

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TÜRDE KUMAŞ DONATILI ÇİMENTO ESASLI
KOMPOZİTLERİN EĞİLME PERFORMANSLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Reşat ÇELİK
(501091159)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2011**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Bekir Y. PEKMEZCİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Hakan N. ATAHAN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR (YTÜ)**

OCAK 2011

Sevgili annem, babam ve kardeşime,

ÖNSÖZ

Okul hayatım boyunca her zaman yanımda olan, başta annem ve babam, İfaze ve Ali ÇELİK, kardeşim Nihal ÇELİK olmak üzere yüksek öğrenim sırasında benden desteğini eksik etmeyen aileme,

Tez çalışmalarımda bilgi ve birikimlerini benimle paylaşıp çoğu zaman beni olası hatalara düşmeden uyaran ve her zaman uyarılarında haklı çıkan değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ'ye, kumaş malzemeler konusunda görüşlerine gerek duyduğumda her zaman aynı ilgiyi gösteren Yrd. Doç. Dr. Burçak Karagüzel KAYAOĞLU'na, deneysel çalışmalar sırasında bana yardımcı olan İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvar'ı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2010

Reşat ÇELİK
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
2.1 Liflerin Beton Takviyesinde Kullanımı	8
2.1.1 Polipropilen (PP) lif donatılı betonların genel özellikleri.....	10
2.1.2 Cam elyaf (GF) lif donatılı betonların genel özellikleri	11
2.2 Tekstil Donatılı Betonlar	13
2.2.1 Kumaşların üretimi	17
2.2.2 Tekstil–beton kompozit üretimi	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	25
3.1.1 Çimento	25
3.1.2 Agrega	26
3.1.3 Kimyasal katkı	26
3.1.4 Cam iplik.....	26
3.1.5 Cam file kumaş	27
3.1.6 Nonwoven PET kumaş.....	27
3.1.7 Poliüretan kumaş.....	28
3.1.8 Polyester keçe kumaş	28
3.1.9 Karışım suyu	29
3.2 Karışımlar Ve Numune Kodları	29
3.3 Numunelerin Üretilmesi Ve Kür Koşulları	31
3.3.1 Kumaş donatıların hazırlanması.....	31
3.3.2 Numunelerin üretilmesi.....	32
3.3.3 Kür koşulları	34
3.4 Matris Ve Donatılar Üzerinde Yapılan Deneyler.....	34
3.4.1 Matris üzerinde basınç deneyi.....	35
3.4.2 Donatılar üzerinde çekme deneyi.....	35
3.5 Kompozit Malzeme Deneyleri	36
3.5.1 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisi hesabı	36
4. DENEY SONUÇLARI.....	39
4.1 Matris Ve Donatılar Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları.....	39
4.1.1 Matris üzerinde basınç deneyi sonuçları	39
4.1.2 Donatılar üzerinde çekme deneyi sonuçları	39
4.2 Kompozit Malzeme Deney Sonuçları	40
4.2.1 Eğilme deneyi sonuçları	40

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	43
6. GENEL SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR.....	57
EKLER.....	61

KISALTMALAR

PET	: Polyester Kumaş
ARG	: Alkali Dirençli Cam Fiber
FRC	: Fiber Donatılı Beton
GF	: Cam Elyaf
PP	: Polipropilen
PE	: Polietilen
PVA	: Polivinil Alkol
PAN	: Poliakrilo Nitrit

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Değişik türdeki liflere ait mekanik ve fiziksel özellikler.	8
Çizelge 2.2 : Bazı cam liflerinin mekanik ve fiziksel özellikleri	12
Çizelge 2.3 : Tek bir dokunmamış iplik ile kumaştaki ipliğin aderans karakterleri..	16
Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri	25
Çizelge 3.2 : Çimentonun kimyasal bileşimi	26
Çizelge 3.3 : Süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri.	26
Çizelge 3.4 : Kumaş birim ağırlıkları.	28
Çizelge 3.5 : Karışım oranları.....	29
Çizelge 3.6 : Numune kodları.....	30
Çizelge 3.7 : Kompozit numune türleri.	30
Çizelge 4.1 : Basınç deneyi sonuçları.....	39
Çizelge 4.2 : Kumaş çekme dayanımları.	39
Çizelge 4.3 : Kompozit malzeme ve matris eğilme deneyi sonuçları.....	40

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Fiber donatılı kompozit türleri	2
Şekil 1.2 : Çelik kalıp sistemi	3
Şekil 1.3 : Laboratuvarıda üretilen 3 boyutlu PET (polyester) nonwoven kumaş.....	3
Şekil 2.1 : Çimento matris içindeki çatlak ucunda fiber performansı	6
Şekil 2.2 : Yüksek performanslı filament ipliklerinin mekanik özellikleri	6
Şekil 2.3 : İpliğin elastisite modülünün çimento matris ile aderansa etkisi	7
Şekil 2.4 : PVA lifli çimento esaslı kompozitte eksenel çekme altında birçok küçük çatlak oluşumu	10
Şekil 2.5 : İplik yapılar: a) filament ipliği, b) iplik demeti, c) multifilament iplik....	13
Şekil 2.6 : Dokunmuş kumaş ile PP ipliğin pull-out performansları	14
Şekil 2.7 : Kumaş takviyeli çimentolu kompozitlerde çatlak sapması	15
Şekil 2.8 : Betondaki uygulamalarda kullanılan yaygın takviye ürünleri	18
Şekil 2.9 : Çeşitli kumaş yapıları: a) atkı ekli örme, b) kısa atkı örme, c) dokuma ..	18
Şekil 2.10 : Ek sabitlemenin eğilme mukavemetine etkisi.	19
Şekil 2.11 : Nonwoven web (tülbent) yapısı (sol), kalenderleme yöntemiyle bağlanmış nonwoven yapısı (sağ).. ..	21
Şekil 2.12 : Pultrüzyon işlemindeki çeşitli aşamalar	22
Şekil 2.13 : Pultrüzyon işleminin şematik gösterimi	23
Şekil 3.1 : Bezayağı cam kumaş	27
Şekil 3.2 : Cam file kumaş.....	27
Şekil 3.3 : İşlenmiş haldeki nonwoven PET kumaş	27
Şekil 3.4 : Poliüretan kumaşlar: a) büyük boşluklu, b) küçük boşluklu.....	28
Şekil 3.5 : Polyester keçe kumaş.. ..	28
Şekil 3.6 : Kalıp sistemi.....	31
Şekil 3.7 : Bezayağı dokuma temsili resmi.	31
Şekil 3.8 : Hibrid kumaş sabitlemesi.	32
Şekil 3.9 : Pleksiglas döküm kalıbı	32
Şekil 3.10 : Bezayağı cam kumaş donatılı kompozit dökümü.....	33
Şekil 3.11 : PET kumaş donatılı kompozit dökümü: a) ilk, b) ikinci sıra kumaş.....	33
Şekil 3.12 : Hibrid donatıya çimento hamuru emdirilmesi.....	34
Şekil 3.13 : Kalıptan çıkarılan numuneler ve kodlanması	34
Şekil 3.14 : Basınç deneyi numuneleri: a) Çelik kalıp, b) Çıkarılan numuneler	35
Şekil 3.15 : Basınç deneyi ve uygulaması	35
Şekil 3.16 : Çekme deneyi kurulumu: a) PET kumaş ve çeneler, b) Lif ve makara..	36
Şekil 3.17 : Eğilme deneyi kurulumu: a) Sistem düzeneği, b) Temsili mesnetler.....	37
Şekil 4.1 : Donatı malzemelerinin çekme dayanımları.....	40
Şekil 4.2 : Max. 250 µ boyutunda agrega içeren numunelerin gerilme-sehim grafiği.	41
Şekil 5.1 : Matris birleşiminin eğilme dayanımına etkisi	44
Şekil 5.2 : Aynı matriste PET geometrisi-eğilme dayanımı.	45
Şekil 5.3 : Donatı miktarının eğilme davranışına etkisi	45
Şekil 5.4 : Nonwoven donatısının boşluklu yivleri	46

Şekil 5.5 : Cam file kumaş-çimento matris aderansı	46
Şekil 5.6 : Eğilme davranışı karşılaştırması: a) Bezayağı cam kumaş, b) Cam file kumaş, c) Cam hibrid kumaş	48
Şekil 5.7 : Agregasız matris-cam file kumaş malzemenin göçme mekanizması	48
Şekil 5.8 : Kırılma mekanizması: a) OA, b) AB, c) BC, d) CD arası, e) E sonrası ...	49
Şekil 5.9 : Hibrid efektiflik katsayısı	50
Şekil 5.10 : 2FPS000 eğilme davranışı	50
Şekil 5.11 : Çimento esaslı kompozitlerin kırılma enerjileri	51
Şekil 5.12 : Çimento esaslı kompozitlerin eğilme dayanımları	52
Şekil 5.13 : Poliüretan kumaş içerisinde kalan boşluklar	52
Şekil 5.14 : Max. Agregat boyutu-kırılma enerjisi ilişkisi	53
Şekil B.1 : Kalender silindirleri	64
Şekil B.2 : Silindir deseni tipleri	64
Şekil C.1 : Cam fiber üretim işleminin şematik temsili	65
Şekil D.1 : Selüloz zincirlerinden fibere keten ipliğinin hiyerarşik mikroyapısı	66
Şekil E.1 : Örülmüş yapılar: a) düz, b) interlok, c) 1*1 rib, d) milano örgü	66

FARKLI TÜRDE KUMAŞ DONATILI ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN EĞİLME PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Son yıllarda çimento esaslı kompozitlerin takviyesinde çelik fiberlere alternatif olan tekstil kumaşlar, çelik donatıdan bazı üstün özellikleri sebebiyle büyüyen bir ilgi alanı haline gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı mevcut tekstil donatılı kompozitlerle aynı ya da onlardan daha iyi özelliklere sahip ancak daha ekonomik kompozit malzemeler üretmektir. Bu amaçla donatı olarak farklı türde kumaş içeren çimento esaslı kompozitlerin eğilme performansları karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında önce donatı olarak kullanılacak olan kumaşlar üretilmiştir. Nonwoven PET kumaşların üç boyutlu hale getirilmesi için kalıplama tekniği kullanılmıştır. Bu işlemde 150 °C sıcaklığındaki kalıba yerleştirilen kumaş, uygulanan 20 kN basınç sayesinde şekil değiştirmeye zorlanmıştır. Numunenin sabit basınç ve sıcaklık altındaki şartlara maruz kalma süresi ayarlanarak ise istenilen kıvrım derinlik değerine ulaşılmıştır. İki farklı kumaş içeren hibrid donatılar hazırlanırken sabitleme amacıyla kumaşlar birbirine dikilmiştir. Bezayağı cam kumaş yapısındaki iplikler 1 cm’de 3 adet bulunacak şekilde yerleştirilerek ağ yapı oluşturulmuştur. Çalışmada üç farklı matris kullanılmıştır. Bir matris sadece çimento hamuru, diğeri max. 250 mikron boyutunda agrega, sonuncusu max. 500 mikron boyutunda agrega içermektedir. Matrislerin üretiminde ise CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Donatı olarak keçe kumaş içeren kompozitler üretilirken matrisin keçe kumaşa daha iyi nüfuz edebilmesi için merdane yardımıyla emdirme işleminden yararlanılmıştır. Her farklı kompozit numuneden 5 adet üretilmiştir. Elde edilen kompozitler 21 gün laboratuvar ortamında kürlendikten sonra sertleşmiş numune üzerinde; kompozitin ve matrisin eğilme davranışını belirlemek amacıyla dört noktalı eğilme deneyi, matrisin basınç dayanımını belirlemek için basınç deneyi, kumaş donatıların çekme mukavemetinin tespiti için çekme deneyi yapılmıştır. Eğilme deneyinde yükleme hızı 0,8 mm dakika/sehim’dir ve yük, max. yük değerinin % 30’una geldiğinde deney sonlanmıştır. Sonuçlar, matris içerisinde nonwoven PET kumaş bulunmasının kompozitin eğilme yükü taşıma kapasitesine belirgin bir katkısı olmadığını göstermiştir. Bu sonuç PET kumaşın zayıf çekme dayanımına sahip olması ile ilişkilendirilebilir. Kompozit içerisinde hibrid donatı bulunması sayesinde malzemeler daha etkin kullanılmış bunun sonucunda daha ekonomik ürünler elde edilebileceği görülmüştür. En iyi eğilme performansını yüksek çekme mukavemetine sahip cam kumaş içeren numuneler göstermiştir. Kompozitlerin eğilme davranışında matris-donatı arasındaki aderansın önemli rol oynadığı görülmüştür nonwoven PET bulunan numunelerde matrix-donatı aderansının zayıf olmasının düşük eğilme performansının sebeplerinden biri olduğu düşünülmektedir.

COMPARING OF FLEXURAL PERFORMANCE OF DIFFERENT TYPE FABRIC REINFORCED COMPOSITES

SUMMARY

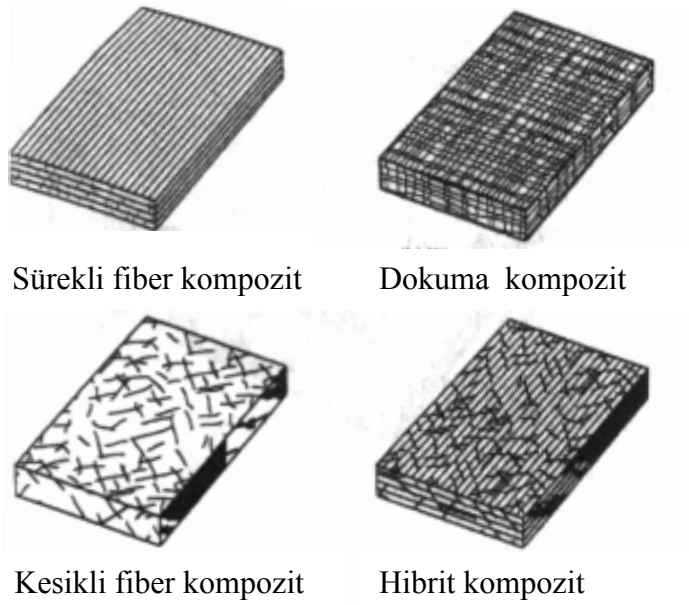
The textile fabrics, which are good alternative to steel fibers for reinforcement of cement based composites, become an area of growing interest in recent years due to their superior properties.

