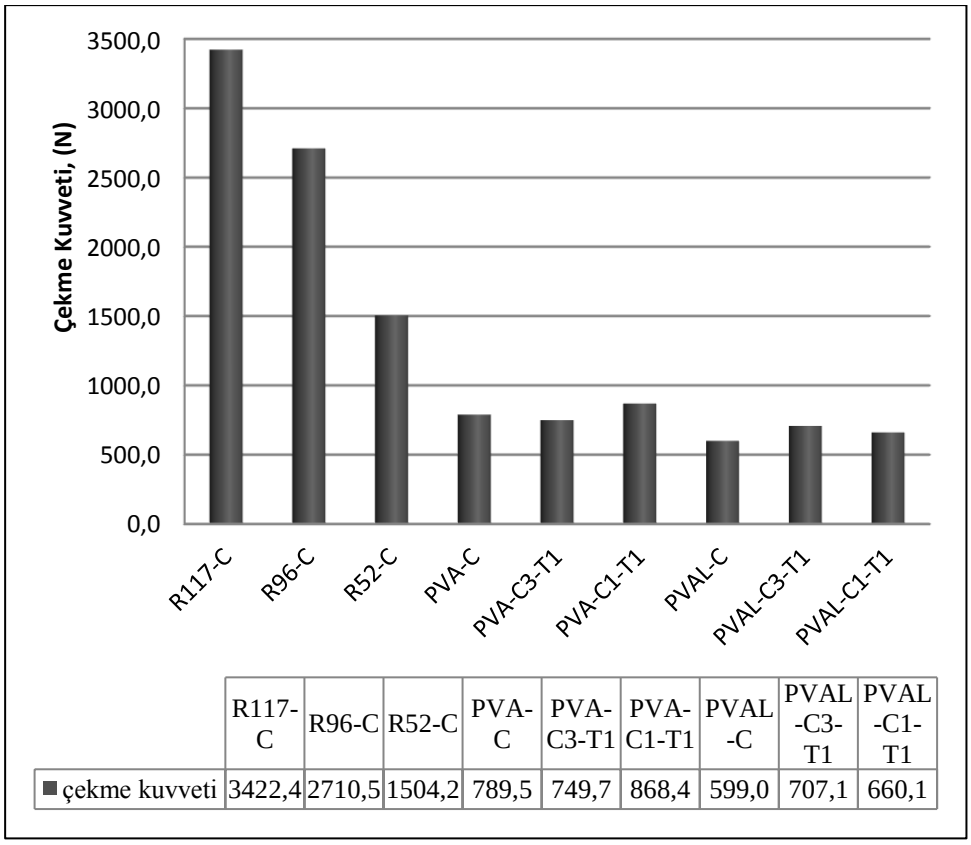
Şekil 4.4 : Kompozit malzemelerin kırılma enerjileri.

4.2.2 Çekme deneyi sonuçları

28 gün sonunda, numuneler üzerinde yapılan çekme deneyi ile elde edilen maksimum çekme kuvvetleri ve çekme dayanımları gösterilmiştir. Çekme kuvveti ve çekme dayanımı için verilen değerler, en az 5 numune üzerinde yapılan deneyler sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır. Kompozit malzemelerin çekme kuvvetleri ve çekme dayanımları Çizelge 4.3, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

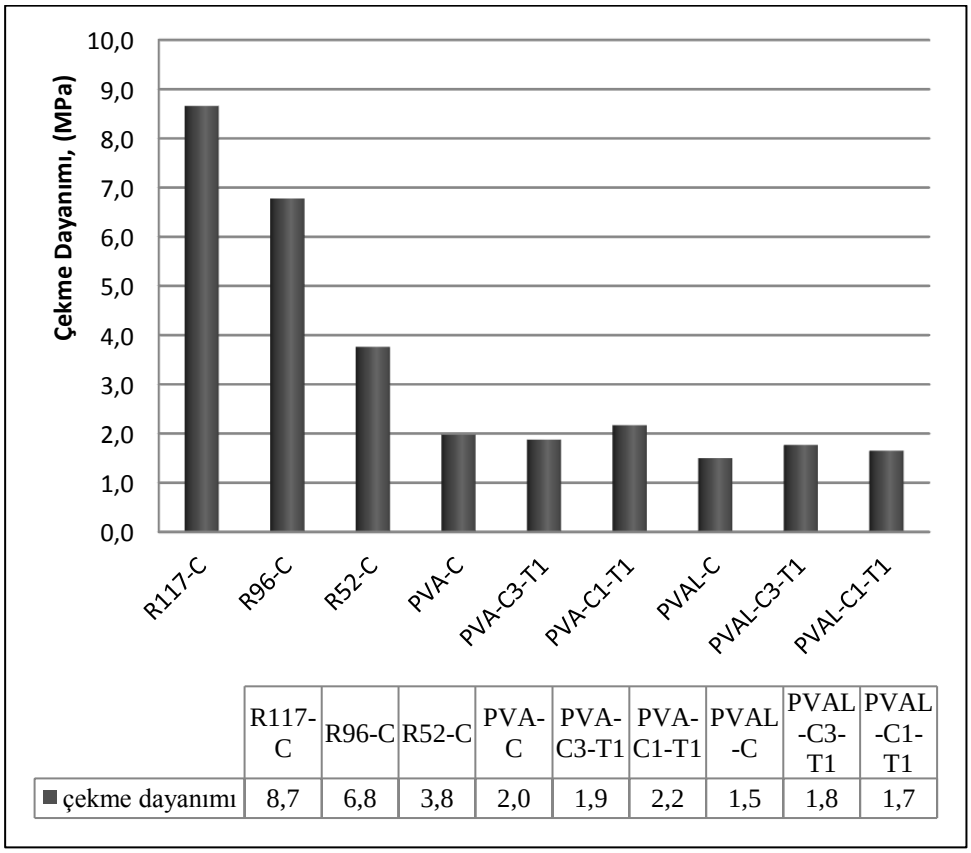
Çizelge 4.3 : Kompozit malzeme çekme kuvvetleri ve dayanımları.

Malzeme Adı	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Dayanımı (N/mm2)
R52-C	1500	3,80
R96-C	2700	6,80
R117-C	3400	8,60
PVA-C	790	2,00
PVA-C3-T1	750	1,90
PVA-C1-T1	870	2,20
PVAL-C	600	1,50
PVAL-C3-T1	700	1,80
PVAL-C1-T1	660	1,70



	R117-C	R96-C	R52-C	PVA-C	PVA-C3-T1	PVA-C1-T1	PVAL-C	PVAL-C3-T1	PVAL-C1-T1
çekme kuvveti	3422,4	2710,5	1504,2	789,5	749,7	868,4	599,0	707,1	660,1

Şekil 4.5 : Kompozit malzemelerin çekme kuvvetleri.



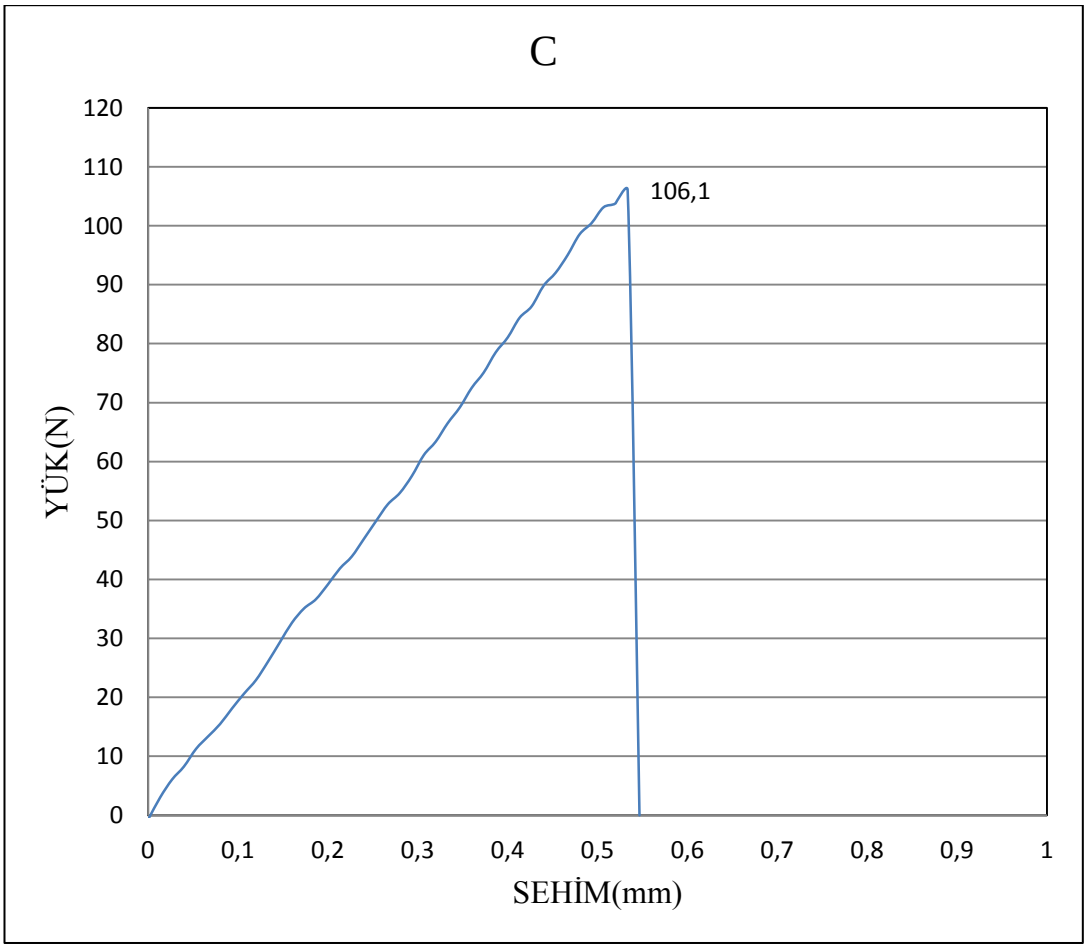
	R117-C	R96-C	R52-C	PVA-C	PVA-C3-T1	PVA-C1-T1	PVAL-C	PVAL-C3-T1	PVAL-C1-T1
çekme dayanımı	8,7	6,8	3,8	2,0	1,9	2,2	1,5	1,8	1,7

Şekil 4.6 : Kompozit malzemelerin çekme dayanımları.

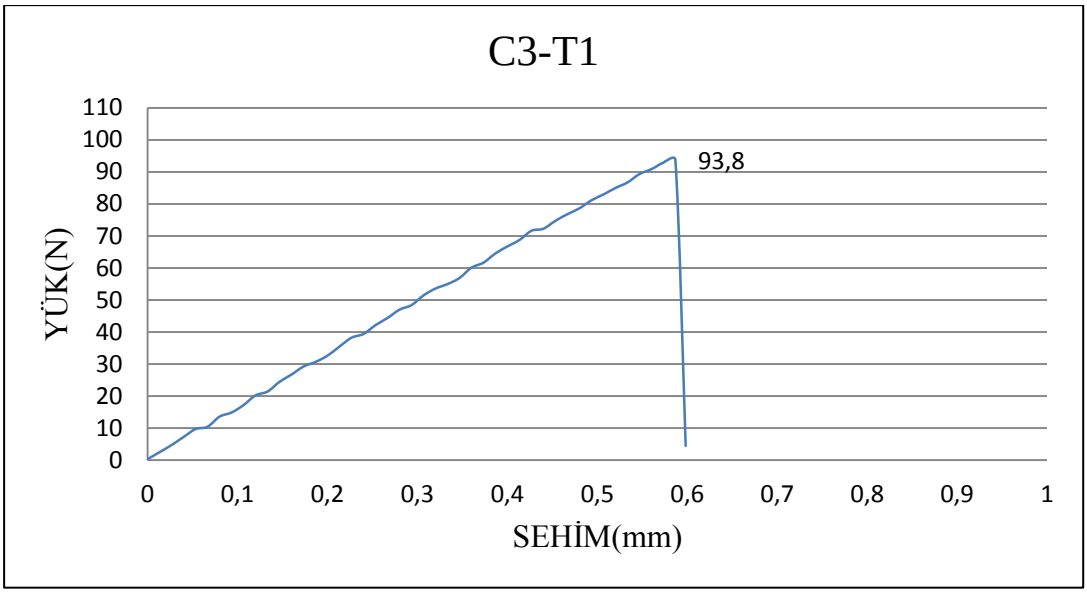
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

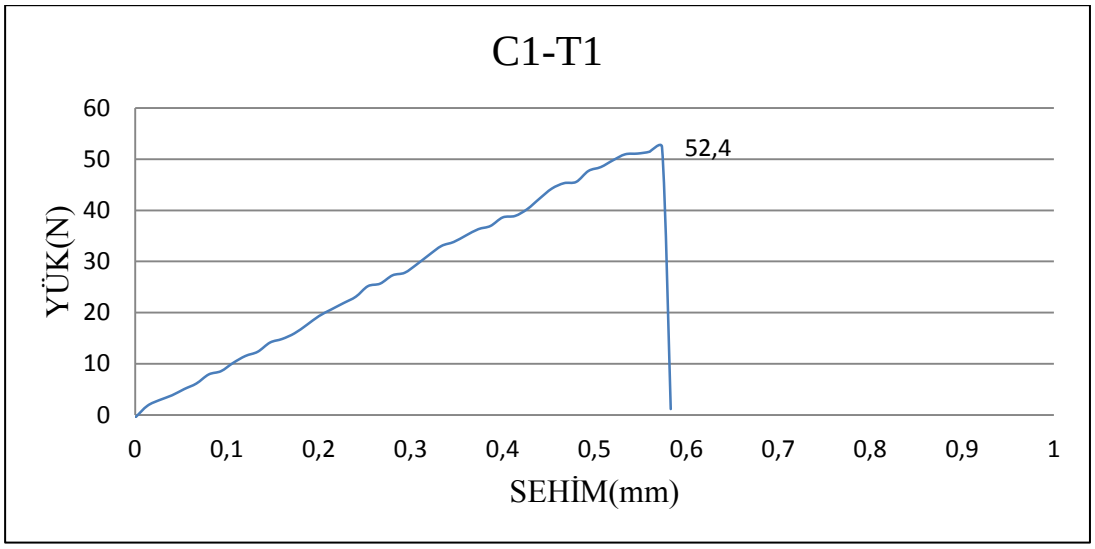
Bu çalışmada, yönlendirilmiş PVA keçe, PVA kısa lif ve cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozit malzemelerin eğilme deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır. Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lifte, hidrofilik PVA malzemenin farklı matrislere sahip kompozitlerinin performanslarının karşılaştırılması ve farklı kırılma enerjileri elde edebilmek amacıyla mineral tozun çimento yerine ikamesiyle elde edilmiş 3 farklı matris tipi kullanılmıştır. Lif ve keçe içermeyen matrisler üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 %100 çimento içeren matrisin yük-sehim grafiği.