The main aim of this work is to produce composite materials whose properties are not only equal or higher performance but also cheaper than existing textile reinforced composites. For this purpose, flexural behavior of composites, which have different fabric types as reinforcement, were compared. Firstly, nonwoven fabric reinforcements were produced within the scope of the work. Besides, 3 dimensional form of nonwoven fabrics were produced with special mold. On this process, the fabric placed in the heated mold up 150 °C were subjected to 20 kN compression force and deformed by means of this load. The time passed from start and to removal of the force is determin the desired crimp thickness of nonwoven. During the producing of two different fabric including hybrid reinforcements, fabrics were stitched up each other for fixing. The yarns in the structure of plain weave glass fabric were placed three of them every centimeter along warp and weft direction, and the mesh structure were obtained by means of this alignment. Therefore, three different matrix types were used to produce composite specimens. The first matrix were made from only cement paste and there are one type aggregate for other composites. The second matrix has max. 250 micron grain size and the last one has max. 500 micron grain size. The CEM I 42,5 R Portland cement were used for production of matrix. In the production of felt fabric reinforcement involved specimens, the rolling press were carried out to attain good matrix penetration. After 21 days curing in the laboratory, mechanical properties of matrix and composite materials were investigated on hardened specimens. The four point bending test were applied on the matrix and composites to determine flexural behavior. In addition to this, matrix cubes were produced and were undergone to compression for calculating the compressive strength of each matrix. Furthermore, the fabric reinforcements were subjected to the tensile load for determining their tensile strength. The load speed in bending test were 0,8 mm minute/deflection and the test were ended when the value of the load were % 30 of max. load. Results have shown that the inclusion of nonwoven PET fabrics into the matrix has not significant contribution to the flexural load bearing capacity of the composite. This result can be attributed to the low tensile strength capacity of this material. Moreover, it is observed that more economic composites could be produced using fabrics reinforcements more effective by means of hybrid structures. It is also observed that the glass fabric involved high tensile strength glass fibers have shown best flexural performance. In addition to this, it is observed that the bonding strength between matrix and reinforcement played a significant role in flexural behavior of composites. This can be a reason for low bending strength of nonwoven PET reinforced composites.

1.GİRİŞ

Özel biçimdeki 1 cm civarında et kalınlığına sahip ince cidarlı çimento esaslı kompozit malzemelerin üretilmesinde takviye elemanı olarak geleneksel çelik donatıların kullanılması, donatı korozyonuna imkan vermeyecek kalınlıkta bir beton tabakası ile örtülememesinden dolayı pratik açıdan mümkün değildir. Bu sorunun üstesinden gelmek için geliştirilen tekstil donatılı beton teknolojisi, günümüzdeki tekstil teknolojisi kullanılarak genellikle cam ve karbon liflerden üretilmiş olan woven (dokuma) kumaşların kullanılmasıyla şekillenmeye devam etmektedir. Söz konusu liflerin farklı örme ve dokuma teknikleri sayesinde çeşitli kumaş türleri üretilip donatı görevi ile beton içinde kullanılmaktadır.

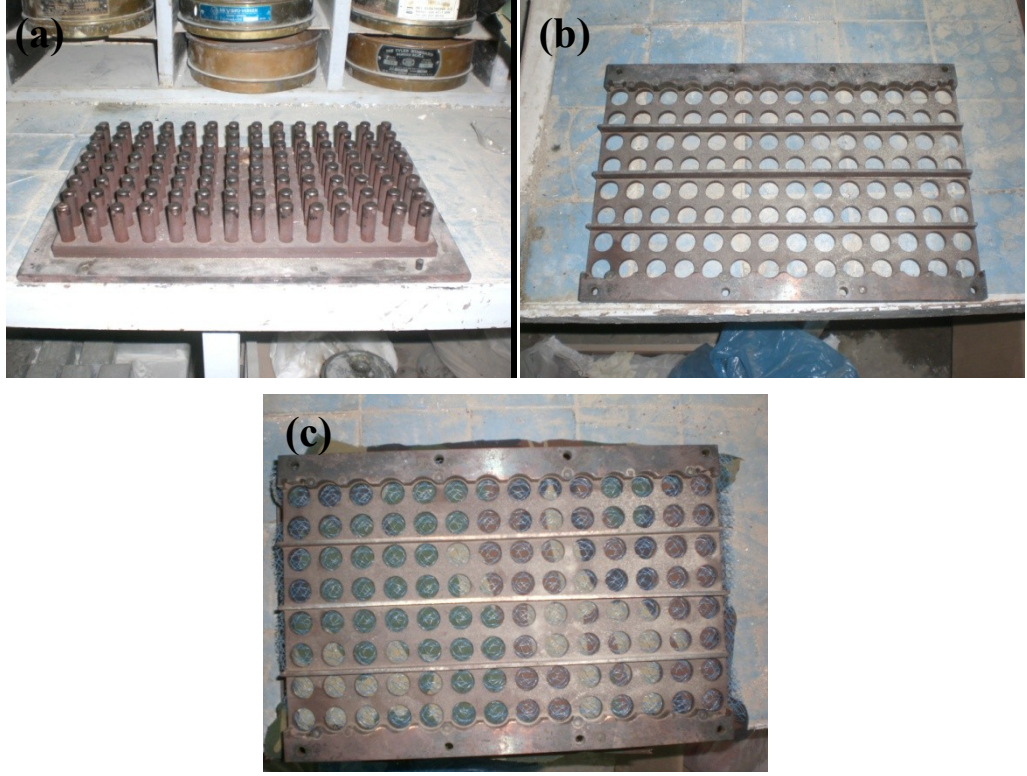
Malzeme kullanımına göre fiberleri farklı yönlerde yerleştirme ihtiyacı Şekil 1.1’de görüldüğü gibi çeşitli türde kompozitler üretilmesine neden olmuştur. İnce cidarlı çimento esaslı malzemeler ise tekstil donatılı betonlar kullanılmadan önce sadece cam, polimer ve çelik temelli kesilmiş liflerle üretilmekteydi. Kumaş formunun sürekli bir donatı olması ve istenen doğrultuda yönlendirilmiş olarak kullanılabilmesi tekstil donatılı ince cidarlı malzemelerin kesilmiş liflerle üretilmiş malzemelere göre oldukça büyük bir avantaja sahip olmasını sağlamıştır. Ancak getirdiği avantajın yanında ek işlemler (örme ve dokuma vb.) işlemler nedeniyle oluşan ek mali yükler ve üretim aşamasında karşılaşılan bazı problemler tekstil donatılı betonların pratikte çok yaygın hale gelmesinin önünde bir engel olarak görülmektedir.



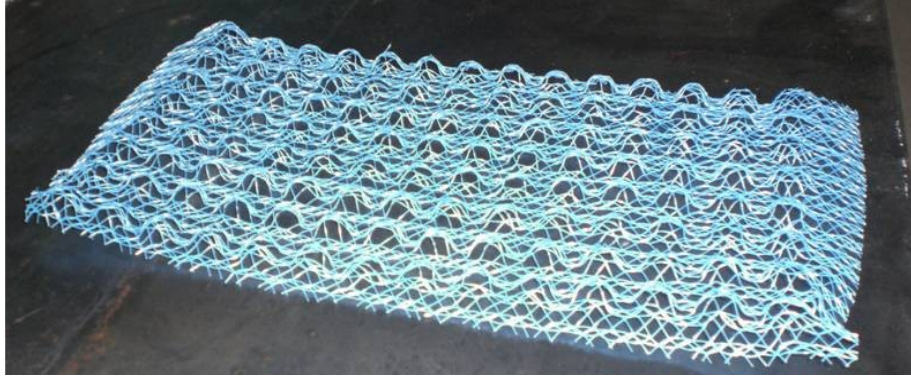
Şekil 1.1 : Fiber donatılı kompozit türleri [1].

Bu çalışma kapsamında; literatürde yaygın olarak bilinen dokunmuş cam kumaştan imal edilen farklı türde kumaş içeren tekstil donatılı betonların eğilme performansları karşılaştırılmıştır. Bunun yanında PET (polyester) esaslı nonwoven kumaş kullanılarak yeni nesil ince cidarlı betonlar geliştirilmiştir. Üretilen nonwoven kumaşların ince cidarlı çimento esaslı malzeme özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve yeni nesil tekstil donatılı betonun fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Çalışma sırasında cam lifler kullanılarak dokunmuş kumaşlarla, mevcut özel teknolojiyle üretilmekte olan tekstil ve hibrid tekstil donatılı betonlar da üretilmiş ve bu betonlar üzerinde yapılan deneylerle var olan teknolojideki malzeme performansı elde edilmiştir. Kalıplama tekniği ile nonwoven kumaşa üç boyutlu bir yapı kazandırılarak sürtünme yüzeyi, kumaş-matris etkileşim alanı artırılarak, mekanik performansın iyileştirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla üretimi Amerika’da yapılan çelik kalıp İTÜ’ye gönderilerek yine ABD NCRC’de üretilen nonwoven kumaşlara 3 boyutlu yapı kazandırılması işlemi İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.2 ve Şekil 1.3’te sırasıyla kullanılan çelik kalıp ve üretilen 3 boyutlu PET nonwoven kumaş gösterilmektedir.



Şekil 1.2 : Çelik kalıp sistemi: a) şekil verici dişler, b) diş yuvaları, c) kalıp-kumaş.



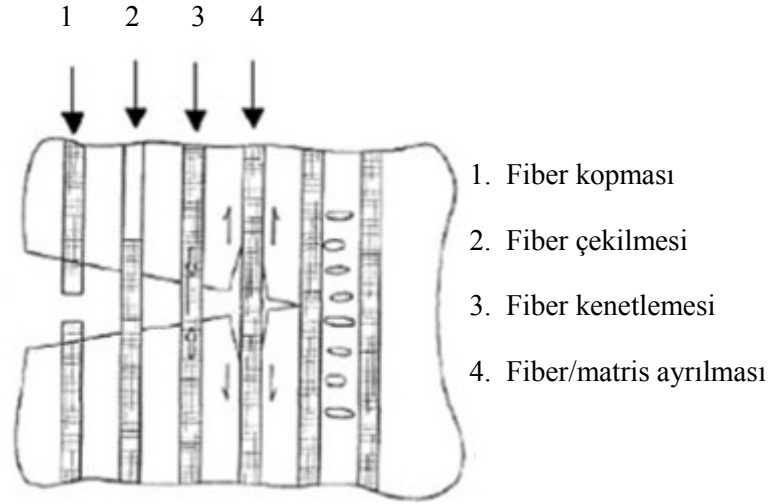
Şekil 1.3 : Laboratuvarıda üretilen 3 boyutlu PET (polyester) nonwoven kumaş.

İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda 3 boyutlu yapı kazanan kumaşlar üç farklı matris karışımında kullanılarak kompozit malzemeler üretilmiş ve ürünlerin mekanik performansları elde edilmiştir. Sonuç olarak mevcut teknolojiyle cam ve diğer kumaşlarla üretilmekte olan tekstil donatılı betonların aynı veya daha yüksek performansa sahip olacak şekilde daha düşük maliyetle 3D kalıplanmış nonwoven kumaşlar kullanılarak elde edilip edilemeyeceğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

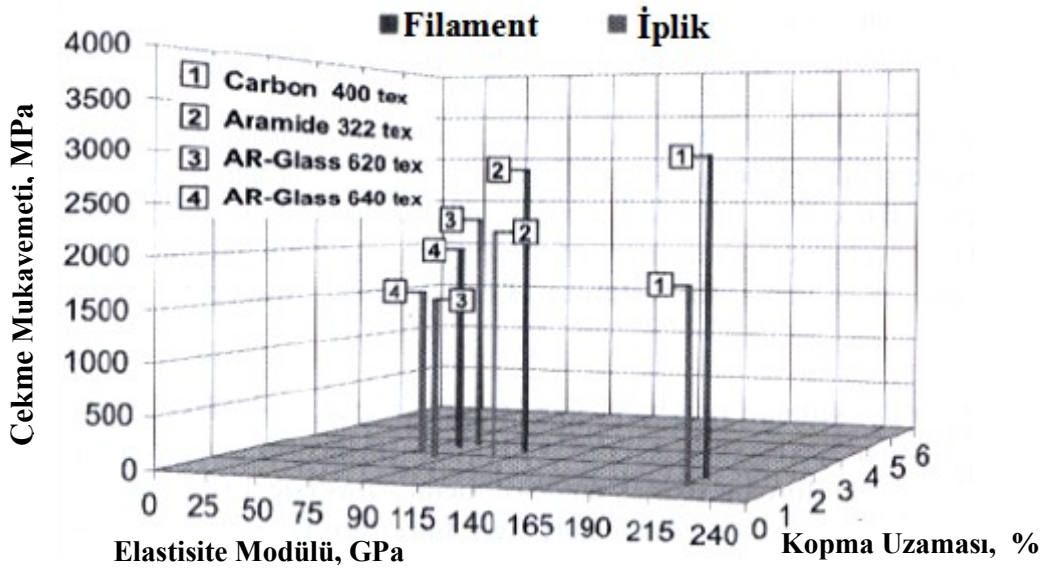
Çimento harcı, beton gibi çimento esaslı malzemeler yüksek basınç mukavemeti, düşük çekme dayanımı ve tokluk gibi doğal özelliklerinden dolayı donatı ile güçlendirilirler. Matris içersinde donatı olarak çelik çubuklar ya da fiberler (lifler) kullanılır. Fiberler, güçlendirilen kompozitin kalın cidarlı (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 [2-4]. Mühendislikte yaygın kullanım alanına sahip fiber takviyeli betonlar, binaların kaplanması, otoyol kaplamaları, köprüler ve hava alanı pistleri gibi birçok uygulamada yer alır [5].

Çimento esaslı kompozitlerde kullanılan farklı türdeki donatı malzemeleri kendi niteliklerine göre takviye görevi gördükleri elemanın mekanik özelliklerini etkiler. Bu özelliklerden en önemlileri ise, fiber takviyesinin ince boyuttaki çimento esaslı kompozitlerin tokluğunu, çekme ve eğilme mukavemetini arttırmasıdır [2-4]. Yapısal görevli donatı elemanları, kısa fiberler, sürekli takviye elemanları (iplik, fitil) ya da kumaş biçiminde olabilir. Kısa fiberler mikro çatlaklar üzerinde köprü görevi görerek kompozitin eğilme mukavemetinin artmasına neden olurken kırılma sonrası davranışta etkileri çok küçüktür. Ancak uzun fiberler kırılma sonrasındaki süreçte etkin hale gelerek yüksek kırılma enerjisi elde ederler [6,7]. Takviye olarak kullanılan polimerik fiberler yaygınlık, kimyasal dayanım, kolay şekil alabilme gibi üstünlüklerinin yanında çimento esaslı kompozitlerin eğilme/çekme özelliklerini iyileştirebilir, mikro çatlaklar üzerinde köprü kurarak çatlak oluşumunu ve yayılmasını önler, enerji emilimini ve sünekliği geliştirirler [8]. Şekil 2.1’de çimento matrisinde donatı görevini yerine getiren fiberin çatlak ucundaki yapabileceği farklı davranışlar gösterilmiştir.

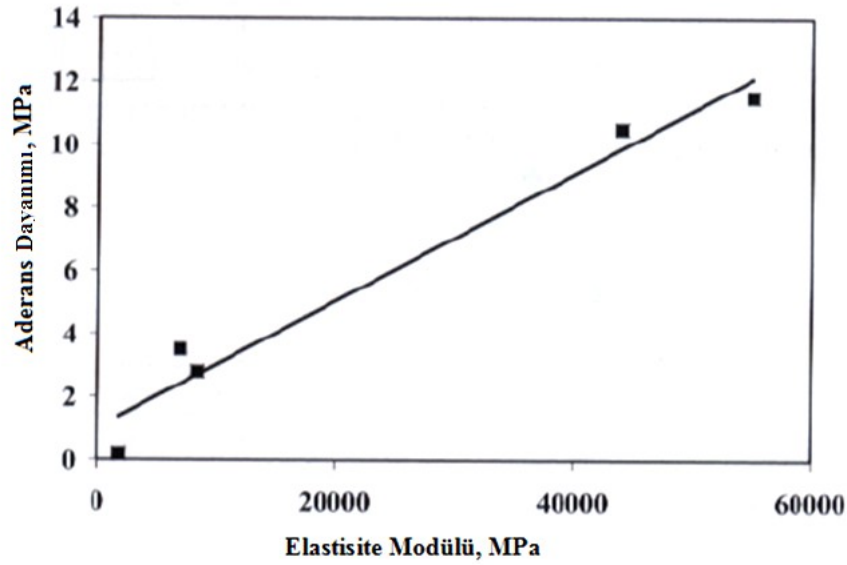


Şekil 2.1 : Çimento matris içindeki çatlak ucunda fiber performansı [9].

Yapısal donatı görevindeki elemanların birtakım arzu edilen mühendislik özelliklerini göstermesi gereklidir. Etkin takviye yapılabilmesi için fiberin yüksek kopma uzamasına ve mukavemete sahip olmasının yanı sıra elastisite modülü değerinin beton matris'ten daha büyük olması gereklidir. Aksi halde oluşan çatlaklar kompozitin rijitliğinde belirgin düşüşe neden olur [10]. Şekil 2.2'de donatı olarak kullanılan bazı fiberlerin mekanik özellikleri gösterilmektedir. Şekil 2.3'de ise takviye elemanının sahip olduğu elastisite modülünün çimento matris ile aderans kuvvetine etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Yüksek performanslı filament ipliklerinin mekanik özellikleri [10].



Şekil 2.3 : İpliğin elastisite modülünün çimento matris ile aderansa etkisi [11].

Kompozit malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen faktörlerden biri de donatının matris içerisindeki hacmidir. Kısa fiberlerin küçük miktarının (genellikle hacimce 0,5-2%) karışım sırasında beton karışımına katılması betonun tokluğunu geliştirmek için etkili bir yoldur [5]. Fiber takviyeli polimer matrislerde, matris genellikle fiber çekme mukavemetine ulaşmadan çok önce kırılır. Fiber takviyeli betonun (FRC) kırılma sürecinde, matris çatladıktan sonra fiber takviyesi etkin hale gelir böylece fiberler çatlaklar üzerinde köprü kurup, sökülmeden ya da kopmadan önce çatlak oluşumuna ve açılmasına karşı direnç sağlar. Eğer fiberlerin hacim içeriği yeterince büyükse (yaklaşık 1-3%) matris çatladıktan sonra üzerlerine etkiyen ek yükü de taşıyabilirler [4,5].

Üretilcek kompozit malzemenin mekanik özellikleri donatı elemanın sahip olduğu fiziksel özelliklere bağlıdır. Fiber malzemesinin, yüzeyi, kesit alanı ve matris içerisindeki dağılımı performansı etkiler [8]. Dolayısıyla tekstil takviyeli çimentolu kompozitlerin kırılma davranışını multifilament iplik inceliği ve filamentlerin dağılımı, çimento matrisi içindeki tekstil kumaşının dağılımı, fiber-matris ara yüzünde gelişen bağ (adezyon, sürtünme nedenli veya mekanik bağ vb.) gibi birçok değişken etkilemektedir [4,8,12].

Filamentler arasındaki tutunma kuvvetleri ve diğer yüzey özellikleri çimento hamurunun vizkoz, katı çözeltisinin iç filamentlere nüfuz etmesini engelleyebilir. Malzemenin yük taşıma kapasitesine daha az katkısı bulunan söz konusu iç filamentlere yük transferi sadece filamentler arasındaki sürtünmeden etkilenir [13].

2.1 Liflerin Beton Takviyesinde Kullanımı

Donatı olarak kullanılan fiberler (lifler) bu malzemelerin en gelişmiş halidir. Dayanımları ve elastisite modülleri genellikle aynı malzemenin büyük hacimli biçimine göre çok büyüktür. Farklı özellikleri ve kullanım alanları bakımından birçok lif türü vardır [14]. Değişik türdeki liflere ait fiziksel özellikler Çizelge 2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2.1 : Değişik türdeki liflere ait mekanik ve fiziksel özellikler [14,15].

Lif cinsi	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (10^3 , MPa)	Maksimum uzama (%)	Özgül ağırlık (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 Polietilen	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

Lif donatılı betonlar, günümüzde endüstriyel döşemeler, su yapıları, tüneller, köprüler, patlamaya dayanıklı askeri yapılar, uçak pistleri, beton borular ve ön dökümlü beton elemanlar gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır [16].

Türkiye’de lifli beton aktif olarak asbestli çimento olarak güncel yaşamımıza girmiştir. Asbestin kanserojen olması sebebiyle asbestli çimento çok hızlı bir şekilde yerini alternatif liflerle donatılandırılmış çimento ya da çimento karışımlarına bırakmıştır [17].

Liflerle donatılı harç ve betonların üretiminde genelde üç temel yöntem kullanılmaktadır. Bunlar ön karıştırma, püskürtme ve fitil veya örgü elyaf kullanma yöntemleridir. Ön karışım yapılması halinde, kompozit içinde lifler serbest ve üç boyutta olmak üzere gelişigüzel dağılmaktadır. Püskürtme yönteminde ise matrise püskürtülen lifler, kesitte düzlemde dağılı olarak yer almaktadır. Fitil ve örgü lif kullanılması halinde ise, donatı bir yönde ve sürekli olmaktadır [18].

Rastgele dağıtılan kısa liflerle donatılandırılmış çimento hamuru ya da beton karışımları, normal betondan farklı olarak, sadece çimento, kum, su, lifler ve çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak imal edilirler. Bu tür betonların iki türlü uygulaması vardır: 1) kısa lifler rastgele çimento hamurunun içine karıştırılır, agrega, kum gibi betonu oluşturan malzemelerden biri olarak kullanılır ve bununla oluşturulan yapı elemanı geleneksel olarak donatılandırılır, 2) rastgele beton içine karıştırılmış lifler doğrudan donatı olarak kullanılır, başka bir donatı kullanılmaz [17].

Çimento esaslı kompozitler, plastik şekil değiştirme esnasında eşsiz bir özellik gösterirler, birçok küçük çatlak oluşması ile tek bir çatlağın genişlemesi kontrol edilmiş olur. İlk çatlak oluşumundan sonra yük taşıma kapasitesi şekil değiştirmenin devam etmesine rağmen hâlâ artmaktadır [19]. 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 gerek 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, gerilme enerjisi tekrar betona aktarılacak, çatlak bir sonraki lifle karşılaşınca 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 oluşuktan sonra normal beton derhal kırıldığı, ancak lifli beton yük almaya devam ettiği, hatta eğilme dayanımının arttığı görülecektir [17]. Şekil 2.4'te kesikli PVA lif donatılı numune üzerinde yukarıda izah edilen paralel çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : PVA lifli çimento esaslı kompozitte eksenel çekme altında birçok küçük çatlak oluşumu [20].

Çimento esaslı kompozitlerde geleneksel çelik fibere alternatif donatı malzemeleri kullanılmaktadır. Cam, karbon, aramid gibi metal olmayan, yüksek performanslı fiberler genellikle çelik donatı kullanımında karşılaşılan korozyon problemi olmadan betonda kullanılırlar. Artan durabilite sayesinde ekonomik, ince, hafif elemanlar üretilebilir [21,22]. Fiberin, elde edilen kompozitin çekme direncini artırması sayesinde sertleşme ve hidrasyon esnasındaki rötre çatlakları azalır, yorulma performansı, yıpranma direnci ve durabilite artar [5].

Çimento esaslı malzemelerin takviyesinde farklı özelliklerde fiber çeşitleri kullanılır. Genellikle cam, karbon, aramid ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE-Dynima, Spectra) gibi yüksek mukavemetli fiberler kompozitin mukavemetini ve tokluğunu artırır, pekleşme davranışı sağlar. Polipropilen (PP) ve Polietilen (PE) gibi düşük modüle sahip fiber takviyeleri çimento kompozitin sünekliğini artırır. Ancak “Strain Softening” ya da elastik-plastik davranışla sonuçlanan mukavemeti arttırmaz [4]. Polivinil alkol (PVA) fiberler çimentoya benzer su emici özelliklere sahip olduğu için çimento matrisiyle iyi bağlanma geliştirir. PP ve PE fiberler su geçirmeyen karakterlere ve çimento matris ile zayıf bağa sahip olmasına rağmen matris’in alkali çevresine (yaklaşık 12,5 pH) yüksek direnci ve düşük maliyetlerinden dolayı çimento matrislerin takviyesi için caziptirler [4,23].

2.1.1 Polipropilen (PP) lif donatılı betonların genel özellikleri

Beton ve harçların donatılmasında kullanılan en yaygın yapay lif türü olan polipropilen lifler, ilk kez 1965 yılında, A.B.D.’nde patlamaya karşı dayanıklı askeri yapıların inşasında kullanılmıştır. Polipropilen lifler oldukça yüksek dayanımları, betonun alkali ortamına çok iyi direnç göstermeleri ve düşük maliyetleri nedeniyle

önemli bir donatı malzemesi olma özeliği taşımaktadır. Günümüzde, polipropilen lifler, betona hacimce % 0,1 gibi oldukça düşük oranlarda katılmakta ve öncelikli olarak rötire çatlaklarının engellenmesi amacıyla kullanılmaktadır [16,24]. Ayrıca bu faydasının yanında betonun yangına karşı dayanımını arttırdığı da bilinmektedir [24].

Polipropilen yüzeyinin su tutmama özeliği sayesinde, lifler çimento bağlayıcı matris malzemesinin içinde ıslanarak topaklanmamaktadır [18]. PP lif donatılı betonların işlenebilirlik özellikleri ile ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalar, polipropilen liflerin, hacimce % 2' ye varan miktarlarda, taze betonun işlenebilirlik özelliklerinde herhangi bir problemle karşılaşmadan kullanılabileceğini göstermiştir. Polipropilen liflerin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisiyle ilgili olarak, bilim adamları arasında henüz kesin bir görüş birliğine varılamamış olsa da, polipropilen lif donatılı betonların basınç etkisi altındaki göçme mekanizmalarının ve göçme şekillerinin çok daha sünek bir karakter sergilediği kabul edilen bir gerçektir [16].

2.1.2 Cam elyaf (GF) lif donatılı betonların genel özellikleri

Cam lifler; sertlik, korozyona dayanıklılık ve diğer malzemelerle fazla tepkimeye girmeme gibi tipik cam özelliklerini sergiler. Ayrıca, esnek, hafif ve pahalı olmayan bir malzemedir. Bu özellikler, cam liflerini düşük maliyetli endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen lif tipi yapmaktadır. Cam lifler yüksek dayanıma sahip olduklarından, lif yüzeyinde oluşan kusurlar hem sayıca az, hem de boyut olarak küçüktür. En önemli cam türleri:

E-cam : 2 %'den daha düşük alkali içeriğine sahiptir. Genel amaçlı yapısal uygulamalarda ve inşaat endüstrisinde kullanılır.

S-cam : E-cam'dan daha güçlü ve rijittir. Korozyon direnci daha fazladır.

AR-cam : Alkali etkisine dayanıklı camdır. Cam fiber takviyeli çimento kompozitlerde kullanılır [25].

Cam liflerin özellikle E tipi, beton ve çimento gibi alkali içeren ortamlarda kullanılması zamanla korozyona neden olabilir, bu yüzden cam liflerin bu uygulamalarda kullanılması istenmez. Alkali etkisine dirençli nitelikteki cam liflerinin üretilmesi, cam lifi donatı alanında bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bundan sonra, beton ve harçların donatılmasında, bu özel cam lifleri kullanılmaya başlamıştır. Bazı önemli cam liflerinin tipik özellikleri çizelge 2.2'de verilmiştir [14].

Çizelge 2.2 : Bazı cam liflerinin mekanik ve fiziksel özellikleri [14].