Şekil 5.2 %75 çimento - %25 taş tozu içeren matrisin yük-sehim grafiği.

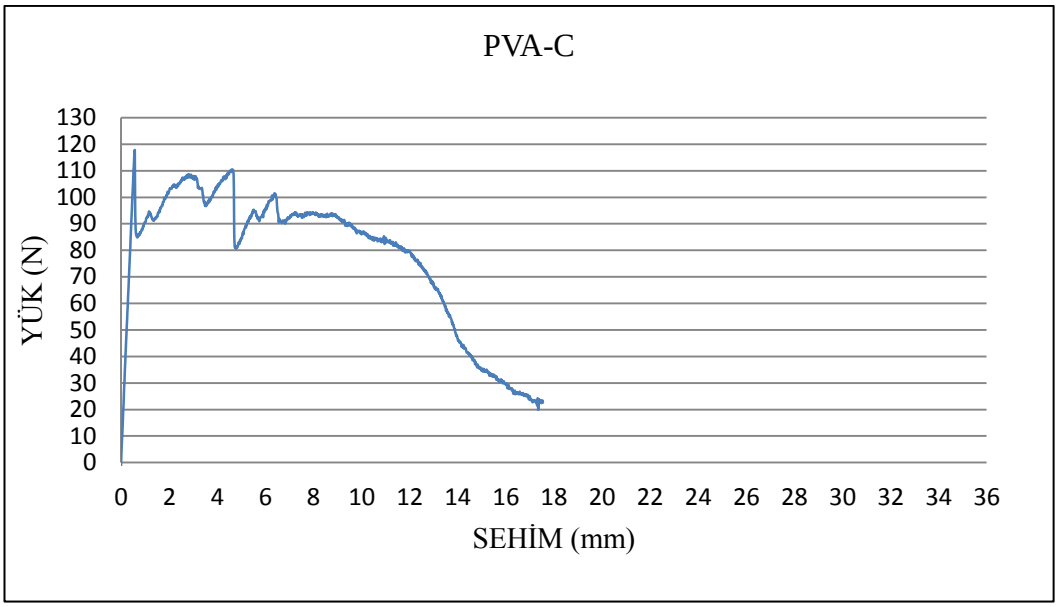


Şekil 5.3 %50 çimento - %50 taş tozu içeren matrisin yük-sehim grafiği.

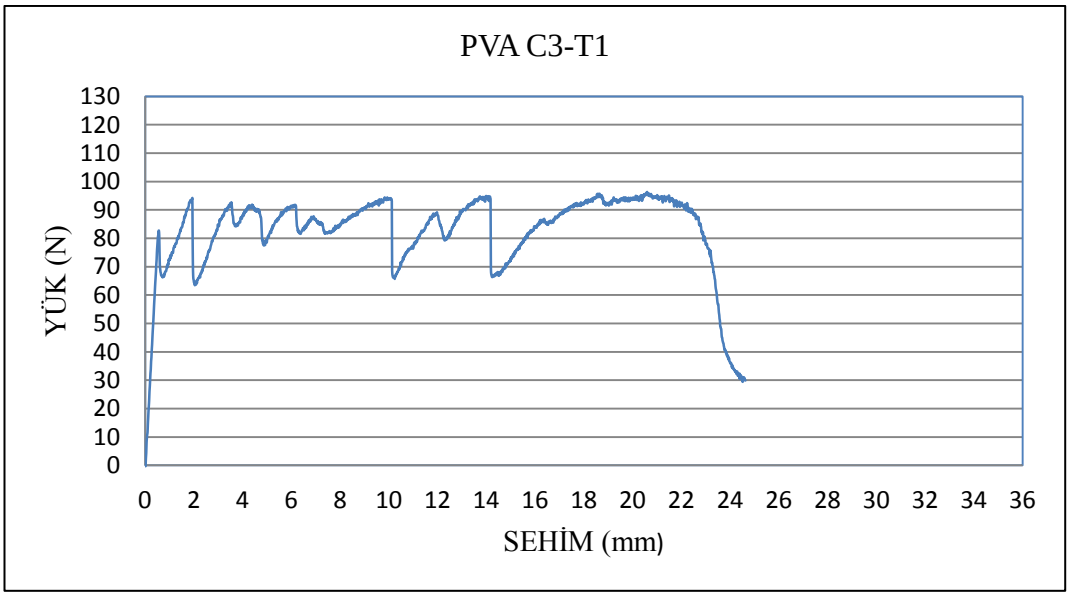
Beton, yük altında olmasa bile içinde boşluklar ve mikro çatlaklar bulunan heterojen ve yarı gevrek bir malzemedir ve düşük yükler altında lineer elastik davranış gösterir. Elastik davranış gösterdiği bölgede gerilmeler ve şekil değiştirmeler orantılı olarak artar ve yük kalktığında şekil değiştirmeler de kalkar. Yük arttırıldığında elastik sınır geçilir, betonun içindeki mikro çatlaklar ve boşluklar aktif hale gelir ve yük-sehim eğrisi lineerliğini kaybeder. Özellikle agrega-çimento hamuru ara yüzündeki boşluk ve mikro çatlaklar büyür ve betonda kalıcı şekil değiştirmeler meydana getirir. Çatlaklar ilerledikçe şekil değiştirmeler artar ve yük taşıma kapasitesi azalır. Oluşan bu çatlaklar betona tokluk kazandırır ve ani kırılmayı engeller. Bu nedenle beton yarı gevrek bir malzeme olarak kabul edilir. 3 farklı matris üzerinde yapılan eğilme

deneyleri sonucunda, çimento miktarını azaltıp, çimento yerine taş tozu ikame ederek oluşturduğumuz matrisin daha az yük aldığı ve böylece eğilme dayanımlarının daha düşük olduğunu sonucu elde edildi. Sonrasında, yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lifin farklı matrislere sahip kompozitlerin performanslarının karşılaştırılması amacıyla bu 3 farklı matrisle oluşturulan kompozitlerin kırılma enerjileri ve eğilme dayanımları incelendi.

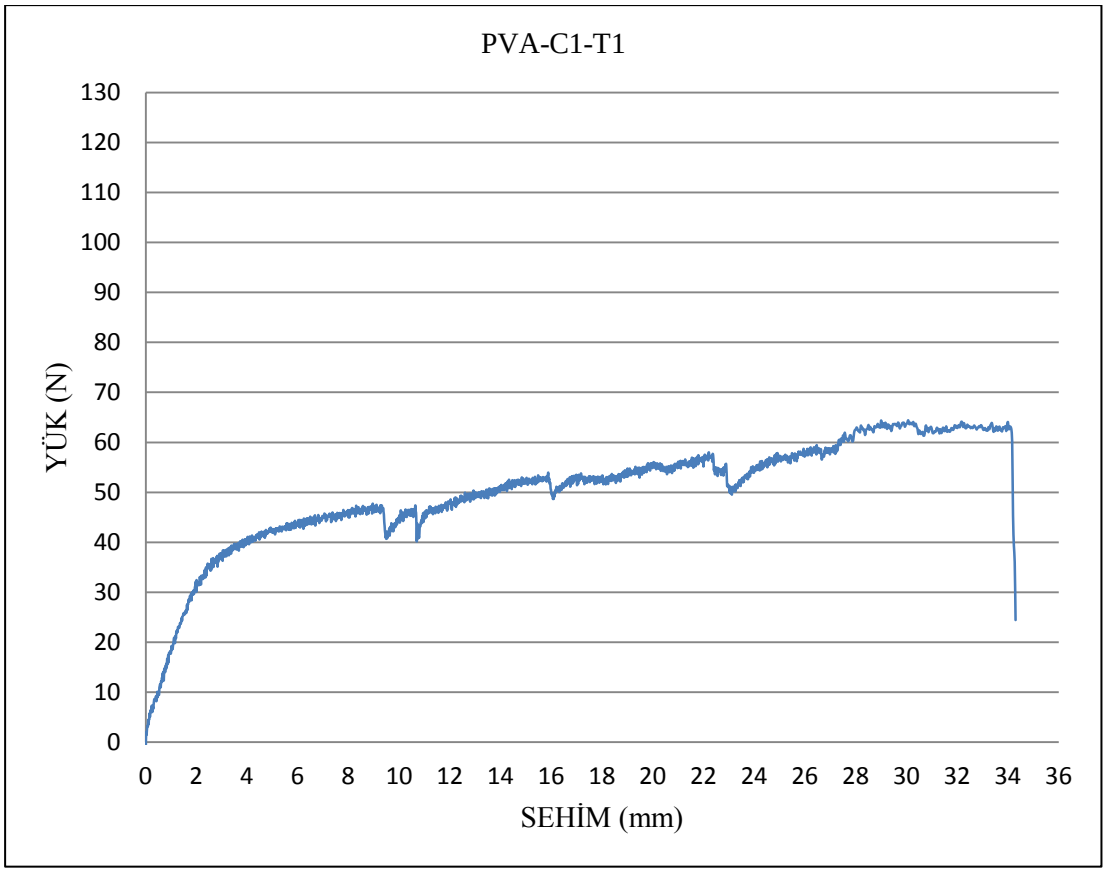
Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitlerin farklı matrislerde gösterdikleri eğilme performansları Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitin yük-sehim grafiği.



Şekil 5.5 Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-sehim grafiği: Çimento/taş tozu(3/1).

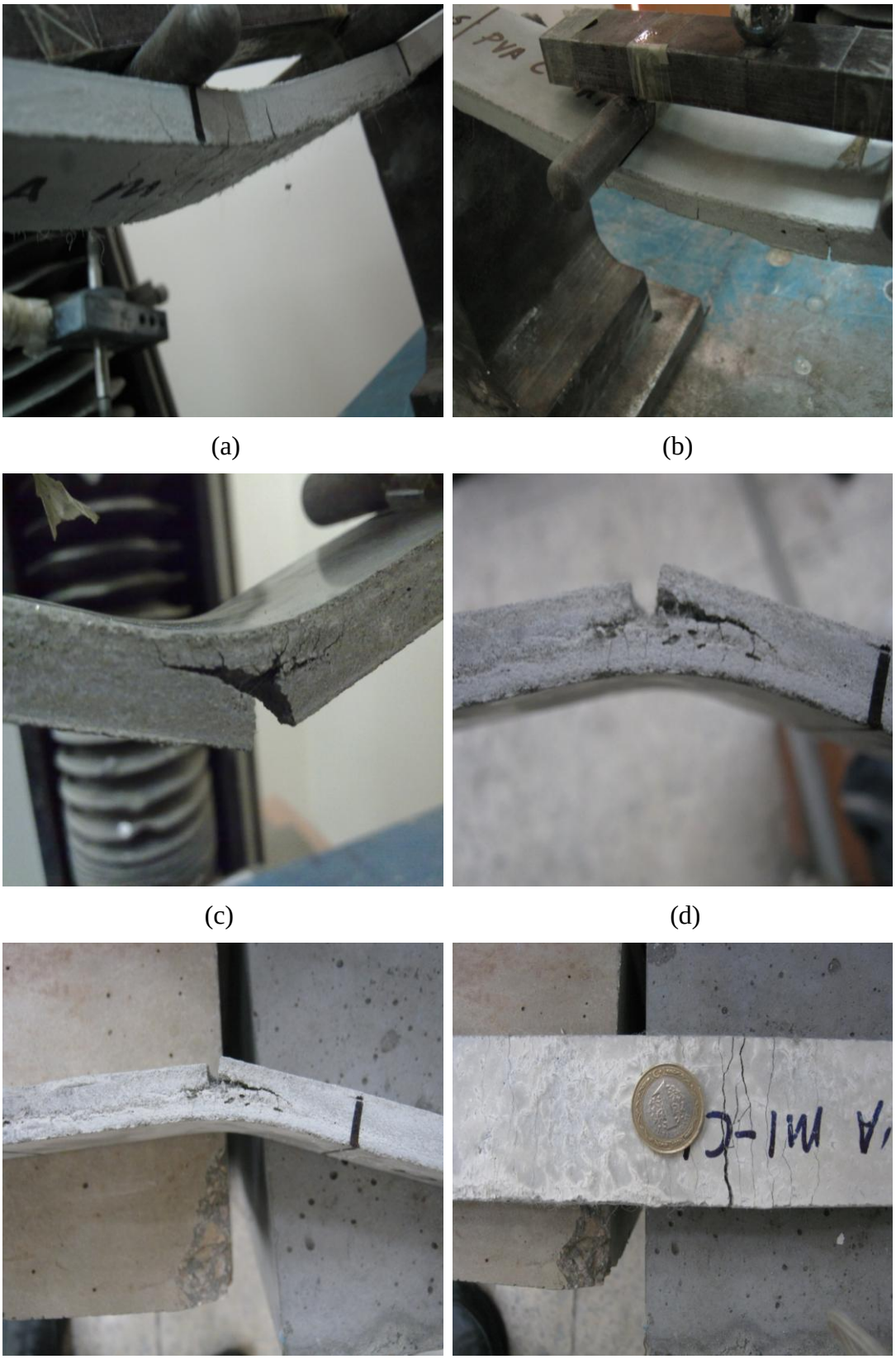


Şekil 5.6 Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-sehim grafiği: Çimento/Taş tozu(1/1).

Deney sonuçları, farklı matris karışımlarının kompozitlere etkisini açıkça göstermektedir. Matris karışımlarında taş tozu miktarı arttıkça malzemenin sehim yapabilme yeteneğinin arttığı ve bunun sonucu olarak da yüksek kırılma enerjisine sahip olduğu görülmektedir.

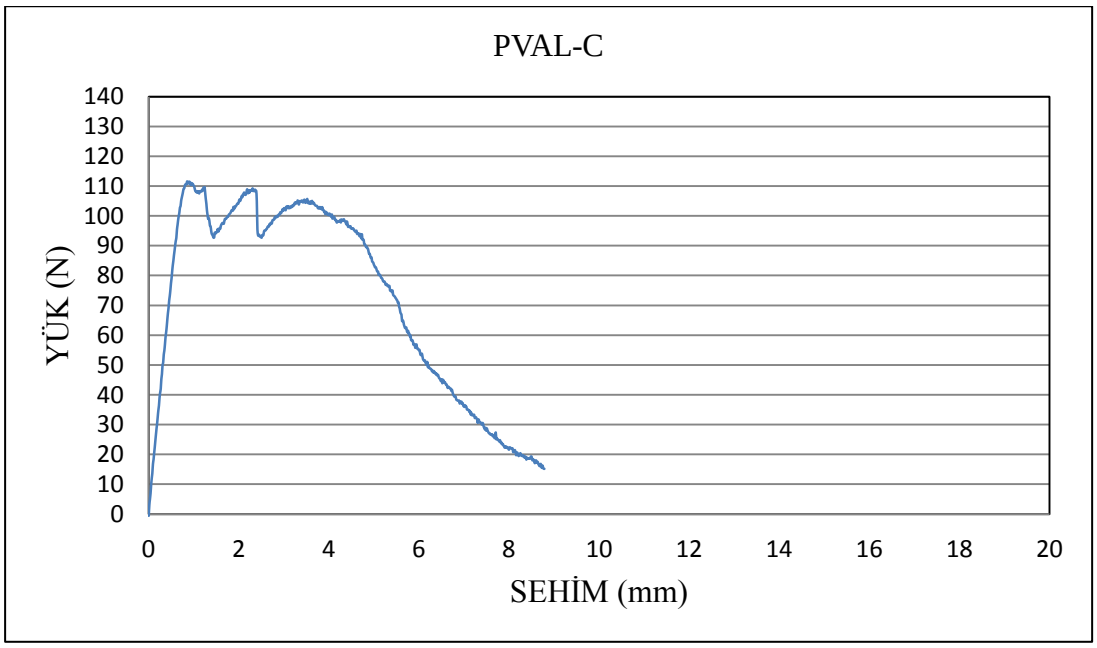
Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitlerin yük-sehim grafiklerine bakıldığında yük belirli bir noktaya kadar doğrusal olarak artar, elastik sınır geçildikten sonra mikro çatlaklar ve boşluklar aktif hale gelir ve doğrusallığını kaybeder. Grafiklerde görüldüğü gibi oluşan çatlaklarla yük alması bir miktar azalır, daha sonra tekrar yük almaya ve enerji yutmaya devam eder.

Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitlerin deney sırasında ve deney sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.7'de verilmiştir.

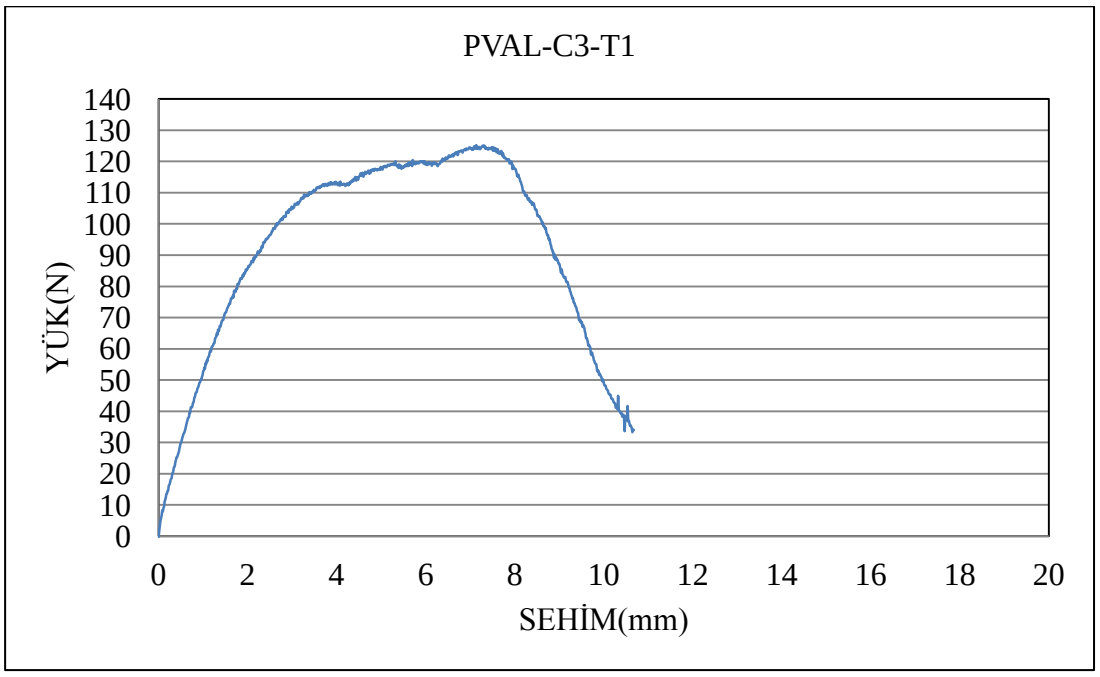


Şekil 5.7 Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitlerin eğilme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri.

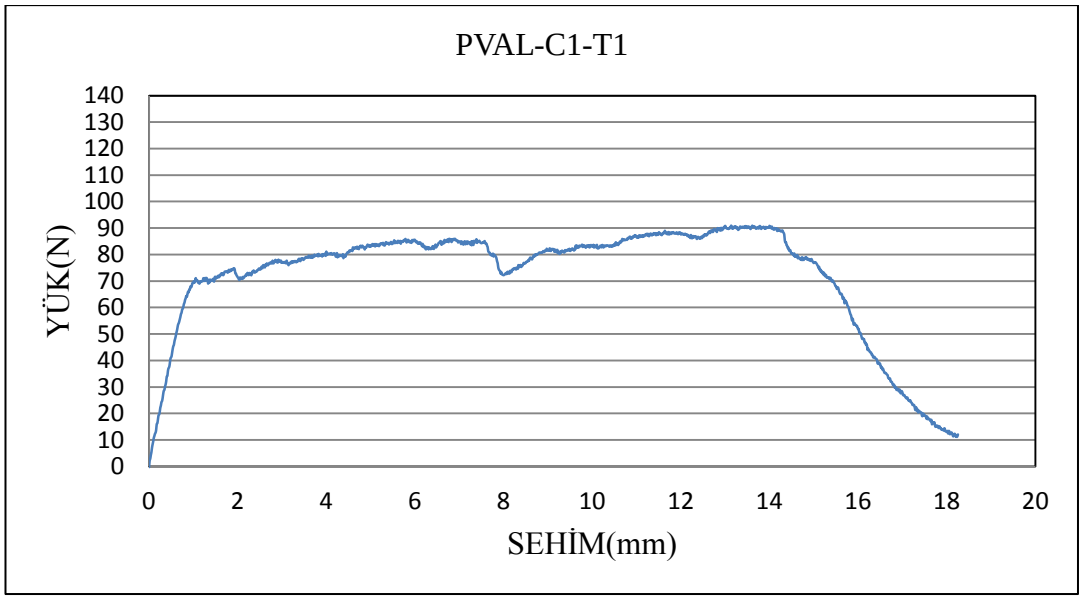
Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif içeren farklı matrise sahip kompozitlere performanslarının karşılaştırılması amacıyla, PVA kısa lifin yönlendirilmiş PVA keçe ile aynı miktarda takviye elemanı olarak kullanılarak ve aynı matris karışımlarıyla oluşturulan kompozit malzemelerin eğilme performansları Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.8 PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitin yük-sehim grafiği.

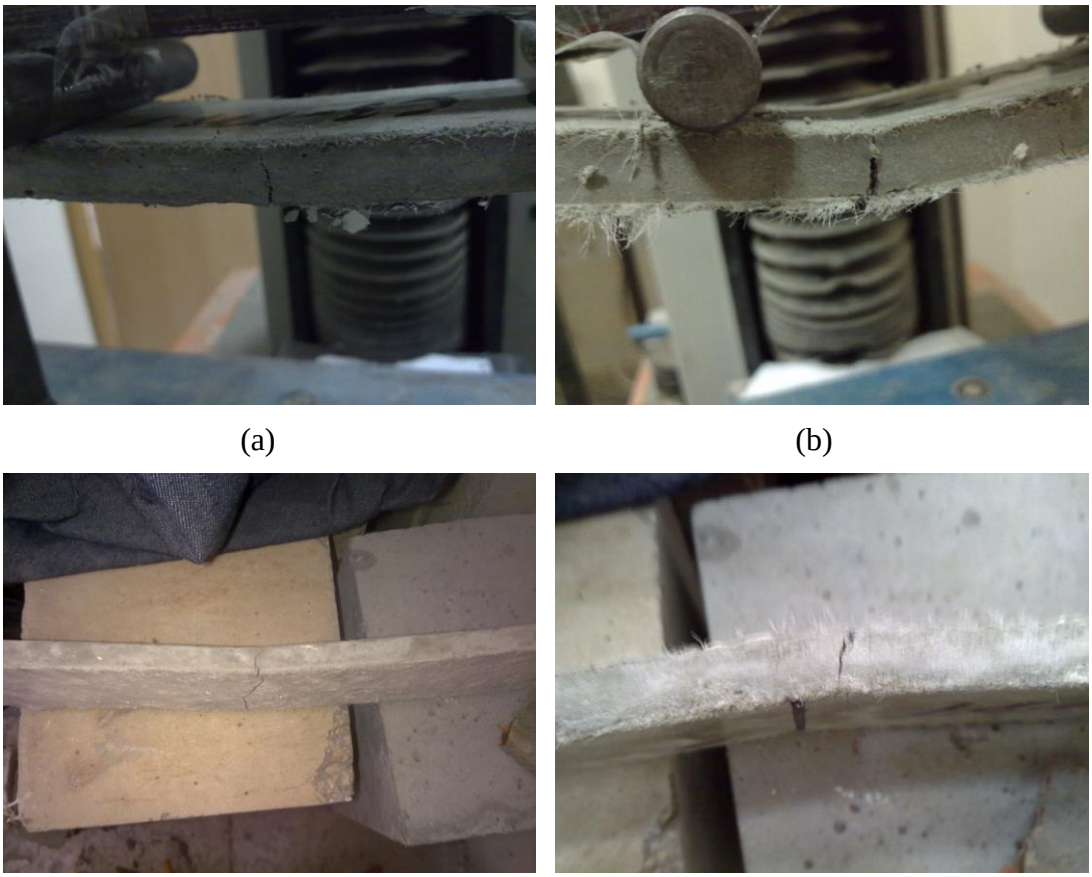


Şekil 5.9 PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-sehim grafiği: Çimento/taş tozu oranı (3/1).



Şekil 5.10 PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-sehimgrafiği: Çimento/Taş tozu oranı (1/1).

PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitlerin deney sırasında ve deney sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.11'de verilmiştir.