Cam lifi tipi	Özgül Ağırlık (gr/cm³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2,54	1,7-3,5	69-72
S	2,48	2,0-4,5	85
C	2,48	1,7-2,8	70
Alkaliye dayanıklı	2,70	1,7-3,8	80

Cam Lifi Donatılı Betonlar (Glass Fiber Reinforced Concrete), alkaliye dayanıklı özel cam lifiyle güçlendirilmiş; yüksek dozajda çimento, ince agrega ve katkı malzemelerinin karıştırılmasıyla oluşan kompozit malzemelerdir [26].

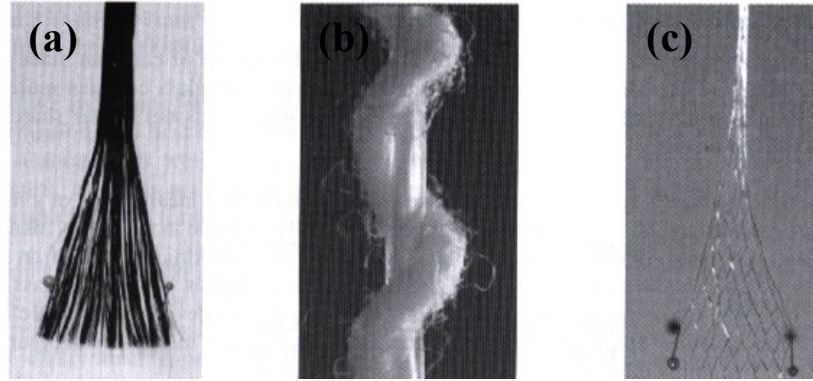
Cam lifi donatılı kompozitlerde lifler, malzemenin kırılma sırasında gevrek davranış göstermesini engellemektedir. Cam lifi içermeyen numuneler gevrek bir şekilde kırılırken, cam lifi içeren numuneler yüksek miktarda enerji yutarak, kontrollü ve uzun sürede kırılmaktadır. Bu özellik ile çimento esaslı malzemelerde karşılaşılan ve en önemli sorun olan gevrek davranış ortadan kalkar. Malzeme içerisindeki cam lifi miktarı arttıkça kırılma enerjisi, net eğilme dayanımı ve karakteristik boy büyük oranda artmaktadır [14].

Alkali dirençli cam fiberler (ARG), çimentolu matrisleri güçlendirmek için kullanılır [27]. Gao ve arkadaşları çimentolu malzemelerin takviyesinde kullanılan alkali dirençli cam fiberlerin durabilitesini iyileştirmek için “stiren bütadien” temelli nanometre ölçeğinde polimer yüzey kaplama uygulamasını araştırdılar ve kaplamanın; fiber çekme mukavemeti, çimento matris ile aderans kuvveti, kompozit malzemenin kırılma enerjisi üzerinde büyük etkisi olduğunu bildirdiler [28]. Scheffler ve arkadaşları çimentolu kompozitlerin güçlü alkali ortamına karşı durabiliteyi iyileştirmeyi hedefleyen, ARG’de ve karbon fiberlerde haşılama ve kaplama uygulamasını araştırdılar; haşılama ve uygun kaplamanın kompozitin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediğini, haşılamada nanotüplerin kullanılmasının fiberi çekme mukavemetine daha dayanıklı hale getirdiğini gözlemlediler [12].

Sun ve arkadaşları polipropilen (PP) fiberlerin basınç mukavemetini, tokluk, yarmada çekme dayanımı, durabilite gibi mekanik özellikleri arttırdığını bildirdiler [29]. Pakravan ve arkadaşları cam, PAN, polipropilen ve yüksek mukavemetli naylon 66 fiberlerinin performansını incelediler ve güçlendirme etkinliğinin fiber/matris ara yüzündeki yüzeyler arası temas alanına, fiberlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olduğunu bildirdiler [8].

Fiber takviyeli beton sistemlerde göçme mekanizması, fiber ve matris gevrek olduğu zaman ikisi arasındaki yüzey davranışına ve fitildeki filamentler arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Ayrıca göçme mekanizmasını, matris çatlaması, fiberdeki filamentlerin kayması, fiberlerin kırılması veya matris'ten ayrılması gibi parametreler de etkiler [22].

Çimentonun kumaşa iyi nüfuz etmesiyle aderansın artması için doğru fiber-matrix çiftinin seçilmesi esastır [23]. Fiberler çimento matrisine mekanik tutunmalarını sağlayan özel geometriye (kıvrımlı, bükülmüş, fibrillenmiş ya da gözenekli) sahiptir. Gözenekli yapılarda mekanik tutunma, çimento matrix'in söz konusu gözenekler arasından geçmesi ile sağlanır [4].



Şekil 2.5 : İplik yapıları: a) filament ipliği, b) iplik demeti, c) multifilament iplik [10].

2.2 Tekstil Donatılı Betonlar

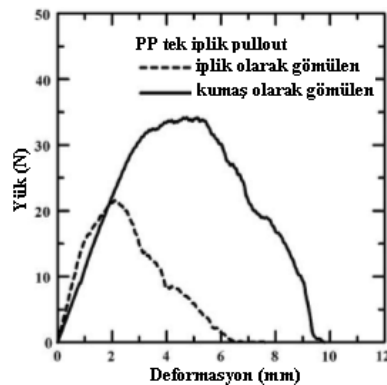
Çimentolu kompozitler için donatı türlerinden biri de tekstillerdir. Günümüzde kumaş takviyesi, kısa fiberler yerine bir alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kolay üretim, iyi mekanik aderans, çimento matris ile takviye malzemesi arasındaki tutunmanın artması gibi avantajlar sağlar [7]. Kesikli fiber takviyesinin sakıncası, fiberlerin kompozitin toplam kesit alanına kısmen düzensiz dağılması ve fiber efektifliğinde düşüşe neden olmasıdır. Diğer yandan tekstil takviyeli betonlarda lifli

malzemeden daha fazla yararlanmak amacıyla lifler, malzeme çekme kuvveti doğrultusunda yerleştirilebilmektedir [21].

Tekstil takviyeli çimento kompozitlerdeki çimento parçacıklarının, kumaş ve kumaşı oluşturan filament demetlerinin içindeki boşluklardan yeterli miktarda geçmesi gereklidir [23]. Çimento matrisin kumaştaki boşluklardan ve dokunmuş kumaşlarda iplikler arasından nüfuz etmesi çimento matris ile tutunmaya sebep olur, eğilme performansını artırır [30]. Matrix'in filamentler arasından yetersiz nüfuz etmesi filamentlerin güçlendirme potansiyelinin düşmesine neden olur [7].

Çimento esaslı kompozitlerde ana takviye malzemesi olarak kumaşların kullanımı, cam fiber takviyeli beton ve mühendislikteki çimentolu kompozitler gibi diğer farklı fiber takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında üstün çekme mukavemeti ve süneklik sağlar [31].

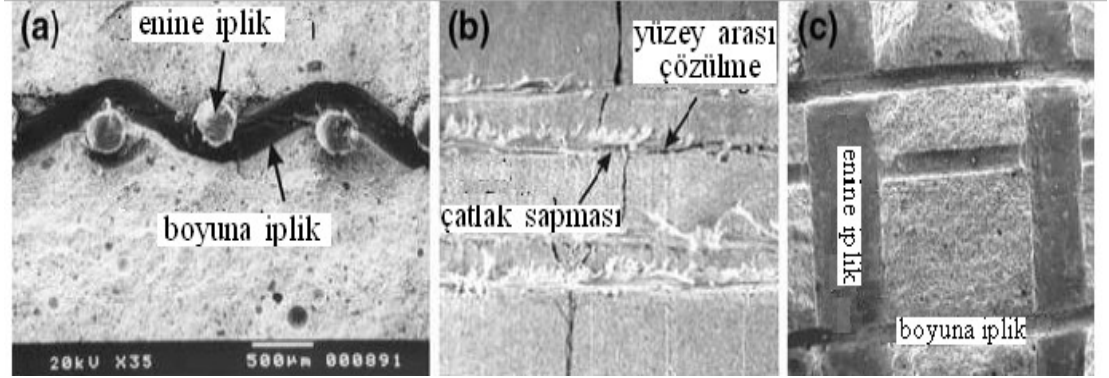
Soranakom ve arkadaşları tekstil kumaşların iki ve üç boyutlu yapılarının, bir boyutlu düz ya da kumaş içindeki atkı ve çözgü ipliklerinin bağlanmasına katkı sağlayan mekanik aderansın gelişiminde, biçimi bozulmuş fiberlere göre belirgin gelişme gösterdiklerini, ayrıca tek ipliğin çimento içine düz ve kumaş olarak gömüldüğü iki farklı durumda pull-out tepkisi karşılaştırıldığında (Şekil 2.6) kumaş kullanılan numunede kenetlenme ya da atkı ipliklerinin mekanik tutunma mekanizması sebebiyle davranışın pull-out mukavemetinde artışa neden olduğunu bildirdiler [31].



Şekil 2.6 : Dokunmuş kumaş ile PP ipliğin pull-out performansları [31].

Peled ve arkadaşları çeşitli tekstil kumaşı yapılarının (örülmüş ve dokunmuş, vb.) çimento kompozitlerinin mekanik performansı ve çimento matrisi ile aderansı üzerindeki etkilerini araştırdılar [4]. Kumaş ve ipliklerin özel geometrisinin çimento matrisi ile aderansta önemli etkisi vardır. Dokunmuş kumaş yapısı, atkı ve çözgü

iplikleri arasındaki iç bağlantılar sayesinde aderans kuvveti ile birlikte kompozitin mukavemetini önemli miktarda yükseltir. İpliğin kıvrımlı geometrisi kumaş biçiminde olmayan düz ipliğe göre mekanik tutunma ve sürtünme direnci sağlar [7,30]. Tekstil kumaşlarının yapısı çatlağın yayılma yolu üzerinde dolaylı bir yol yaratır böylece kompozitin mukavemetini ve sünekliğini geliştiren çatlak sapma sürecine katkıda bulunur [32]. Şekil 2.7’de SEM yardımı ile kumaş takviyeli kompozitlerdeki çatlak sapması gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Kumaş takviyeli çimentolu kompozitlerde çatlak sapması [31].

Peled ve arkadaşları kompozit performansında malzeme türünün etkisini araştırdıkları çalışmada; aramid ve HDPE’den yapılan kumaş takviyeli kompozitin mukavemet ve tokluk açısından en iyi çekme performansı gösterdiğini bildirdi. Cam kumaş kompozitler çimento matris ile iyi aderansa sahiptir; düşük şekil değiştirme değerlerinde artan performans gösterirler ama fazla sünek değildirler. Polipropilen kumaş çimento matrix ile kuvvetli aderansa sahip değildir, görece düşük performans sergiler. Hibrit kumaş donatılı kompozit içerisindeki aramid-PP iplik kombinasyonu sadece aramid bulunan kompozitinkine benzer özellik sergiler [23].

Peled ve arkadaşları çimentolu kompozitlerdeki hibrit kumaşların mekanik performansını araştırdılar. Sonuç olarak; PE ve cam fiber ile üretilen sandviç hibrit sistemli kompozitlerin, donatı olarak sadece PE ya da cam kumaş içeren malzemelerden daha fazla çekme kuvveti taşıdığını, kumaşların çeşidi malzemenin çekme mukavemetini etkilemekle birlikte donatıların kompozit içerisindeki serilme sırası da önemli olduğunu gözlemlediler. Örnek olarak: hibrit sistemde zayıf kumaşların alt ve üst kısımda, merkezde ise daha mukavim kumaşların olması halinde malzeme daha iyi çekme davranışı gösterir [33].

Peled ve arkadaşları çimento matris'e gömülen dokunmuş kumaştaki aderans kuvvetinin dokunmamış tek bir ipliğe göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ancak atkı ilaveli örgü kumaşlardaki aderans, demet halindeki ipliklerin çevresinde oluşan hacimli ilmekler sebebiyle matris'in yetersiz nüfuz etmesine neden olduğu için tek bir ipliğe göre daha zayıftır. Kısa atkılı örme kumaşlar aderansı ve kompozitin performansını arttırmaktadır [11].

Atkılı örme kumaşlarda, takviye ipliklerinin kumaş tarafından sıkıca tutulması aderansı geliştirir. Ancak atkı ilaveli örme kumaşta, kumaş yapısındaki hacimli ilmekler nedeniyle matris yetersiz nüfuz etmektedir ve zayıf aderans oluştuğundan eğilme özelliklerinde azalma gözlemlenir. Dolayısıyla atkı ekli örme kumaşlarda atkı ipliği takviyesinin aderans açısından sakıncalı olduğu belirtilmektedir [4].

Peled ve arkadaşları çimento esaslı kompozitlerde çözgü örgülü kumaşların kullanımını araştırmış; demet büyüklüğünü azaltmanın ve dikiş (düğüm) uzunluğunu arttırmanın, açık boşlukların büyüklüğünü de arttırdığını böylece çimento matrix ile kumaş arasında daha güçlü aderans oluştuğunu, demet çapında ve filamentlerin sayısındaki artış ile çimentonun filamentler arasına nüfuz etme yeteneğinin azaldığını, bu nedenle aderans kuvveti ve kompozitin çekme özelliklerinin de azaldığını bildirmişlerdir [23]. Çizelge 2.3'de tek düz iplik ile kumaş içindeki ipliğin aderans karakteri gösterilmektedir.

Çizelge 2.3 : Tek bir dokunmamış iplik ile kumaştaki ipliğin aderans karakterleri.

İplik Türü	Elastisite Modülü (MPa)	Demet içindeki filament sayısı	Her bir demet dış yüzeyi aderansı (MPa)		Düz ipliğin aderansına oranla kumaştaki ipliğin aderansı** %
			Tek Düz İplik	Kumaş	
cm'de 7 iplik PE (dokuma)*	1760	1	0,17	1,2	700%
cm'de 5 iplik*				0,73	430%
PP (örme)	6900	100	3,5	2,8	80%
HDPE (örme)	55000	900	11,5	1,8	15%

Peled ve arkadaşları polimer matrislerin kumaşlarla takviye edildiğinde eğilme mukavemetine çözgü ipliklerinin katkıda bulunduğunu, atkı ipliklerin yoğunluğunun artmasının eğilme mukavemetini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Atkı ipliğinin fonksiyonu yapısal değildir sadece üretim sırasında çözgü ipliklerini yerinde tutar. Çimento esaslı kompozitlerde matrisin doğal yapısı polimer matrislerden farklı olduğundan kumaş ve iplikler arasındaki etkileşimi daha farklı bir karakter sergilemektedir [4].