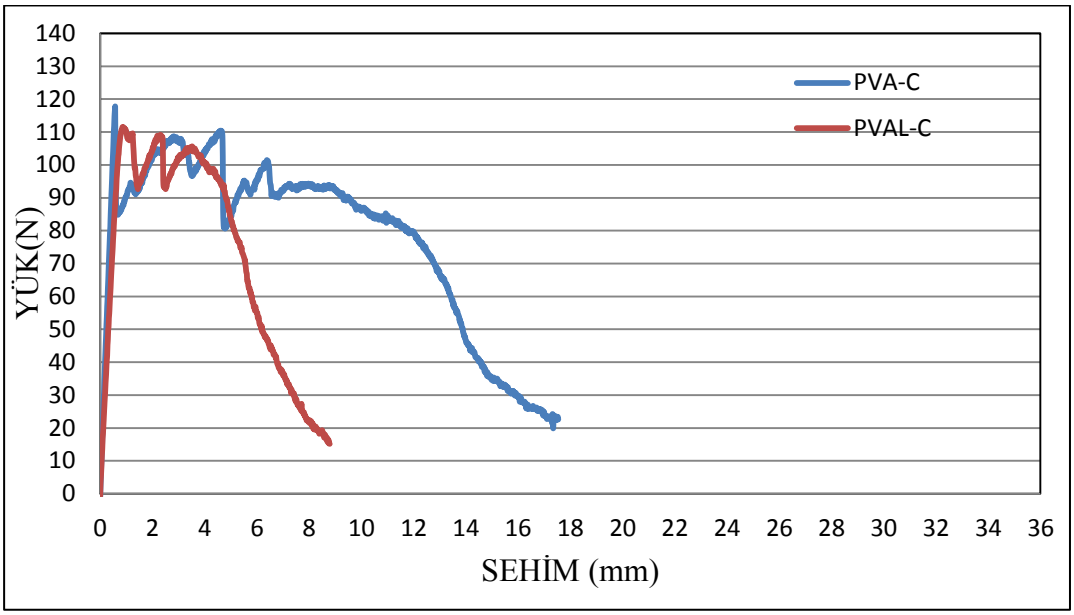
(a) (b)

(c) (d)

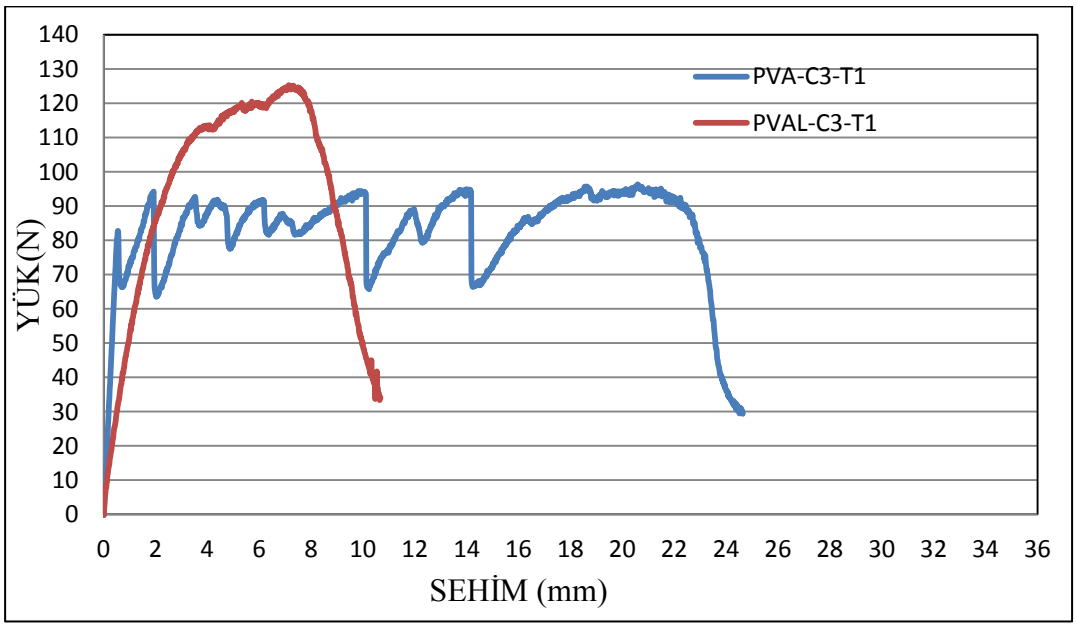
Şekil 5.11 PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitlerin eğilme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri.

PVA kısa lif takviyeli kompozitler üzerinde yapılan eğilme deneyleri sonuçlarında yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerde de olduğu gibi çimento yerine taş tozu kullandığımız malzemelerin daha fazla sehim yaptığını ve kırılma enerjilerinin daha yüksek olduğunu gözlemledik.

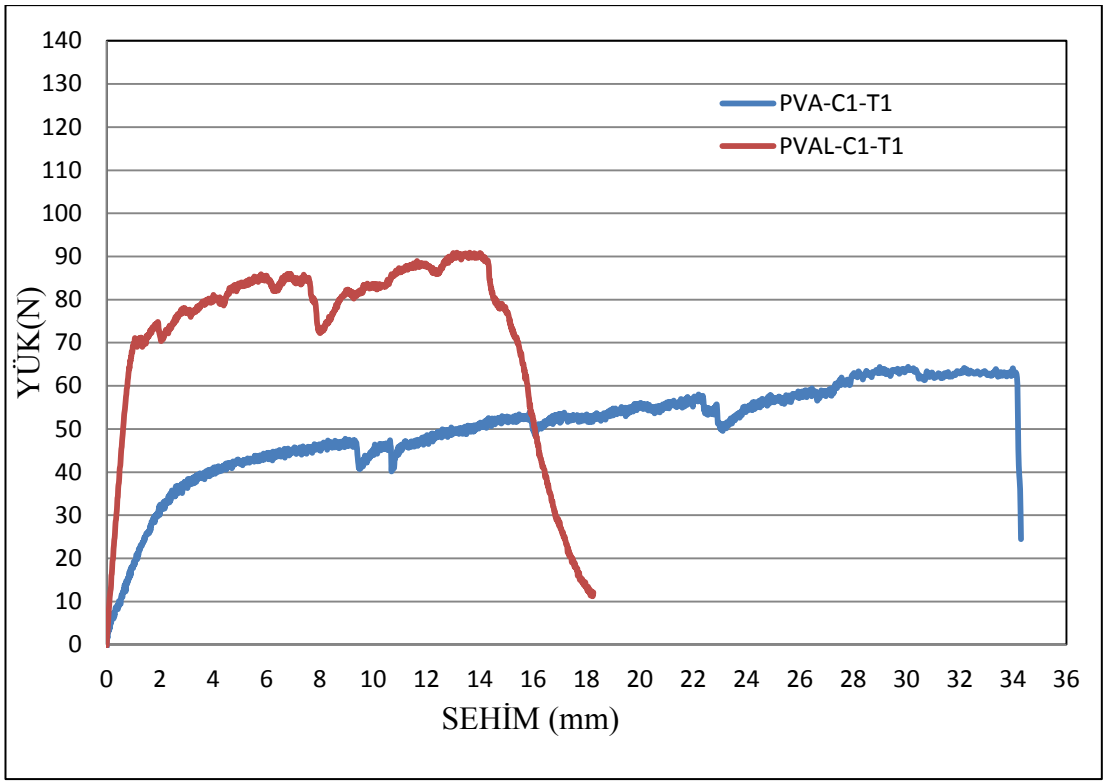
Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması.



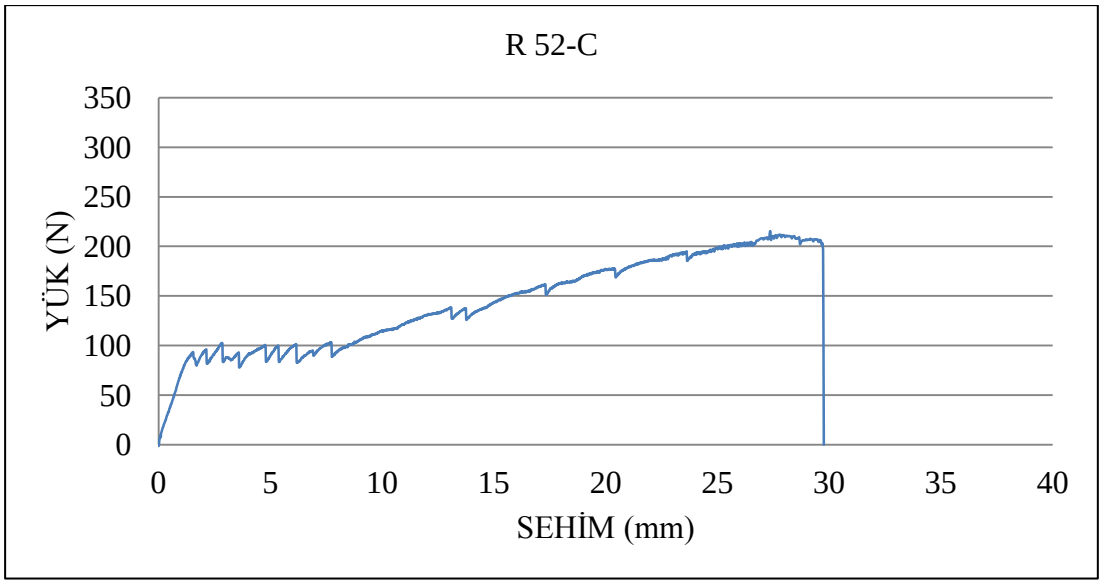
Şekil 5.13 Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması: Çimento/Taş tozu (3/1).



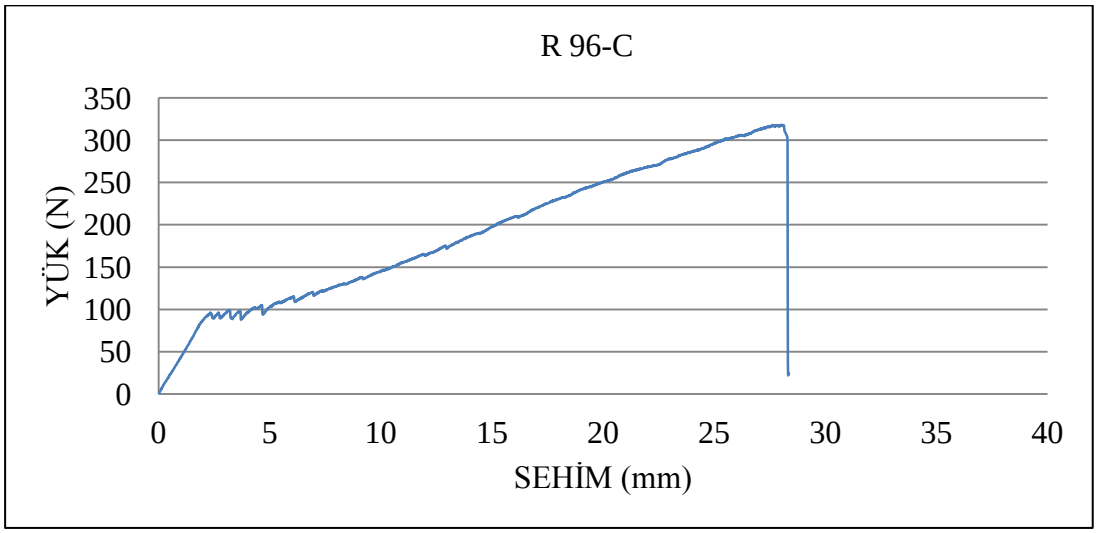
Şekil 5.14 Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması: Çimento/Taş tozu (1/1).

Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitler ile PVA kısa lif takviyeli kompozitlerin eğilme davranışlarının karşılaştırıldığı yük-sehim grafiklerinde görüldüğü gibi; yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin sehim yapabilme yeteneği PVA kısa lif takviyeli kompozitlere göre daha yüksektir. Deney sonuçlarının yanı sıra, deney sırasında ve sonrasındaki numunelerin çatlak yayılımına bakıldığında; PVA kısa lif takviyeli malzemelerde çatlak yayılımının yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli malzemelere göre çok daha az olduğu, daha gevrek bir malzeme olduğu ve enerji yutma kapasitesine bağlı olarak da kırılma enerjisinin daha düşük olduğu sonuçlarını elde ettik. Ayrıca, yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli kompozitlerin farklı matrislerdeki performansları incelendiğinde benzer davranış sergiledikleri görülmüştür. Her iki çeşit kompozit malzeme için de çimentonun yerine kullanılan taş tozu miktarı arttıkça daha çok enerji yuttuğunu söylemek mümkündür.

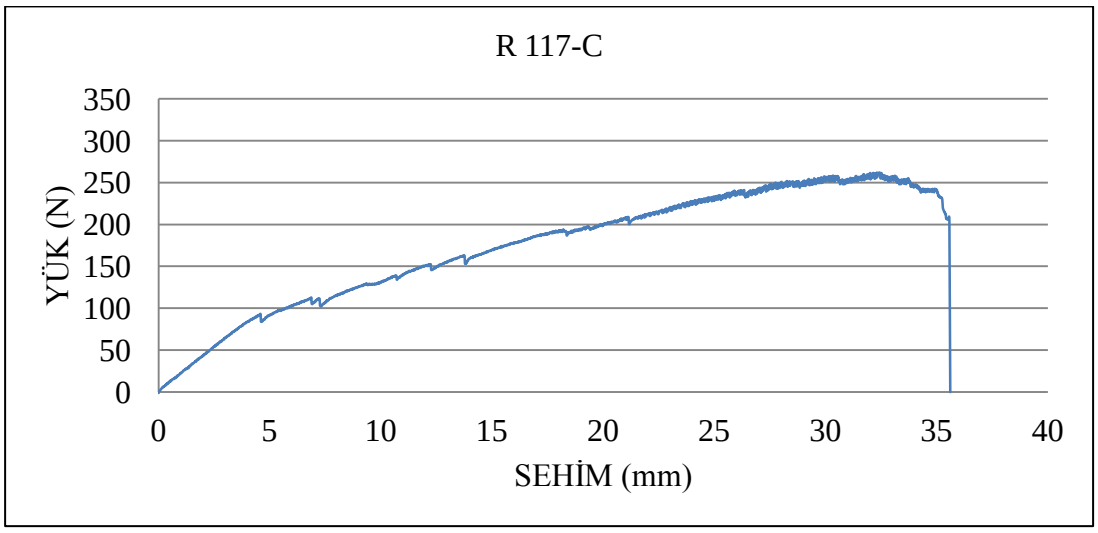
Deneysel çalışmalarda takviye elemanı olarak kullanılan bir diğer tekstil malzemesi de cam file kumaşlardır. Cam kumaşlarla üretilen kompozitler üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de gösterilmektedir.



Şekil 5.15 R 52 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük-sehim grafiği.

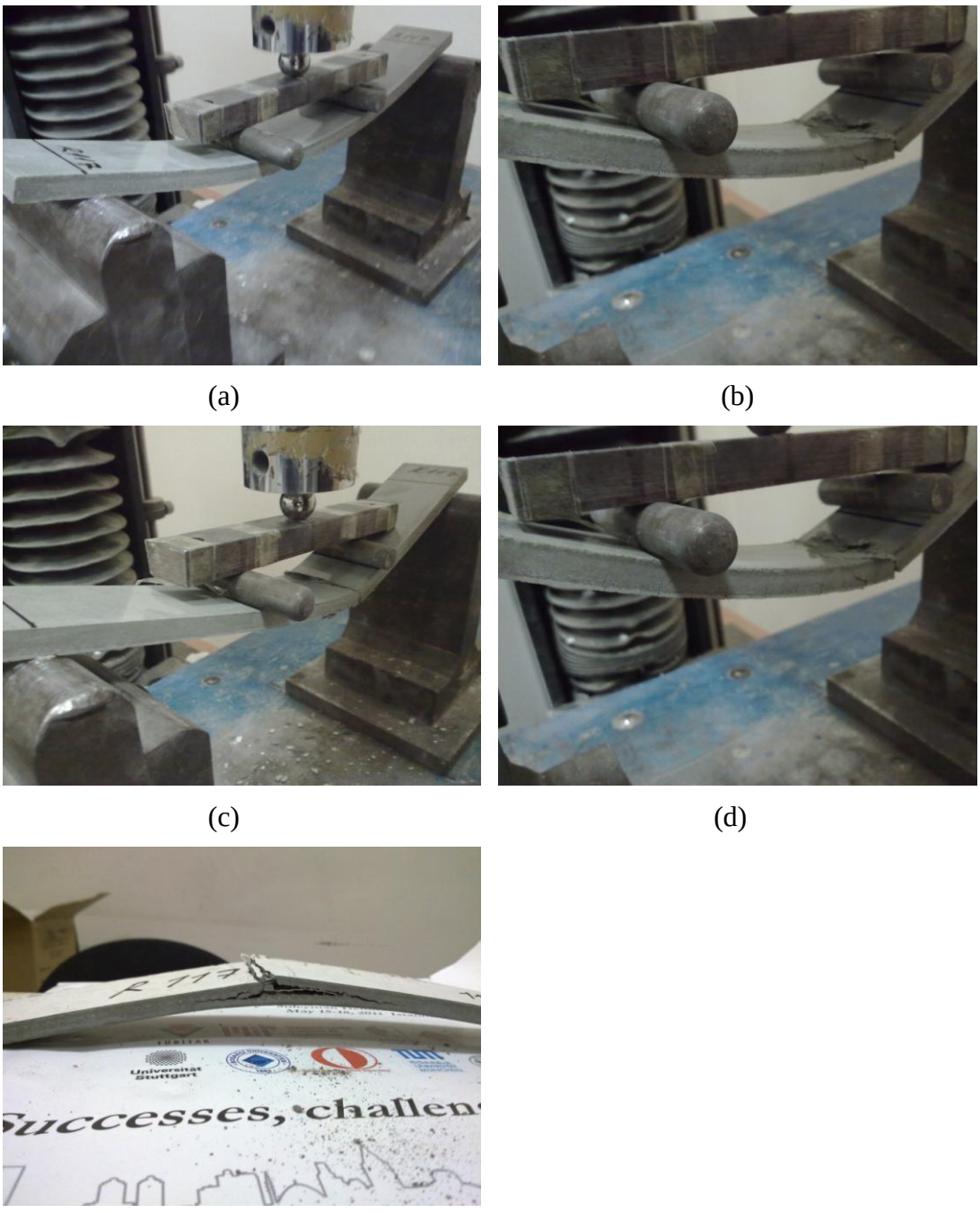


Şekil 5.16 R 96 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük-sehim grafiği.



Şekil 5.17 R 117 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük-sehim grafiği.

Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitlerin deney sırasında ve deney sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.18'de verilmiştir.

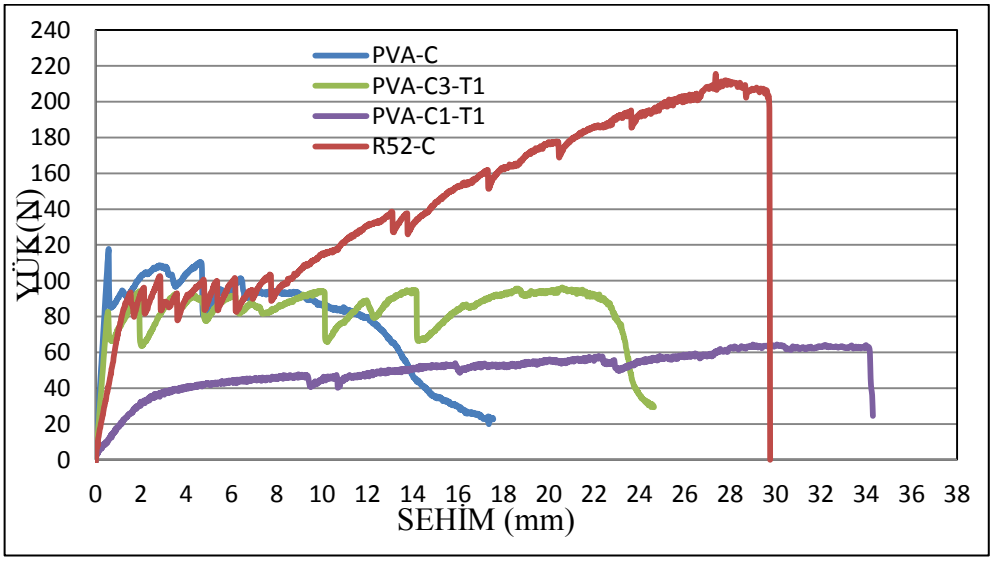


Şekil 5.18 Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitlerin eğilme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri.

Şekillerde cam file kumaşın 3 farklı çeşidinin kullanılmasıyla üretilen numunelerin, deneyler sonucundaki yük-sehim grafikleri gösterilmektedir. Cam kumaşlar üretim sırasında kalıba 4 sıra olarak ve çözgü iplikleri uzun doğrultuya yani eğilmeye çalışacak eksene paralel yerleştirilmiştir. Kumaşların seçimleri tex özelliklerine ve

yoğunluklarına göre yapılmıştır. R52 A101 cam file kumaş türü diğer 2 cam file kumaş türünün yaklaşık olarak yarısı kadar kumaş yoğunluğuna sahip olduğu için, çimento bağlayıcılı kompozitleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarına bakıldığında daha düşük yük taşıma kapasiteleri buna bağlı olarak daha düşük eğilme dayanımları ve kırılma enerjilerine sahip oldukları gözlemlenmiştir. R96 A101 ve R117 A101 cam kumaşlarını kıyasladığımızda ise R117 A101 tipi kumaşın yoğunluğu R96 A 101 kumaş tipine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, R96 A101 kumaşın tex özelliklerinde, atkı iplikleri R117 A101 kumaşa göre daha sıktır. Buna bağlı olarak bu 2 tip cam kumaşın oluşturdukları kompozit numuneler üzerinde yapılan deneylerin ortalamasına bakıldığında kırılma enerjilerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitler ile yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitlerin eğilme davranışlarının karşılaştırılmasını yaparken R52 A101 tipi cam file kumaşı kullanmak uygundur. Kumaş yoğunluğu 60 gr/m^2 olan R52 A101 tipi cam kumaştan 4 sıra koyulduğu için m^2'de 240 gr cam file kumaş kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Ayrıca, yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitler hazırlanırken ise yoğunluğu 100gr/m^2 olan yönlendirilmiş PVA keçelerden 2 sıra koyulduğu için m^2'de 200 gr yönlendirilmiş PVA keçe kullanılmıştır. R52 A101 tipi cam file kumaş takviyeli kompozit ile yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin yük-sehim grafikleri Şekil 5.19'da gösterilmiştir.

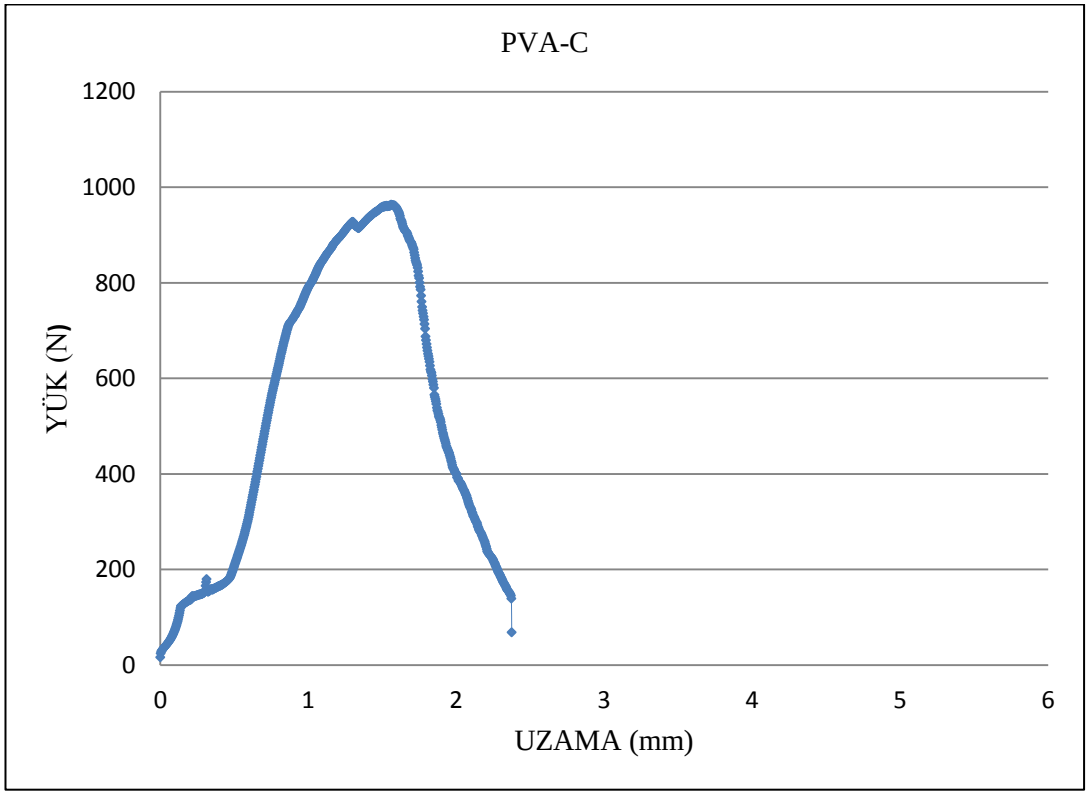


Şekil 5.19 Yönlendirilmiş PVA keçe ve R52 A101 tipi cam file kumaş takviyeli kompozitlerin yük-sehim grafiklerinin karşılaştırılması.

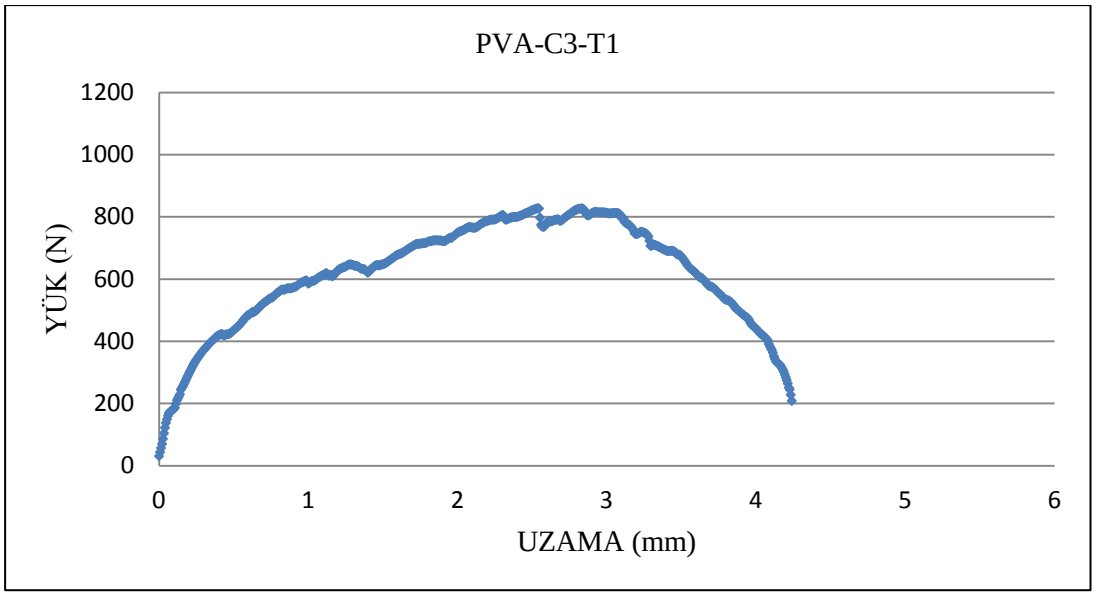
Yönlendirilmiş PVA keçe ve cam file kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme davranışlarını karşılaştırdığımız yük-sehim grafiğinde cam file kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımlarının yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerden daha yüksek olduğunu görebiliyoruz. Bunun yanı sıra, yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerde çimento yerine taş tozu ikame ederek oluşturduğumuz numunelerin sehim miktarlarının cam file kumaş takviyeli kompozitlerle aynı seviyelerde olabildiği ve enerji yutma kapasitelerinin de cam file kumaşa yaklaşabildiği sonucunu elde ettik.