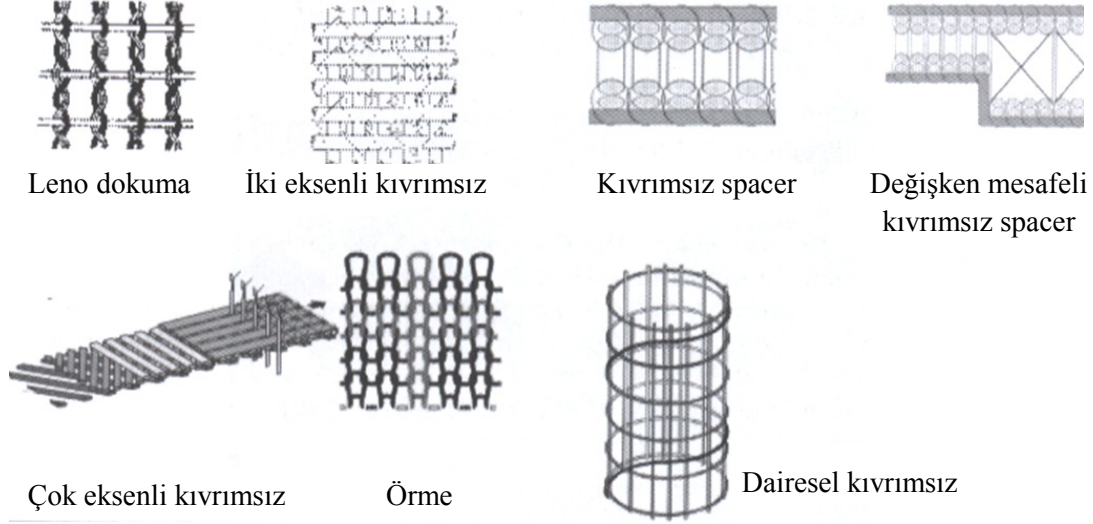
Bentur ve arkadaşları dokunmuş kumaşlardan çözülen kıvrımlı iplikler ile çimentolu kompozitte kullanılan düz ipliklerin pull-out performansını karşılaştırdıkları çalışmanın sonucunda; donatı görevi için kıvrımlı iplik bulunması halinde aderans kuvvetinin arttığını gözlemledi. Mikroyapısal karakterizasyon çalışması ise kıvrımlı ipin yüzeyinin pull-out'tan sonra aşınmış olduğunu ve bu yüzeyde hidrate olmuş çimento parçacıklarının oluştuğunu; düz ipin yüzeyinin ise düzgün kalmış olduğunu göstermiştir [34].

Peled ve arkadaşları yapılan pull-out testinin ardından burulmuş naylon ipliklerin düz halindeki göre daha yüksek aderans kuvvetine sahip olduğu sonucuna varmıştır. Ancak bükülmüş tek bir ipliğin aderans kuvveti, iki ayrı bükümlü ipliğin birlikte bükülmesinden daha yüksektir. SEM analizi sonuçları, pull-out testinden sonra çimento matris'teki yivde kalan bükülmüş fibrillerin sıkı aderansın işareti olduğunu ancak düz iplik fibrillerinin matris'ten tamamen ayrıldığını göstermektedir [11].

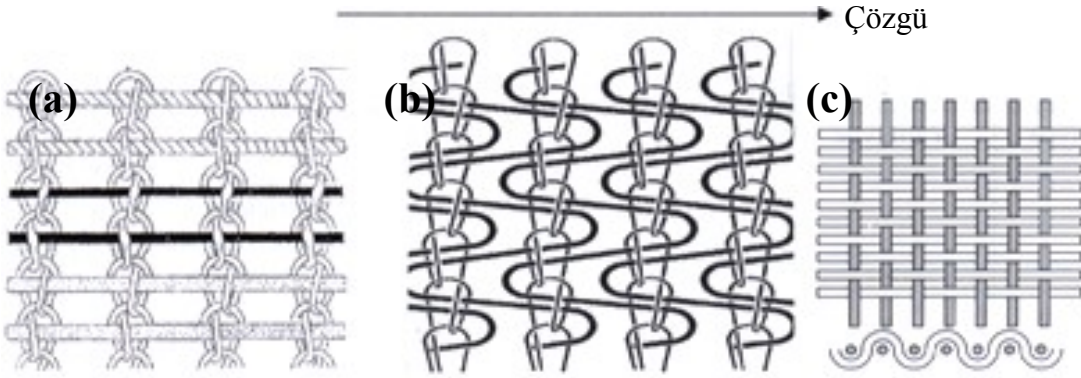
2.2.1 Kumaşların üretimi

Tekstil donatılı beton üretiminde kullanılan çeşitli kumaş türleri 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. Açık ızgara yapılar, iyi geçirimsizlik sağlar ve betonla tamamen örtülürler.

Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 beton takviyesinde yaygın olarak kullanılan tekstil kumaşlarını göstermektedir. En fazla kullanılan ise esnek olan ve geniş kullanım alanı sağlayan iki ya da çok eksenli çözgü örmeleridir.

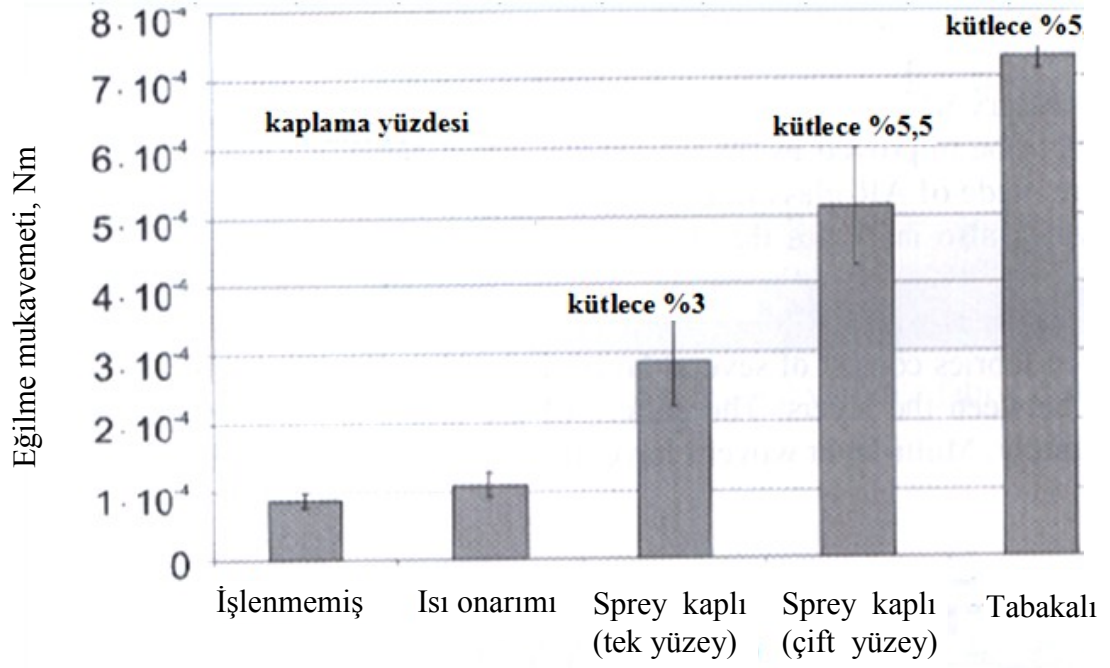


Şekil 2.8 : Betondaki uygulamalarda kullanılan yaygın takviye ürünleri [10].



Şekil 2.9 : Çeşitli kumaş yapıları: a) atkı ekli örme, b) kısa atkı örme, c) dokuma [4].

Üretim sürecinin ardından, takviye kumaşının geometrisinin korunması güvenli taşıma ve ürünün performansının iyileştirilmesi açısından önemlidir [35]. Taşımanın yanında tekstil yapıların birbirlerine tutturulması ve yerine sabitlenmesi süreçleri de nihai performansta önemli rol oynar. Şekil 2.10, iki eksenli dokunmuş kumaşa ilave sabitlemenin etkisini göstermektedir. Isıl tutturma sırasında polipropilen'den üretilen çözümlü örme ipliklerinin basınç ve sıcaklık altında eridiği bildirilmektedir [36].



Şekil 2.10 : Ek sabitlemenin eğilme mukavemetine etkisi [10].

Nonwoven kumaşlar, çeşitli bağlama yöntemleri kullanılarak elde edilen elyaf ya da filament demeti olarak tanımlanabilmektedir. Bu bağlar mekanik, ısı ve kimyasal yöntemler yardımıyla oluşturulmaktadır.

Dokuma kumaş gibi geleneksel kumaşta belirli bir geometri mevcuttur, iplik bağlantıları lifler arası sürtünme ve liflerin bir arada dokunması ile elde edilirken, kumaş bağlantıları ise iplikler arası sürtünme ve dokuma kıvrımı ile sağlanmaktadır. Dokuma kumaş enine ve boyuna yönde kuvvetli iken çapraz yönde zayıftır, enine ve boyuna yönler bir dağılım göstergesi değildir. Diğer taraftan nonwoven'lara özgü özellikler ise değişken elyaf oryantasyonu (yönleri) ve birleştirme (bağlama) metotlarının çeşitliliğidir. Nonwoven tülbent belirli bir doğrultuda yüksek oranda yönlendirilebilmektedir. Nonwoven'ların analizinde önemli faktörler; elyaf oryantasyon dağılımı, gözenek büyüklüğü ve şekli, birim ağırlık (kütle) düzensizliği, bağlanma noktaları arası mesafesi, bağlanma noktalarının sayısıdır. Nonwoven kumaş özelliklerini elyaf özellikleri tülbent yapısı ve bağlanma özellikleri belirlemektedir. Elyaf özelliklerini; mekanik özellikler, elyaf geometrisi ve yüzey özellikleri, tülbent yapısını; elyaf oryantasyonu, elyaf çapı ve kütle düzgünlüğü, bağlanma özelliklerini ise; bağlanma metodu, bağ özellikleri ve işlem şartları belirlemektedir.

Nonwoven malzemeler yüksek hızda ve düşük maliyetli işlemlerle üretilmektedirler. Dokuma, örme gibi geleneksel üretim yöntemleri ile kıyaslandığında yüksek hacim ve düşük maliyet avantajına sahiptirler, ayrıca dokuma ve örme kumaşlara kıyasla nonwoven kumaş yapıları daha homojen ve düzgündür. Kullanım alanı olarak, hastane malzemeleri, hijyen uygulamaları, tüketici ürünleri, astarlar, jeotekstilller, halı altlıkları, otomotiv parçaları, filtreler, temizleme bezi, ıslak mendiller gibi birçok uygulama alanına sahiptirler.

Günümüz nonwoven'ları elyaf, toz, partikül, yapıştırıcılar, filmler ve diğer malzemeleri içeren pek çok çeşit malzemeden elde edilen, çok sayıda işlevsellik sağlayan özel çözümler getiren yüksek seviyede tasarlanmış malzemelerdir.

Nonwoven malzemeler, çeşitli temel ürünlerden meydana gelmektedir. Bunlardan ikisi ise tekstil lifleri veya doğrudan polimerlerden elde edilmesidir. Tekstil liflerinden nonwoven tülbent oluşturma yöntemleri; tarak, hava ile ve yaş serme metotları olarak sınıflandırılmaktadır. Tülbentin sabitlemesi ise mekanik (iğneleme, dikme, su jetiyle sabitleştirme), ısı (kalenderleme, sıcak hava akımı, ultrasonik, infrared), kimyasal (emdirme, spre, baskı) yöntemler ve yapıştırıcılar kullanılarak yapılmaktadır. Polimerlerden nonwoven elde etme yöntemi ise ekstrüzyon ve tülbent oluşturma (spunbond, meltblown) şeklinde olup, bağlama işleminde mekanik (su jeti ile) ve ısı (kalenderleme, hava ile) yöntemler kullanılmaktadır [37].

Polimerden nonwoven elde etmek için kullanılan eriyikten çekim (spunmelt) metodunda üretim hızları 300-1000 m/dak'nın üzerinde, üretim enleri 5-6 metre iken, yüksek hızlı tarak makinelerinde ise hızlar 300-400 m/dak'nın üzerinde ve üretim enleri 5-6 metre civarındadır.

Nonwoven kumaşların yapısal özellikleri açısından elyaf oryantasyon dağılımı, bağlanma geometrisi, dağılımı ve özellikleri önemli iken, işlem şartları açısından bağlanma sıcaklığı ve basıncı önemlidir. Nonwoven kumaşın dayanım ölçütü ise elyaf özellikleri ve/veya bağlanma bölgesi tarafından belirlenmektedir. Bazı nonwoven yapılar Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 : Nonwoven web (tülbent) yapısı (sol), kalenderleme yöntemiyle bağlanmış nonwoven yapısı (sağ) [38].

2.2.2 Tekstil–beton kompozit üretimi

Tekstil donatılı betonların üretilmesinde matris kumaş içine emdirilmesi ve kumaş matris bütünlüğünün sağlanması en önemli noktalardan bir tanesi olduğundan bu yapıyı en iyi şekilde elde edebilmek için farklı üretim teknikleri uygulanmaktadır.

Döküm, vakum işlemi, putrüzyon, spreyleme metodu veya lamine etme tekniği gibi farklı yöntemler de geometrisine bağlı olarak tekstil takviyeli kompozitlerin hazırlanmasında kullanılır [7,21]. Vakum işleminde matris, daha sert ve yoğun iken pultrüzyon ve klasik dökümde görece akışkan matris kullanılır. Vakum işleminde kumaşın bir katı, çimento hamuru matrisinin merkezine gömüldüğü döküm yöntemine benzer şekilde vakumlanan hamurun iki katı arasına serilir [39].