5.2 Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

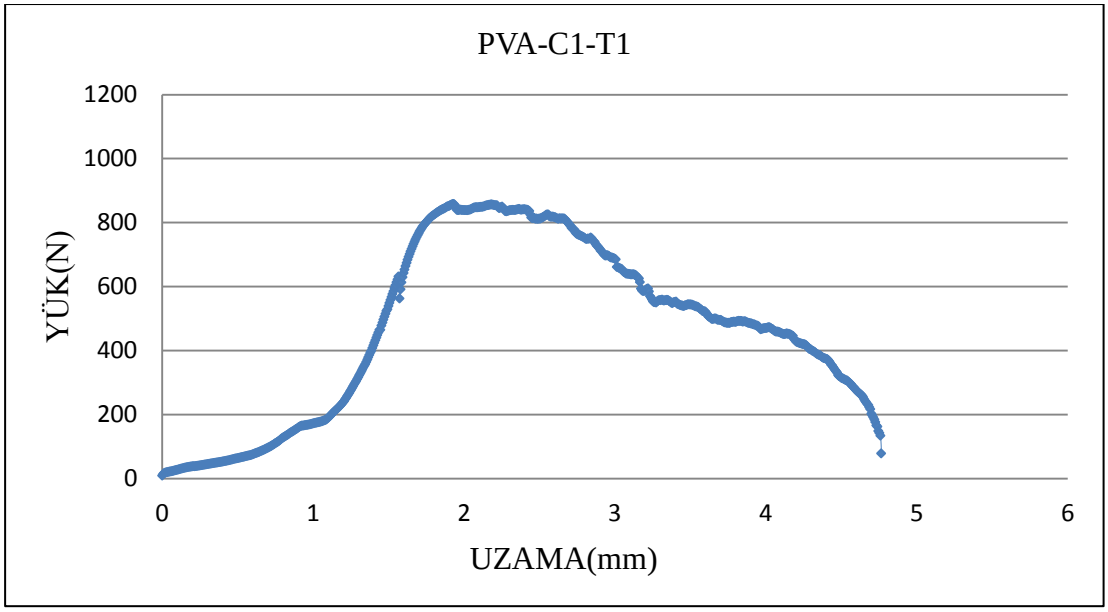
Yönlendirilmiş PVA keçe, PVA kısa lif ve cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme dayanımlarının ve uzama kapasitelerinin incelenmesi amacıyla, çekme deneyleri yapılmıştır. Öncelikli olarak, yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli 3 çeşit matrisle üretilen kompozitlerin çekme davranışları incelenmiştir. Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitler üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçları Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de gösterilmektedir.



Şekil 5.20 Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitin yük- uzama grafiği.



(a)

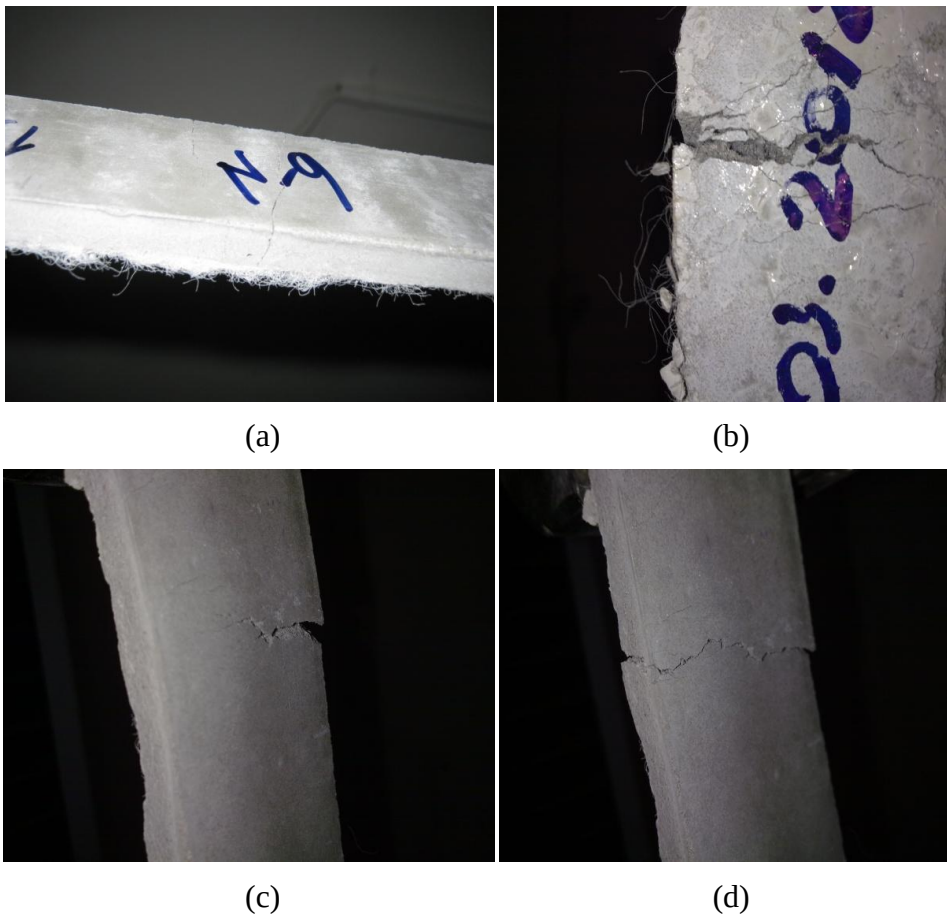


(b)

Şekil 5.21 Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-uzama grafiği:(a)Çimento/Taş tozu (3/1) (b)Çimento/Taş tozu(1/1).

Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitler üzerinde yapılan çekme deneyleri sonucunda matris karışım oranlarının çekme dayanımları üzerinde çok fazla etkili olmadığı görülmüştür. Fakat çimento yerine taş tozunun matris elemanı olarak kullanıldığı numunelerde daha fazla uzama meydana geldiği de açıkça görülmektedir. Bunun nedeni ise; taz toşu kullanıldığında matris zayıfladığı için lif-matris yapışma dayanımı zayıflar ve daha kolay sıyrılır, bu da deformasyon ve enerjiyi arttırır.

Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.22'de gösterilmektedir.

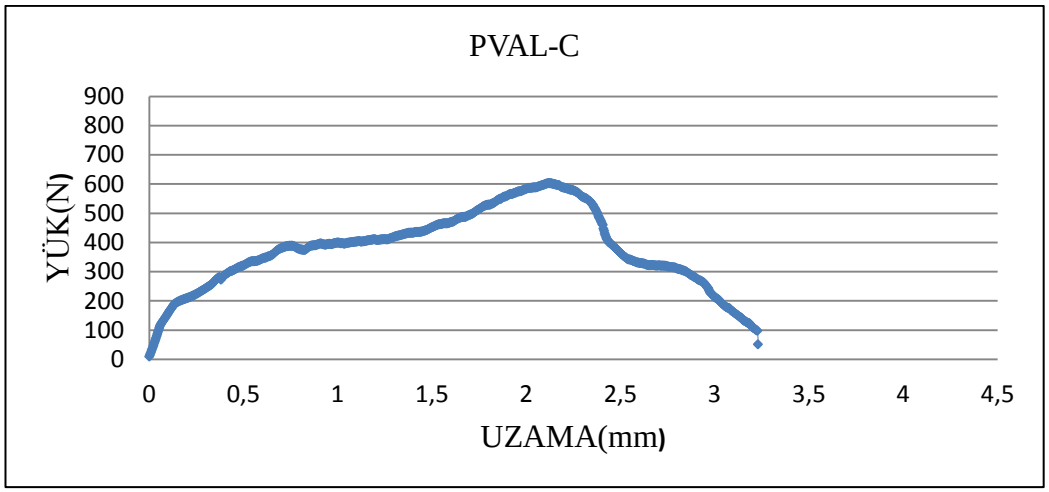


(a) (b)

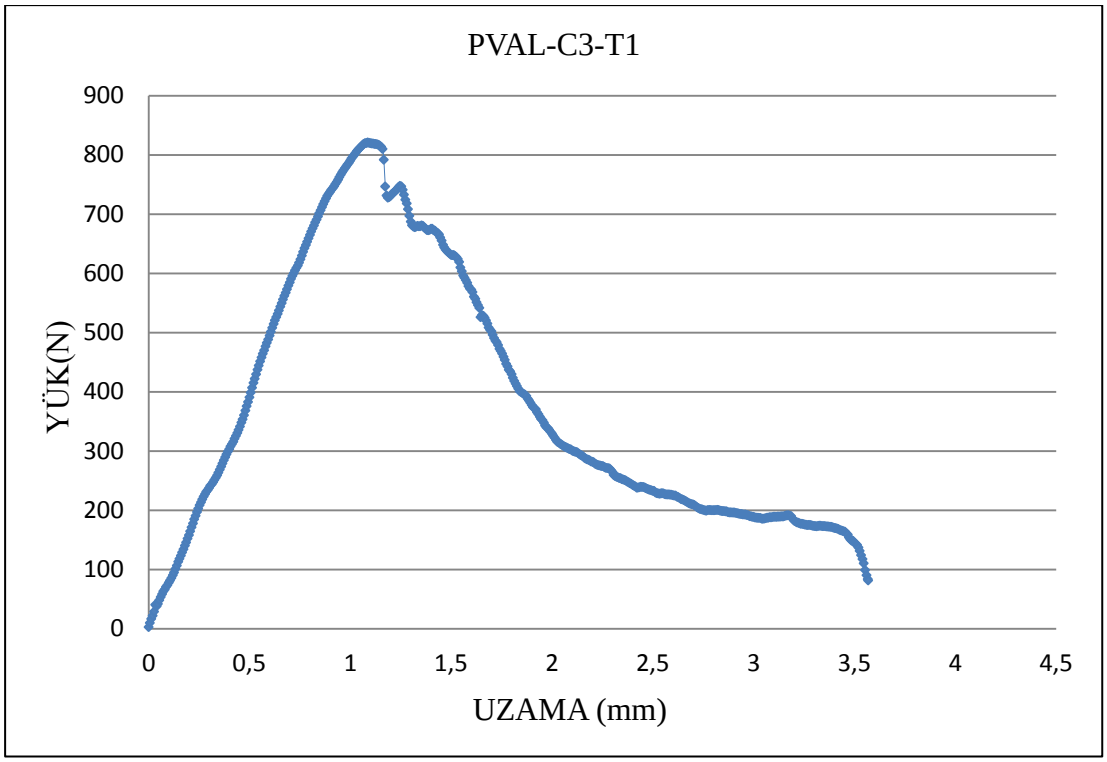
(c) (d)

Şekil 5.22 Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri.

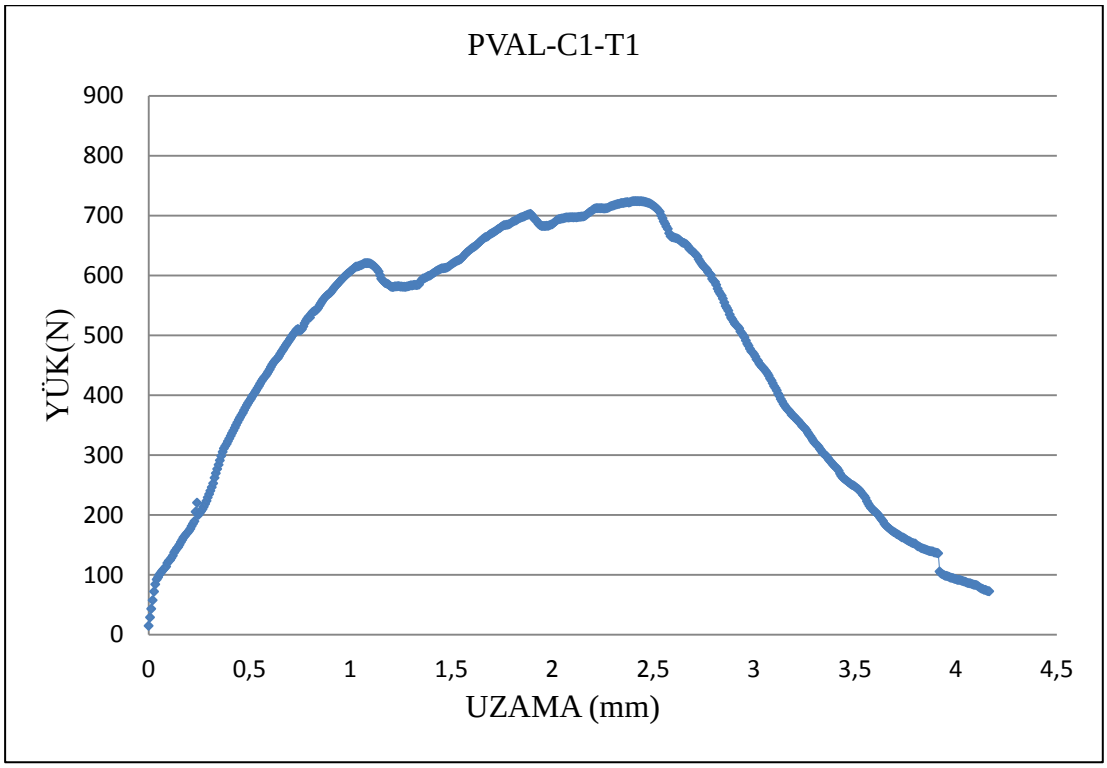
PVA kısa lif takviyeli kompozitlerin çekme deneyi sonucundaki yük-uzama eğrileri Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'de gösterilmektedir.



Şekil 5.23 PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitin yük- uzama grafiği.



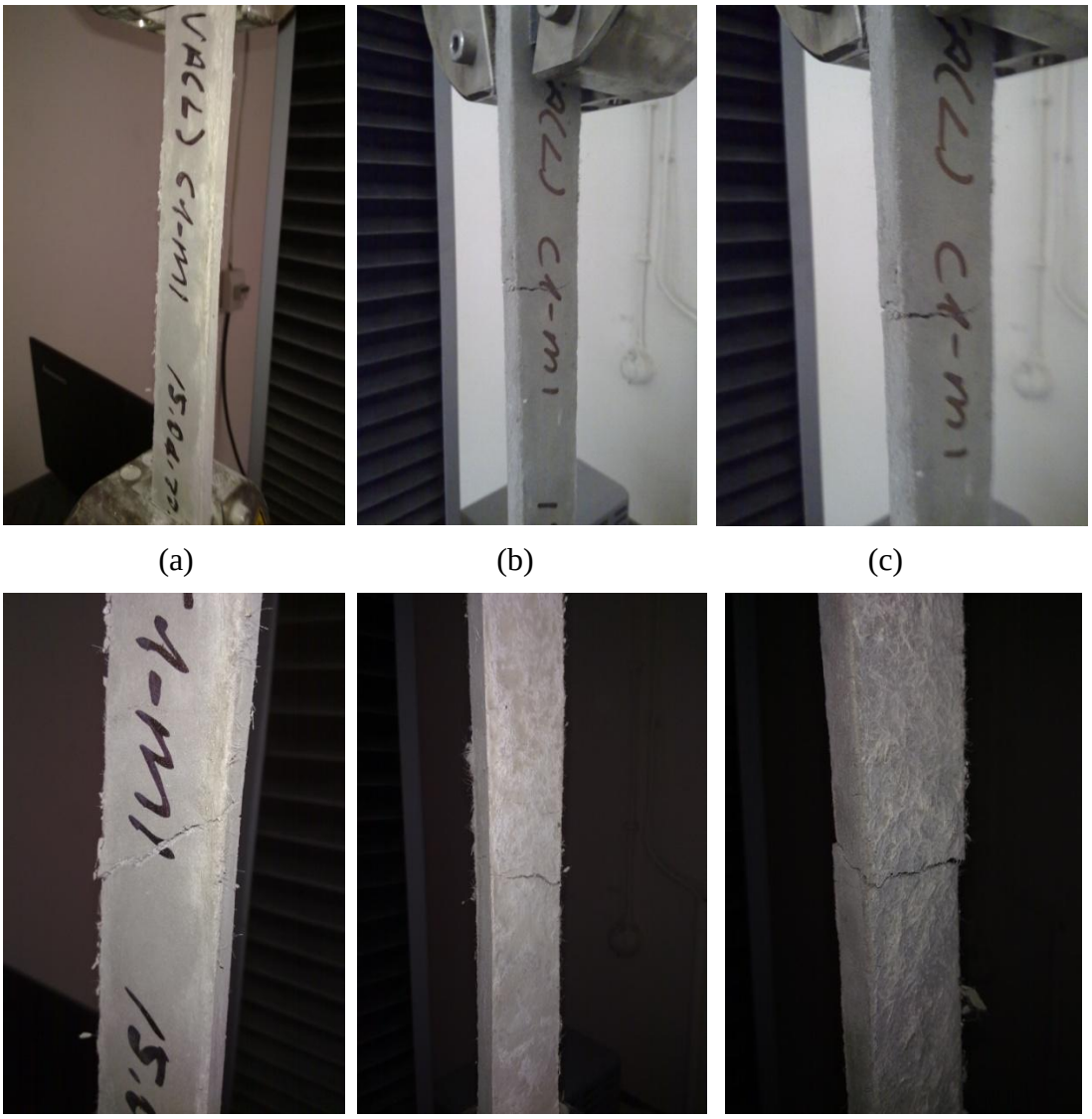
(a)



(b)

Şekil 5.24 PVA kısa lif takviyeli çimento-taş tozu içeren matrise sahip kompozitin yük-uzama grafiği:(a)Çimento/Taş tozu(3/1)(b)Çimento/Taş tozu(1/1).

PVA kısa lif takviyeli kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.25'de gösterilmektedir.



(a) (b) (c)

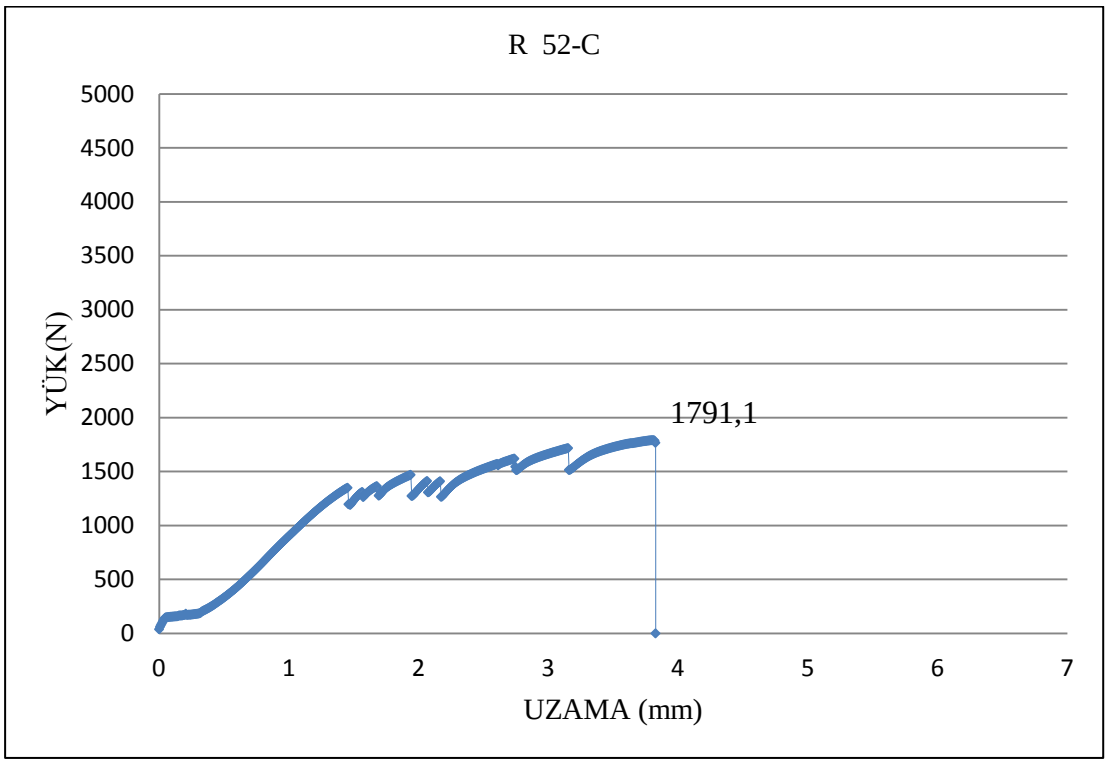
(d) (e) (f)

Şekil 5.25 PVA kısa lif takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri.

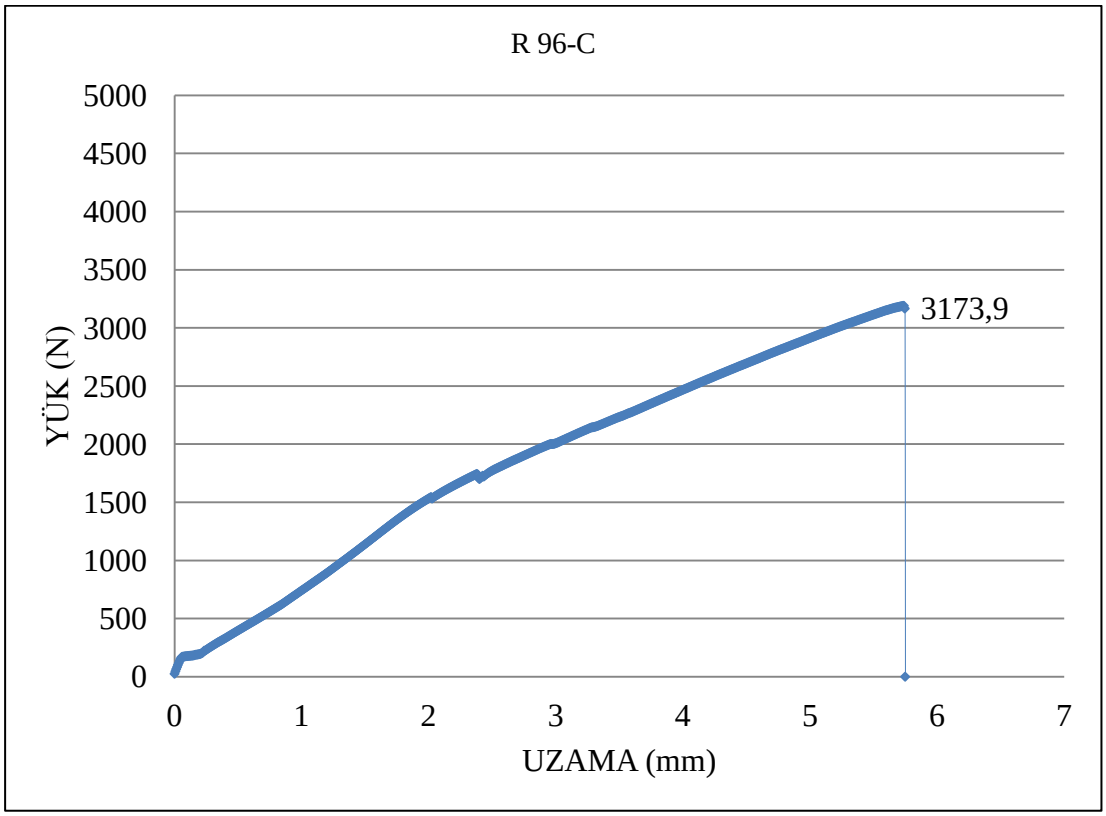
Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli kompozitler üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçlarına bakıldığında; yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin çekme dayanımlarının daha yüksek olduğu görüldü. Ayrıca yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli kompozitler için, matris karışımlarında çimento yerine taş tozu ikame ettiğimiz numuneler üzerinde yapılan çekme deneylerinde uzama miktarlarının arttığını söylemek mümkündür.

Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli kompozitler ile cam file kumaş takviyeli kompozitlerin çekme davranışlarını karşılaştırmak amacıyla cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitler üzerinde çekme deneyleri yapılmıştır.

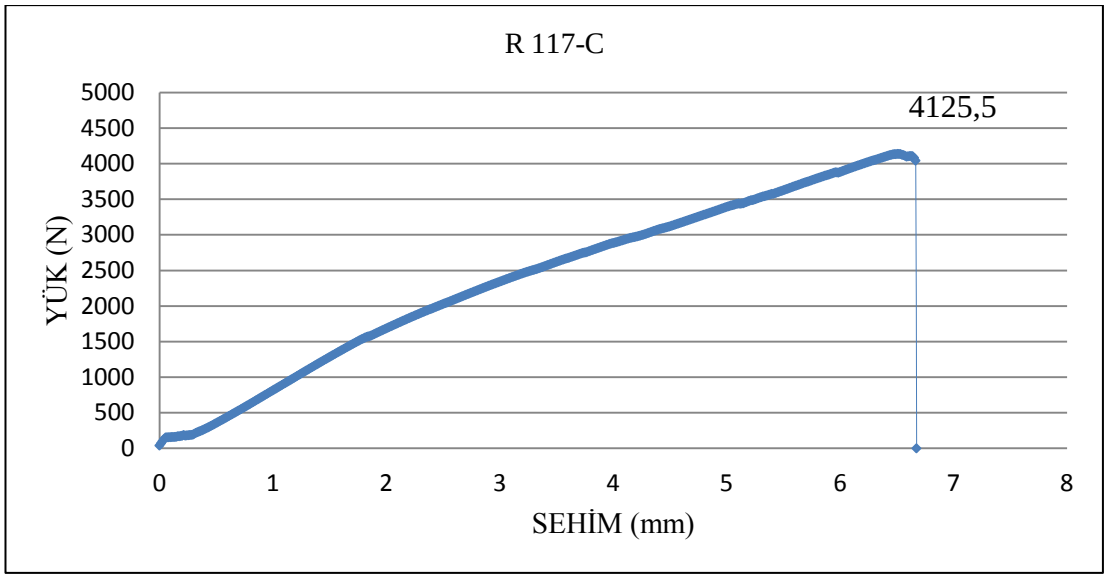
Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitler üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçları Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de gösterilmektedir.