Takviye malzemelerine çimento matrisin emdirildiği ve ardından silindirlerin uyguladığı basınç ile matrisin filamentler arasındaki boşluklara sıkıştırıldığı pultrüzyon metodu kumaş çimento kompozitlerin üretiminde uygun maliyetli üretim metodu olarak kullanılır [39]. Pultrüzyon yöntemi ile çimento hamuru veya harcın nüfuz etme yeteneği artırılır ve geleneksel döküm methoduyla ulaşılandan daha iyi mekanik özelliklere sahip kompozit eleman üretilir [40]. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13’de reçine esaslı bağlayıcılar kullanılarak kompozit üretiminde pultrüzyon metodu gösterilmektedir.



a) Fiber/kumaş toplanması



b) Fiber/kumaş reçine emdirilmesi



c) Kompozitin kalıba girişi

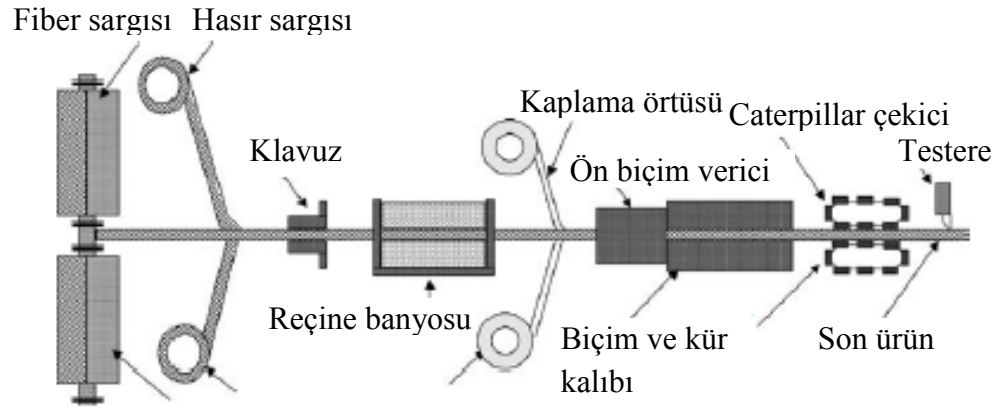


d) Çekici alet



e) Testere

Şekil 2.12 : Pultrüzyon işlemindeki çeşitli aşamalar [41].



Şekil 2.13 : Pultrüzyon işleminin şematik gösterimi [42].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

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

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Çalışma sırasında çimento, süper akışkanlaştırıcı katkı, agrega, cam lifi, cam file kumaşı, hibrid kumaş yapısında yer alan, küçük ve büyük boşluk içeren iki farklı poliüretan kumaş, polyester keçe kumaşı, nonwoven PET kumaş 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 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri [43].

Özellik	Değer
Yoğunluk (kg/m ³)	3110
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3280
Priz başlangıç süresi (dak.)	203
Priz sonlanma süresi (dak.)	285
Hacim sabitliği (mm)	3

Çizelge 3.2 : Çimentonun kimyasal bileşimi [43].

Bileşen	%
SiO ₂	20,84
Al ₂ O ₃	4,27
Fe ₂ O 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

Çalışma kapsamında özgül ağırlığı 2650 kg/m³ olan kuvars kumundan oluşan iki farklı max. agregası kullanılmıştır. Birinci agregası max. 250 µ, ikinci agregası ise max. 500 µ boyutunda kuvars içermektedir.

3.1.3 Kimyasal katkı

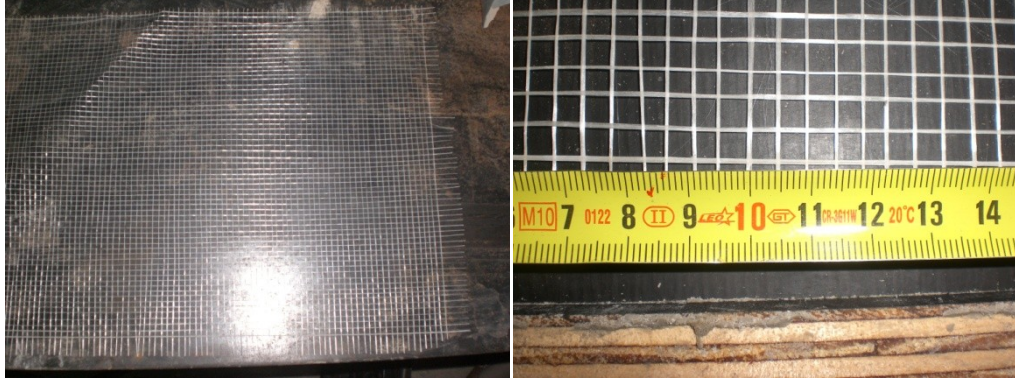
Karışım dizaynında % 1 oranında Polikarboksilik eter esaslı “Glenium 51” yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Çizelge 3.3’de süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Süper akışkanlaştırıcı katkının fiziksel özellikleri.

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilat Eter esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,082 - 1,142 kg/dm ³
Klor İçeriği % (EN480-10)	< 0,1
Alkali İçeriği % (EN 480-12)	< 3
pH değeri	6.6

3.1.4 Cam iplik

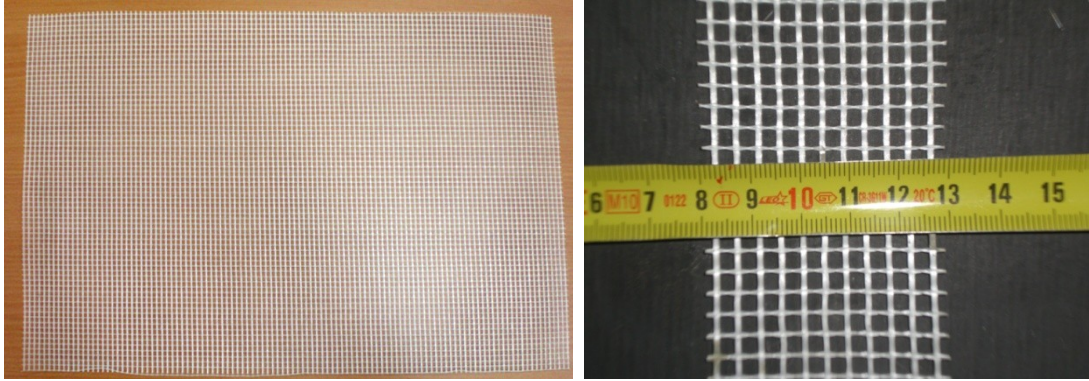
Çalışma sırasında donatı olarak kullanılacak kumaş elde etmek için el ile örülerek kumaş haline getirilmiş cam iplikler kullanılmıştır. Cam lifler (Şekil 3.1’deki gibi gözenekli biçime getirilmiştir.



Şekil 3.1 : Bezayağı cam kumaş.

3.1.5 Cam file kumaşı

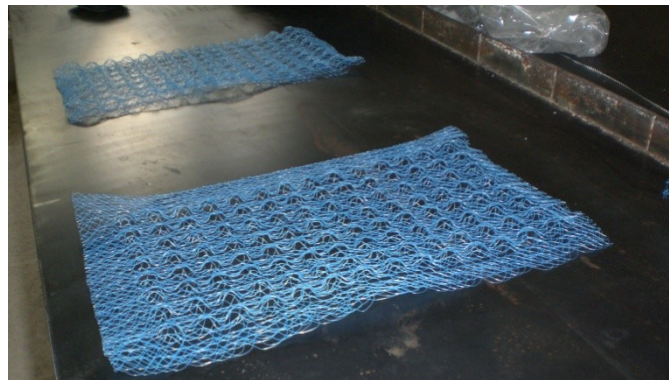
Piyasadan alınan, matris'in nüfuzuna yetecek boşluklara sahip file biçiminde cam kumaş üçüncü çeşit donatı malzemesi olarak deneylerde kullanılmıştır.



Şekil 3.2 : Cam file kumaş.

3.1.6 Nonwoven PET kumaş

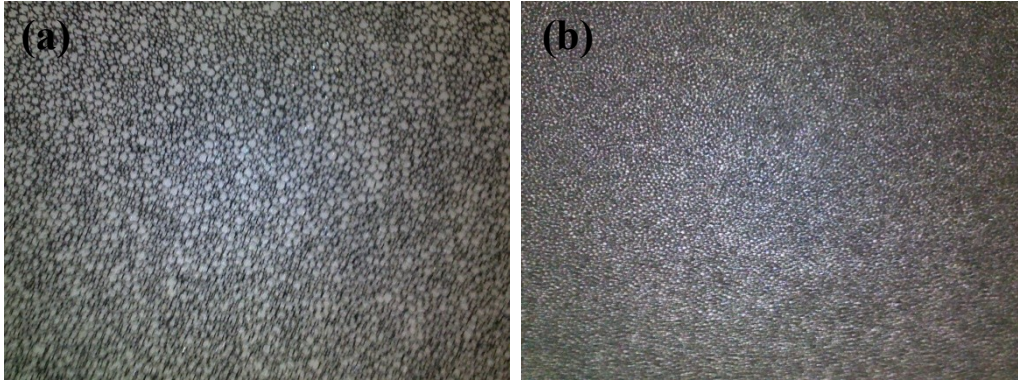
Polyester esaslı nonwoven, ABD North Carolina Nonwoven Research Center'da (NCRC) üretilip İTÜ'ye gönderilmiştir. Şekil 3.3'te üretilmiş donatı görülmektedir.



Şekil 3.3 : İşlenmiş haldeki nonwoven PET kumaş.

3.1.7 Poliüretan kumaş

İki farklı kumaşın bulunduğu hibrid donatıları oluşturan malzemelerden biri olan, hibrid yapının ortasında yer alan poliüretan kumaşlar Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Poliüretan kumaşlar: a) büyük, b) küçük boşluklu.

3.1.8 Polyester keçe kumaş

Kompozit malzemede hibrid donatı yapısındaki kumaşlardan diğeri de sunni keçe kumaşıdır. %100 polyester içerir. Şekil 3.5’da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Polyester keçe kumaş.

Kullanıma hazır kumaşların birim ağırlıkları Çizelge 3.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 : Kumaş birim ağırlıkları.

Malzeme Adı	Birim Ağırlık (m ² /g)
Bezayağı cam kumaş	30
Cam file kumaş	300
Nonwoven PET kumaş	150
Keçe kumaş	150
Poliüretan sık boşluklu	180
Poliüretan büyük boşluklu	140

3.1.9 Karışım suyu

Beton numunelerin üretilmesinde ve kürlenmesi sırasında 23 ± 2 °C kirece doygün şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2 Karışımlar Ve Numune Kodları

Deney numuneleri üretiminde 3 farklı karışım kullanılmıştır. Bütün karışımlarda su/çimento oranı, agrega bulunan numunelerin tümünde agrega/çimento oranı sabittir. Ayrıca akışkanlaştırıcı/bağlayıcı oranı tüm matris türlerinde aynıdır. Karışım oranları Çizelge 3.5’te özetlenmiştir.

Çizelge 3.5 : Karışım oranları.

Karışım Türü	Max.Agrega Boyutu (μ)	Su/Çimento Oranı (%)	Agrega/Çimento Oranı (%)	Akışkanlaştırıcı/Çimento Oranı (%)
1	-	33	-	1
2	250	33	50	1
3	500	33	50	1

Numune kodlarında; 000 yalnızca çimento içerip agrega bulunmayan, 250 ve 500 ise sırasıyla en fazla 250 μ ve 500 μ büyüklüğünde agrega içeren numuneleri belirtmektedir.

Donatı kumaşlarının kodlamasında ise bezayağı örgü cam kumaş için B, cam file kumaşı için F, cam file kumaş’ın çözgü iplikleri kuvvet doğrultusuna dik olacak şekilde serildiği numuneler ise “T” harfi gösterilmiştir. İşlenmemiş nonwoven PET kumaş için “N” harfi, kalıplanan PET için ise “NK” kullanılmıştır. Poliüretan kumaşta, geniş boşluk bulunan “PG”, sık boşluk içeren ise “PS” olarak adlandırılmıştır. Keçe kumaşın gösteriminde ise “K” harfi kullanılması elegant bir tercihtir.

Meydana gelen kompozitler ise; hangi kumaştan kaç sıra bulunuyorsa sembolünün başına yazılmış, en sona ise matris türü belirtilmiştir. Örneğin; çimento hamuru ile oluşan matriste donatı olarak çift sıra keçe kumaş bulunan numuneler “2K000”, max. 500 μ büyüklüğünde agregaya sahip matris içinde üstte ve altta cam file kumaş,

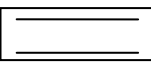
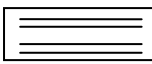
ortada ise geniş boşluklu poliüretan içeren numuneler ise “2FPG500” şeklinde gösterilmiştir.

Üretilen numunelerin bir kısmı bahsedilen kodlar aracılığıyla Çizelge 3.6’da adlandırılmıştır. Ayrıca elde edilen kompozit malzemelerin bileşenlerine genel bakış amacıyla Çizelge 3.7 hazırlanmıştır.

Çizelge 3.6 : Numune kodları.

Matris Türü	Donatı Türü	Donatı Sembolü	Donatı adedi	Numune Kodu
Sadece çimento hamuru içeren matris	Bezayağı Cam kumaş	B	4 sıra	4B000
	Cam file kumaş	F	4 sıra	4F000
	Cam file kumaş ters	T	4 sıra	4T000
	Nonwoven	N	2 sıra	2N000
	Nonwoven kalıplanmış	NK	2 sıra	2NK000
	Cam file-Poliüretan geniş boşluklu	2FPG	1 sıra	2FPG000
	Cam file-Poliüretan sık boşluklu	2FPS	1 sıra	2FPS000
	Keçe kumaş-Poliüretan geniş boşluklu	2KPG	1 sıra	2KPG000

Çizelge 3.7 : Kompozit numune türleri.