Şekil 5.26 R 52 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük- uzama grafiği.

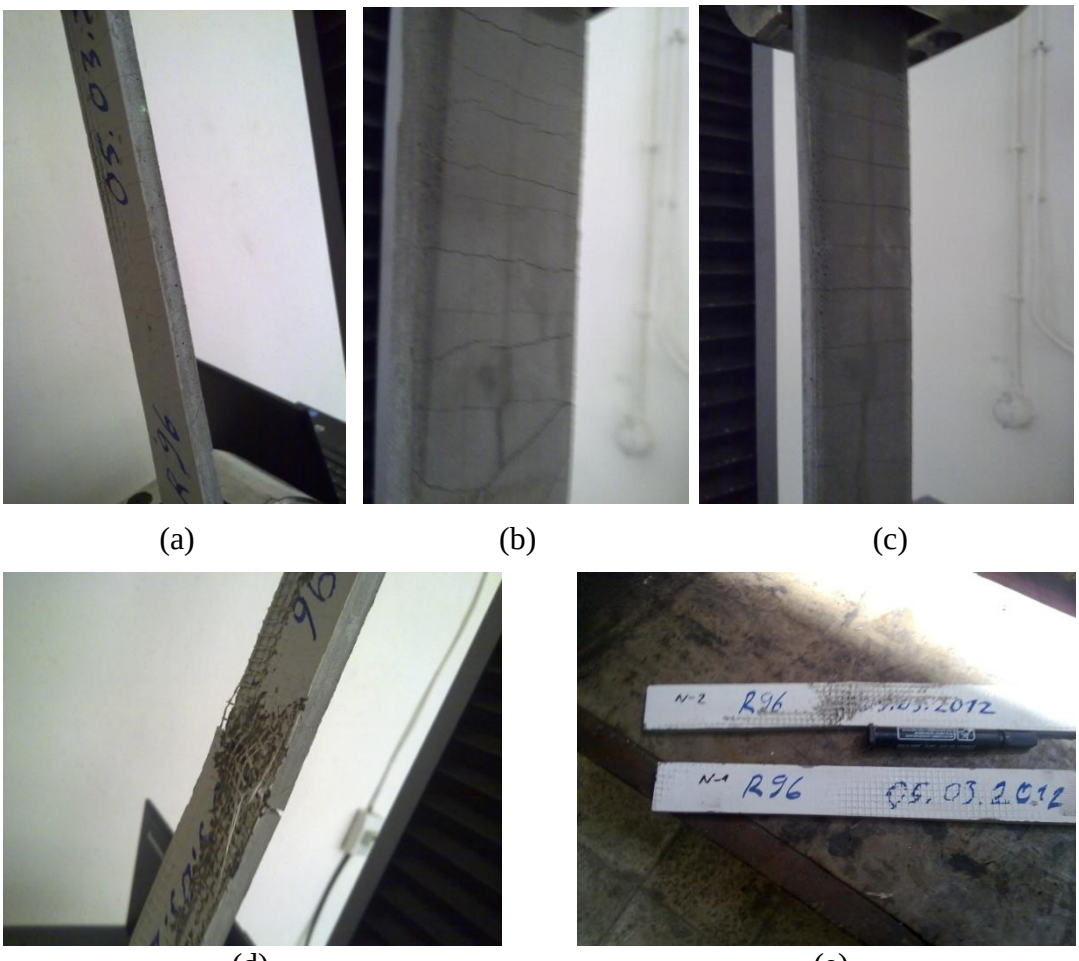


Şekil 5.27 R 96 A101 cam file kumaş takviyeli kompozitin yük- uzama grafiği.



Şekil 5.28 R 117 A101 cam file kumaşı takviyeli kompozitin yük- uzama grafiği.

Cam file kumaş takviyeli kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.29'da gösterilmektedir.



Şekil 5.29 Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme deneyi sırasındaki ve sonrasındaki görünüşleri.

Cam file kumaş takviyeli çimento esaslı kompozitlerin çekme deney sonuçlarına bakıldığında, yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli kompozitlere göre çekme dayanımlarının daha yüksek olduğu ve daha fazla uzama yaptıkları görülmüştür.

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, yönlendirilmiş PVA keçe içeren kompozitlerin özelliklerinin araştırılması, matris bileşenlerinin bu özellikler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, PVA kısa lif ve cam kumaş takviyeli kompozitlerin performansı ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Yalnızca matrisler üzerinde yapılan eğilme deneylerinde; çimento yerine kullanılan taş tozu miktarı arttıkça, matrislerin eğilme dayanımı azalmıştır.
- Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin sehim yapabilme yetenekleri PVA kısa lif takviyeli kompozitlere göre üstündür ve buna bağlı olarak da kırılma enerjileri daha yüksektir.
- Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lifin takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozit malzemelerde yapılan eğilme deneyleri sonucunda; çimento yerine kullanılan taş tozu miktarı arttıkça, takviye elemanlarının matrislerden sıyrılma özelliklerine bağlı olarak enerji yutma kapasitesi artmıştır.
- Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitler ile cam file kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme davranışları incelenmesiyle; cam file kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme dayanımının yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlere göre daha yüksek olduğu ve yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin sehim yapabilme yeteneklerinin cam file kumaş takviyeli kompozitlere yaklaştığı görülmüştür.
- Yönlendirilmiş PVA keçe ve PVA kısa lif takviyeli kompozitlerin çekme deneyleri karşılaştırıldığında; üretim sırasında yönlendirilmiş olan yönlendirilmiş PVA keçe ile oluşturulan kompozitlerin çekme dayanımının, PVA kısa lif takviyeli kompozitlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Yönlendirilmiş PVA keçe veya PVA kısa lif takviyeli kompozitlerde, çimento yerine taş tozu miktarı arttıkça uzama miktarı artmıştır.
- Yönlendirilmiş PVA keçe takviyeli kompozitlerin çekme dayanımları cam kumaş takviyeli kompozitlere göre daha düşüktür.

- Cam file kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme davranışlarında, cam file kumaşların alan yoğunluklarının yanı sıra doğrusal yoğunlukları da belirleyici olmuştur.

KAYNAKLAR

[1] **Yıldırım, S. T. ve Ekinci, C. E.** (2006). Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 18(3),359-366,2006.

[2] **Almusallam, T. H. ve Al-Salloum, Y. A.** (2006). Durability of GFRP Rebars in Concrete Beams under Sustained Loads at Severe Environments, Journal of Composite Materials, Vol. 40, No.7/2006

[3] **Çelik, R.** (2011). Farklı Türde Kumaş Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Eğilme Performanslarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2011).

[4] **Yaprak, H., Şimşek. O. ve Öneş, A.** (2004). Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi Cilt:7 Sayı:4 s. 353-358, 2004.

[5] **Erlin, B.** (1994). Embedded Metals and Materials Other Than Reinforcing Steel, STP169C-EB/Aug. 1994.

[6] **Brown, R., Shukla A., Natarajan K. R.** (2002). Fiber Reinforcement of Concrete Structures, University of Rhode Island, Project No:536101,September 2002.

[7] **Choi, Y. ve Yuan, R. L.** (2006). Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC, *Cement and Concrete Research*, s. 35, 1587-1591 (2006).

[8] **Devis, B.** (2007). Natural Fiber Reinforced Concrete,04.02.2007.

[9] **Mutlu, M. ve Yazıcı, İ.** (2011). Tekstil Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Eğilme Davranışlarının, Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2011).

[10] **Peled, A., Sueki, S. ve Mobasher, B. (2006).** Bonding in Fabric -Cement Systems: Effects of Fabrication Methods, *Cement and Concrete Research*, s. 36, 1661-1671 (2006).

[11] **Peled, A. ve Bentur, A**. (2003). Fabric Structure and Its Reinforcing Efficiency in Textile Reinforced Cement Composites, Composites Part A, s. 34, 107-118 (2003).

[12] **Özkul, H.** (2011). Composite Materials Ders Notları, İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü (2011).

[13] **Hartig, J., Häußler-Combe, U. ve Schicktanz, K.** (2008). Influence of bond properties on the tensile behviour of Textile Reinforced Concrete, *Cement and Concrete Research*, s. 30, 898-906 (2008).

[14] **Özdemir, D. ve Mecit, H. D.** (2006). Cam Lifleri (Glass Fibers), Tekstil ve Konfeksiyon 1/2006.

[15] **Nemati, K. M**. (2007). Progress in Concrete Technology,Fiber Reinforced Concrete (FRC), University of Washington, Fall Quarter 2007.

[16] **Holloway, L. C., Head, P. R.** (2001). Advanced Polymer Composite Materials and Their Components, Elsevier Science Ltd., s. 7-35, UK (2001).

[17] **Gibson, F., Ronald** (1994). Principles of Composite Material Mechanics, McGraw Hills Inc., New York, (1994).

[18] **Ghugal, Y. M. ve Deshmukh S. B.** (2006). Performance of Alkali-resistant Glass Fiber Reinforced Concrete, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol.25, No. 6/2006.

[19] **Arısoy, B.** (2005). Lifli Hafif Betonların Optimum Karışım Tasarımı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005, s. 912-916.

[20] **Uğur, A.** (2007). Lif Donatıların Yüksek Dayanımlı Betonlarda Yarma Dayanımı-Basınç Dayanımı İlişkisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2007).

[21] **Yua, J. H., Chen, W., Yua, M. X. ve Hua, Y. E.** (2010). The Microstructure of Self-Healed PVA ECC Under Wet and Dry, Materials Research. 2010; 13(2): 225-231.

[22] **Akcay, B., Tasdemir, M.** (2008). Internal curing of mortars by lightweight aggregates and its effects on hydration, Canadian Journal of Civil Engineering Vol. 35, s. 1276-1284 (2008).

[23] **Boğazkesen, K. K.** (2011). PVA Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2011).

[24] **Balaguru, P. N., Shah, S. P.,** (1992). "Fiber Reinforced Cement Composites", McGraw Hills Inc., New York, 1992.

[25] **Pakravan, H. R., Jamshidi, M., Latifi, M.,** (2010). "Performance of Fibers Embedded in a Cementitious Matrix", *Journal of Applied Polymer Science*, s. 116, 1247–1253 (2010).

[26] **Kurt, G.,** (2006). Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının GRC'nin Mekanik Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2006).

[27] **Soranakom, C., Mobasher, B.**, (2009). "Geometrical and Mechanical Aspects of Fabric Bonding and Pullout in Cement Composites", *Materials and Structures*, s. 42,765-777 (2009).

[28] **Url-1** < *http://www.asteknik.com* >, alındığı tarih 01.04.2012

[29] **Url-2** <http://epo.com.tr/pdfler/60_01.pdf >, alındığı tarih 18.04.2012

[30]**Url-3** <*http://www.aydinmadencilik.com/agrega.aspx*>, alındığı tarih 15.04.2012

EKLER

EK A: Terminoloji

EK.A : Terminoloji

Lif : Kumaş ve diğer tekstil yapılarının temel öğesini oluşturan doğal ya da yapay madde. Bir fiber, uzunluğunun çapına ya da genişliğine göre 100 kat daha büyük olması ile tanımlanır. Terim olarak dokuma, örme, bükme gibi çeşitli metotlarla iplik ya da kumaş haline getirilebilen elemanları kapsamaktadır.

Filament : Aşırı ya da belirsiz büyüklükte uzun fiberlere verilen ad.

İplik : Dokuma ya da örmeye uygun biçimdeki tekstil fiberlerinin veya filamentlerinin tek bir tanesi için kullanılan genel terim. İplik aşağıdaki şekillerde bulunmaktadır:

- Bir dizi beraberce bükülen lifler (eğirilmiş iplik).
- Bir dizi bükülmeden serilen lifler (bükümsüz iplik).
- Belirli büküm derecesiyle birlikte serilen bir dizi filament.
- Bükümlü ya da bükümsüz tek bir filament (monofilament).
- Tekstil yapısında kullanımı amaçlanan bükümlü ya da bükümsüz, örnek olarak kağıt, metal folyonun plastik filmi gibi malzemenin çok dar şeridi.

Tex : Doğrusal yoğunluğu ifade etmek için kullanılan birim. 1 km ipliğin, filamentin ya da lifin gram olarak ağırlığına eşittir.

Çözgü : Tüm dokuma kumaşlarda boyuna giden ve kumaş kenarına paralel olan iplik grubu.

Atkı : Dokuma kumaşta bir kenardan diğer kenara giden çözgü ipliğine dik olan iplik grubu.

Örgü : Bir ya da daha fazla iplik düğümlerinin birbirine bağlanan dizileriyle kumaş üretilmesi yöntemi. Örgünün iki ana sınıfı çözgü örgüsü ve atkı örgüsüdür.

- Atkı örgüsüne örnek trikot, raşel, milano örgüleridir.
- Çözgü örgüsüne örnek dairesel ve düz örgülerdir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Avni Can Karadeniz

Doğum Yeri ve Tarihi: Ordu / 02.12.1986

E-Posta: avni-can.karadeniz@arup.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi – 2009