Donatı yerleşimi				
Donatı adı	(çift sıra)	(dört sıra)	(hibrid)	(üç boyutlu)
Cam file kumaş	2F	4F	-	-
Cam file kumaş ters	-	4FT	-	-
Bezayağı cam kumaş	-	4B	-	-
Cam file-PÜR geniş boş.	-	-	2FPG	-
Cam file-PÜR sık boş.	-	-	2FPS	-
Polyester keçe kumaş	2K	-	-	-
P. Keçe-PÜR geniş boş.			2KPG	
Nonwoven PET	2N	-	-	2NK

3.3 Numunelerin Üretilmesi Ve Kür Koşulları

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

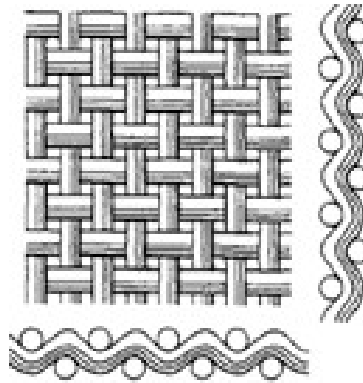
3.3.1 Kumaş donatılarının hazırlanması

Düz bir kumaş halinde bulunan PET kumaşa 3 boyut biçimi verme işi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Şekil.1.2'de gösterildiği gibi dişler arasına yerleştirilen kumaş, 150 °C'deki sıcak preste uygulanan 20 kN basınç sayesinde şekil değiştirmeye zorlanmıştır. Numunenin sabit basınç ve sıcaklık altındaki şartlara maruz kalma süresi ayarlanarak ise istenilen kıvrım derinlik değerine ulaşılmıştır. Şekil 3.6'da kalıp sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Kalıp sistemi.

Cam lifli kumaşlar en basit dokuma türü olan bezayağı tipinde üretilmiştir (Şekil 3.7). Sabitleştirme için ise düğüm noktalarında yapıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 3.7 : Bezayağı dokuma temsili resmi [25].

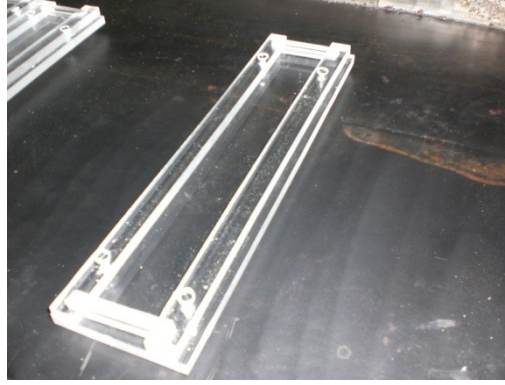
Hibrid donatı hazırlanırken önce istenilen boyutta kesilen kumaşlar daha sonra sabitlenmiştir. Sabitleme işlemi Şekil 3.8’de gösterildiği gibi elemanlar birbirine dikilerek yapılmıştır. Burada poliüretan kumaşlar spacer olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.8 : Hibrid kumaş sabitlenmesi.

3.3.2 Numunelerin üretilmesi

Döküm işlemi sırasında Şekil 3.9’da görülen 35*5*1 cm boyutlarında pleksiglas kalıplar kullanılmış, daha önce üretilen farklı türdeki her kumaş donatı ile her bir farklı içerikteki numune için en az 5 adet üretim yapılmıştır.



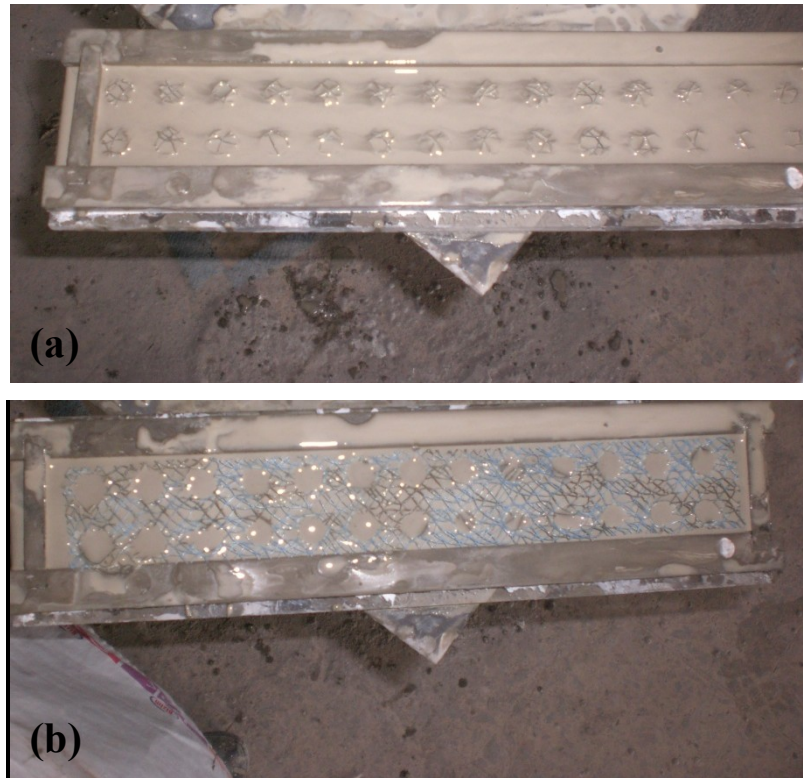
Şekil 3.9 : Pleksiglas döküm kalıbı.

Cam kumaşlar bir numuneye 4 sıra koyulmaktadır. 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 (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : Bezayağı cam kumaş donatılı kompozit dökümü.

Üç boyutlu nonwoven PET ise özel biçimi sebebiyle kalıba 4 sıra serilmek yerine, daha önce anlatılan kalıplama yöntemiyle derinlik 0,5 cm olarak ayarlandığından dolayı 2 sıra yerleştirilmiştir. Öncelikle donatı kalıbın tabanına düz yüzeyi gelecek şekilde serilir, daha sonra Şekil 3.11b’de görüldüğü gibi ikinci sıra kumaş ters çevrilerek ilk sıra kumaşın üzerine kapatılır.



Şekil 3.11 : PET kumaş donatılı kompozit dökümü: a) ilk, b) ikinci sıra kumaş.

Hibrid donatıya sahip kompozitler sadece çimento hamuru matrisi ile üretilmiştir. Donatı içerisindeki kumaş katları ise: kenarlarda cam file ya da keçe, merkezde (ortada) poliüretan (büyük ya da küçük boşluklu) şeklindedir. Ayrıca hibrid malzemenin performansını karşılaştırmak amacı ile aynı matris türünde ancak donatı

olarak birinde çift sıra cam file kumaş diğesinde çift sıra tekstil keçe kumaş içeren iki farklı kompozit numune de imal edilmiştir. Şekil 3.12’de hibrid kumaşa çimento hamuru emdirilmesi işlemi gösterilmektedir.



Şekil 3.12 : Hibrid donatıya çimeto hamuru emdirilmesi.

3.3.3 Kür koşulları

Üretilen numuneler Bölüm 3.2’de bahsedilen kurala uygun şekilde kodlanmış, ardından 21 gün süresince 23 ± 2 °C sıcaklıktaki, kirece doymun, şebeke suyu bulunan kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 3.13). Sertleşmiş numune daha sonra mekanik deneylere tabi tutulmuştur.



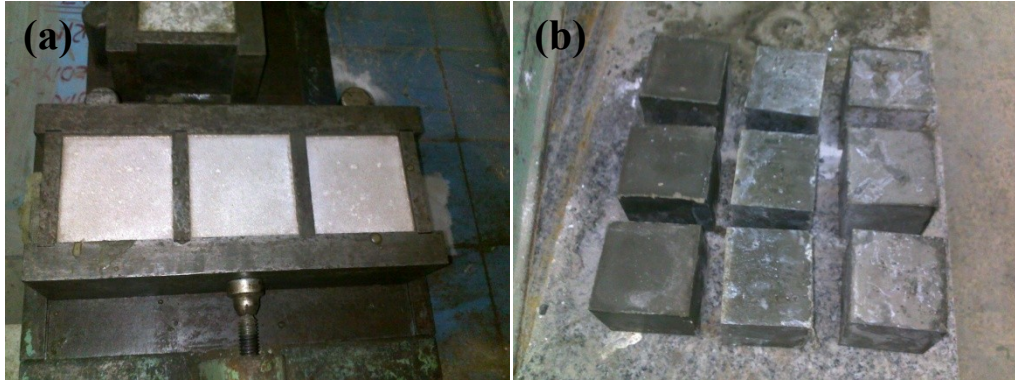
Şekil 3.13 : Kalıptan çıkarılan numuneler ve kodlanması.

3.4 Matris Ve Donatılar Üzerinde Yapılan Deneyler

Kompozit elemanın davranışını etkileyen matris ve kumaşların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için matris üzerinde; basınç deneyi, lif ve kumaşlar üzerinde ise çekme deneyleri uygulanmıştır.

3.4.1 Matris üzerinde basınç deneyi

Basınç deneyinde her matris karışımı için 3 numune üretilmiştir. Deney sırasında 7*7*7 cm boyutlarında küp şeklinde kalıplar kullanılmıştır. Donatı içermeyen matrisler Şekil 3.14a'da görülen kalıplara dökülmüştür. 1 gün sonra prizini almış numuneler kalıptan çıkarılıp kür havuzunda 21 gün beklemeye bırakılmıştır. Şekil 3.14b'de görülen numunelerde basınç deneyleri yapılmıştır. Deney aleti olarak 300 tonluk hidrolik pres kullanılmıştır. Basınç deneyinde yükleme hızı 2,8 kN/sn' dir. Basınç deneyi uygulaması Şekil 3.15'de gösterilmektedir.



Şekil 3.14 : Basınç deneyi numuneleri: a) Çelik kalıp, b) Çıkarılan numuneler.



Şekil 3.15 : Basınç deneyi uygulaması.

3.4.2 Donatılar üzerinde çekme deneyi

Yatay çekme deneyinde Şekil 3.16'da gösterdiği gibi lifler makaraya sarılarak, kumaşlar ise çene sistemine sıkıştırılarak çekilmişlerdir. Her malzemeden 5 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Deney'in yapılması ve sonuçların hesaplanmasında BS EN 13496 standart'ından yararlanılmış; standart gereğince liflerin texleri, kumaşların ağırlıkları ölçülmüştür.



Şekil 3.16 : Çekme deneyi kurulumu: a) PET kumaş ve çeneler, b) Lif ve makara.

Malzemenin genişliği ile ilgili gerilme hesabında ise aşağıda açıklandığı gibi aynı standart içerisindeki formül kullanılmıştır:

$$\beta_f = \frac{F_f}{w} \quad (3.1)$$

Formüldeki simgeler ise:

β_f : Çekme gerilmesi (N/mm)

F_f : Çekme kuvveti (N)

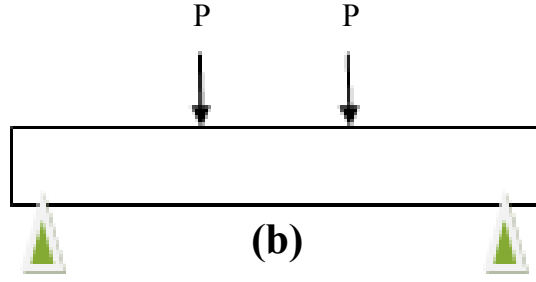
w : Malzeme genişliği (mm)

3.5 Kompozit Malzeme Deneyleri

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

3.5.1 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisi hesabı

Dört noktalı eğilme deneyi, 21 günlük numunelerde uygulanmıştır. Her kompozit malzeme türünden 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 Bölüm 3.3'te belirtildiği gibi 350*50*10 mm'dir. Mesnet açıklığı 300 mm., yükleme mesnetleri, kenar mesnetlerinden 10'ar cm içeridedir (Şekil 3.17). Deney, kompozit numune taşıdığı max. kuvvet değerinin % 70'ini kaybettiği zamana değin sürmüştür. Kırılma enerjisi ise, eğilme deneyi sonucu elde edilen gerilme-sehim grafiğinin altında kalan alana mukabildir.



Şekil 3.17 : Eğilme deneyi kurulumu: a) Sistem düzeneği, b) Temsili mesnetler.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Matris Ve Donatılar Üzerinde Yapılan Deney Sonuçları

4.1.1 Matris Üzerinde basınç deneyi sonuçları

Küp numunelerin gerçekleşen deneyler neticesinde elde edilen basınç dayanımları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Basınç deneyi sonuçları.

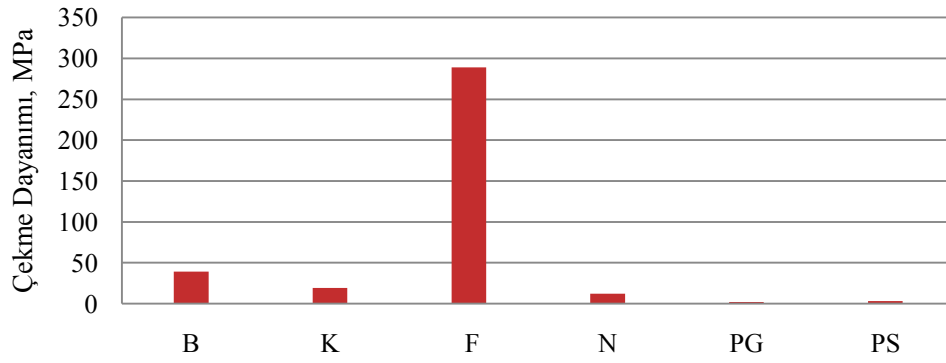
Matris Türü	Basınç Dayanımı (MPa)
1	70
2	74
3	65

4.1.2 Donatılar üzerinde çekme deneyi sonuçları

Bezayağı cam kumaş oluşturmak için kullanılan lifler 218 Tex’tir. Gerçekleşen deneyler neticesinde malzemelerin 3.1 formülü ile hesaplanan çekme dayanımları Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1’de ise gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kumaş çekme dayanımları.

Malzeme Adı	Ağırlık (m ² /g)	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Mukavemeti (N/m)
Bezayağı cam kumaş	30	196	0,039
Cam file kumaş	300	1446	0,289
Nonwoven PET kumaş	150	60	0,012
Keçe kumaş	150	95	0,019
Poliüretan sık boşluklu	180	15	0,003
Poliüretan büyük boşluklu	140	10	0,002



Şekil 4.1 : Donatı malzemelerinin çekme dayanımları.

4.2 Kompozit Malzeme Deney Sonuçları

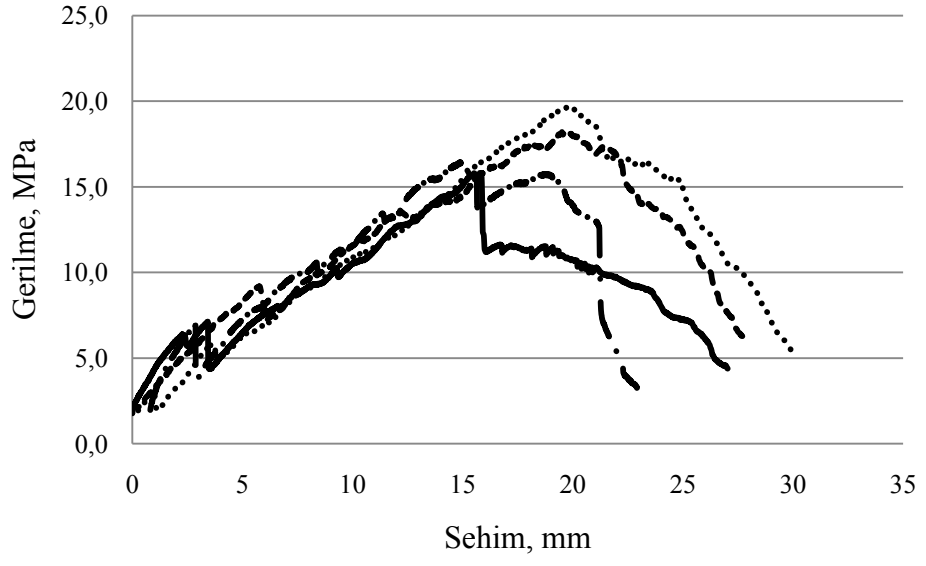
4.2.1 Eğilme deneyi sonuçları

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

Çizelge 4.3 : Kompozit malzeme ve matris eğilme deneyi sonuçları.

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Enerjisi (J)
4F000	16,60	3,90
4F250	15,70	4,20
4F500	15,70	3,40
4T000	15,50	2,70
4T250	10,00	2,40
4T500	9,20	2,10
4L000	4,40	0,20
4L250	6,00	0,10
4L500	5,60	0,20
2NK500	4,40	0,01
2N500	4,80	0,01
2FPG000	14,30	2,80
2FPS000	11,70	1,68
2KPG000	3,25	0,21
2K000	3,00	0,21
2F000	13,50	3,10
000	3,50	0,01
250	7,30	0,01
500	4,40	0,01

Eğilme deneyleri sonucunda elde edilen gerilme-sehim grafiklerine örnek olarak 4F250 kodlu numunelerin grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir.

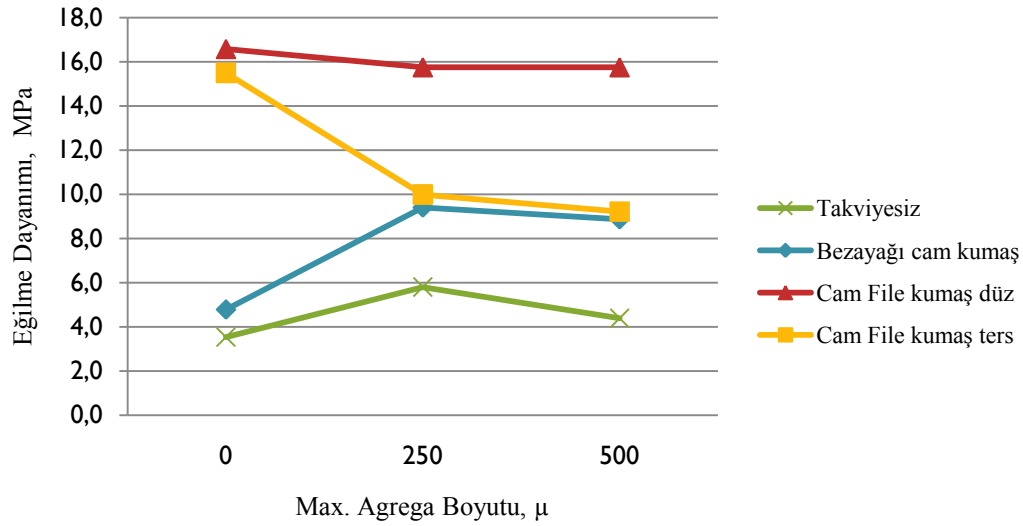


Şekil 4.2 : Max. 250 μ boyutunda agregası içeren numunelerin gerilme-sehim grafiği.

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

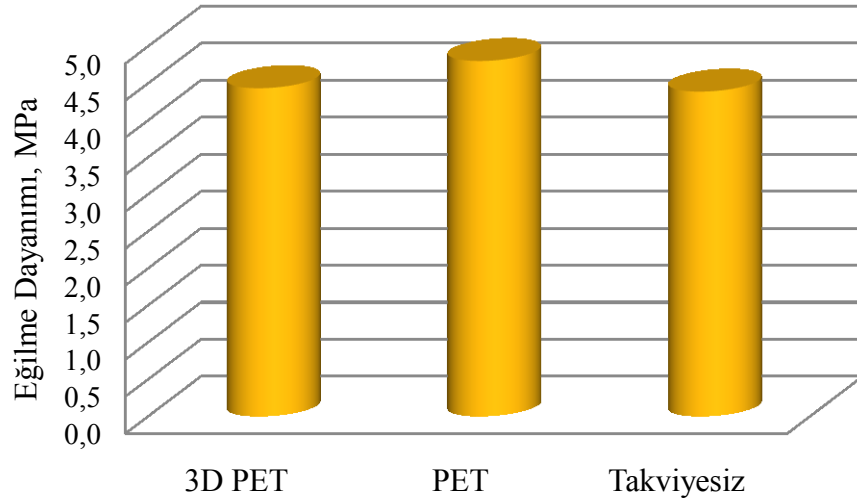
Cam kumaşlarla üretilen kompozitler üzerinde yapılan eğilme deneyi sonuçları Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Şekildeki cam file kumaşın her iki yönde kullanılmasıyla üretilen numunelerin eğilme dayanımlarının maksimum agrega boyutuna göre değişimleri ve bez ayağı örgü kumaşın eğilme performansı verilmektedir. Çözümlü ipliklerinin kompozit malzemenin uzun kenarına paralel olarak kullanıldığı numunelerin eğilme dayanımlarının, tüm karışımlar için atkı ipliklerinin uzun kenara paralel olarak kullanılmasıyla üretilen numunelerin eğilme dayanımlarından daha yüksek değerler aldığı açıkça görülmektedir. Ters yönde kullanım olarak anılan atkı ipliklerinin uzun kenara paralel kullanımı durumunda eğilme dayanımının maksimum agrega boyutundan etkilendiği ve agrega boyutu arttıkça eğilme dayanımının düştüğü söylenebilir. Bu düşüşün sebebi agrega boyutunun artışıyla matrisin filamentlerin arasında girmekte yaşadığı güçlük olarak yorumlanabilir.

Bezayağı örgü cam kumaş kullanılarak üretilen kompozitlerin eğilme dayanımları incelendiğinde bu kumaşlarla üretilen kompozitlerin eğilme dayanımlarının kumaş içermeyen matrisin eğilme dayanımlarından bir miktar daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında, bu kumaşla üretilen numunelerin eğilme dayanımlarının dokunmuş cam kumaşla üretilen numunelerden dikkate değer miktarda daha düşük dayanıma sahip olmaları beklenen bir durumdur. Zira her iki kumaşın m^2 ağırlıkları karşılaştırıldığında aralarındaki büyük fark dikkati çekmektedir. Dokunmuş cam kumaşın atkı ipliklerinin uzun kenara paralel (ters) kullanılması durumunda elde edilen eğilme dayanımlarının bezayağı örgü kumaşla aralarındaki yüksek orandaki m^2 malzeme miktarına karşın aynı performansa sahip olması dikkat çekicidir. Bu sonuçlar dokunmuş cam kumaşın kullanılma yönünün doğru seçilmesi konusunda ne kadar hassas davranılması gerektiğinin göstergesidir.



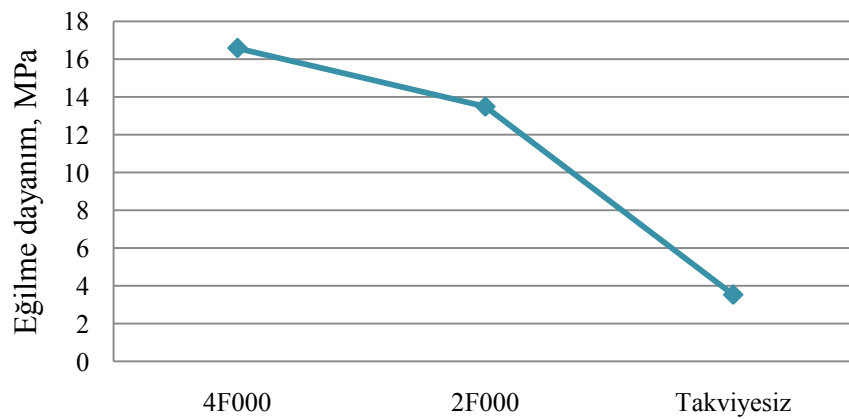
Şekil 5.1 : Matris birleşiminin eğilme dayanımına etkisi.

Max. 500 µ agrega içeren matris ile iki ve üç boyutlu nonwoven PET kumaş kullanılarak üretilmiş kompozitlerin eğilme deneyi sonuçları Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Şekildeki sonuçlar incelendiğinde, PET kumaşın kullanılan tex değeri için iki ya da üç boyutlu biçimde olmasının, matrisin eğilme dayanımı üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olmadığı söylenebilir. Bu sonucun alınmasındaki en büyük etken ise kullanılan kumaşın hammadesi olduğu düşünülmektedir. Polyester’in elastisite modülü ve dayanımı oldukça düşük olduğu için çimento esaslı matrisin şekil değiştirmelerine direnç gösterememektedir ve kompozit eğilme performansında dikkate değer bir artış olmaksızın iki ve üç boyutlu kullanım için benzer sonuçlar elde edilmektedir. Bunun yanında PET iplikler ile çimento esaslı matris arasındaki aderansın oldukça düşük olmasının da bu sonucun alınmasında önemli bir etken olduğu söylenebilir.



Şekil 5.2 : Aynı matriste PET geometrisi-eğilme dayanımı.

Şekil 5.3’de matris bileşiminde agrega içermeyen ve sadece çimento hamuruyla üretilen üç farklı donatı içeren kompozit malzemenin eğilme davranışları karşılaştırılmaktadır. Şekil incelendiğinde dört sıra donatı içeren numunenin eğilme dayanımının iki sıra donatı içeren numunenin eğilme dayanımına göre daha yüksek olduğu ancak aralarındaki ilişkinin lineer olmadığı anlaşılmaktadır. İki sıra numunenin daha efektif davrandığı eğilme dayanımı değerlerinden görülmektedir. Bu davranışın sebebi kumaş donatıların yerleşimlerine bağlanmaktadır. İki sıralı kullanımda tarafsız eksen den en uzak noktalara yerleştirilen kumaşlar taşıdıkları moment dolayısıyla daha efektif çalışmaktadırlar.



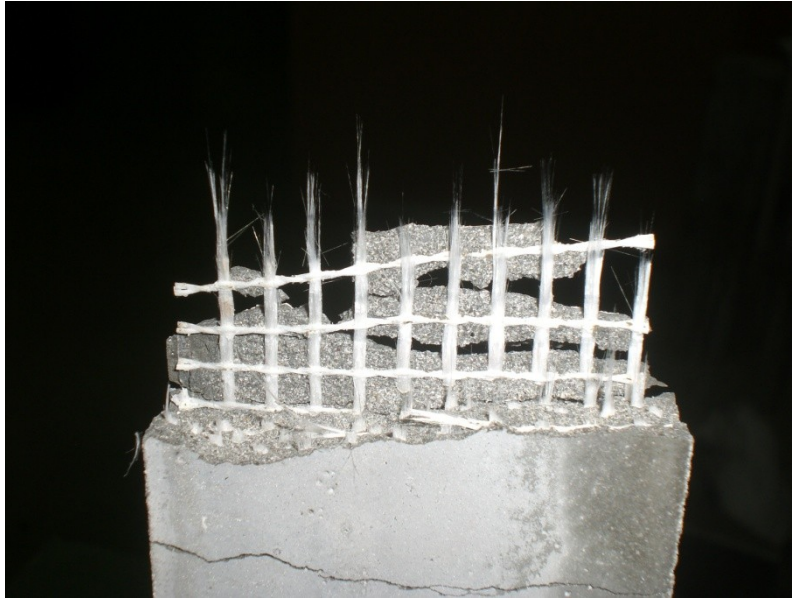
Şekil 5.3 : Donatı miktarının eğilme davranışına etkisi.

Cam file kumaş ile PET kumaşın matrise aderanslarını karşılaştırabilmek için Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’in detaylı incelenmesi gerekmektedir. Şekil 5.4’de nonwoven PET donatılı kompozitin çekme deneyinden sonraki kesit görünüşü gösterilmektedir.

Donatıların sıyrıldıktan sonra boş kalan yerleri kesitte rahatlıkla görülebilmektedir. Bu durum PET kumaşın çimento esaslı matris ile aderansının zayıf olduğunun bir göstergesidir. Daha önceki başlıklarda; eğilme dayanımını etkileyen önemli bir faktörün matris-lif aderans kuvveti olduğu ve deney sonunda kesitte meydana çıkan boş yivlerin zayıf aderansı işaret ettiği belirtilmiştir [4,11]. Şekil 5.5'te cam file kumaş donatılı kompozitin çekme deneyinden sonraki kesit görünüşü verilmektedir. Kesit incelendiğinde PET kumaştan farklı olarak cam kumaşa bir sıyrılma meydana gelmediği cam kumaşın koparak göçmenin olduğu anlaşılmaktadır. Sıyrılma meydana gelmediği için cam ipliklerin çekme performansı sonuna kadar kullanılmakta ve bu durum kompozit eğilme dayanımında yüksek değerler olarak sonuçlanmaktadır.



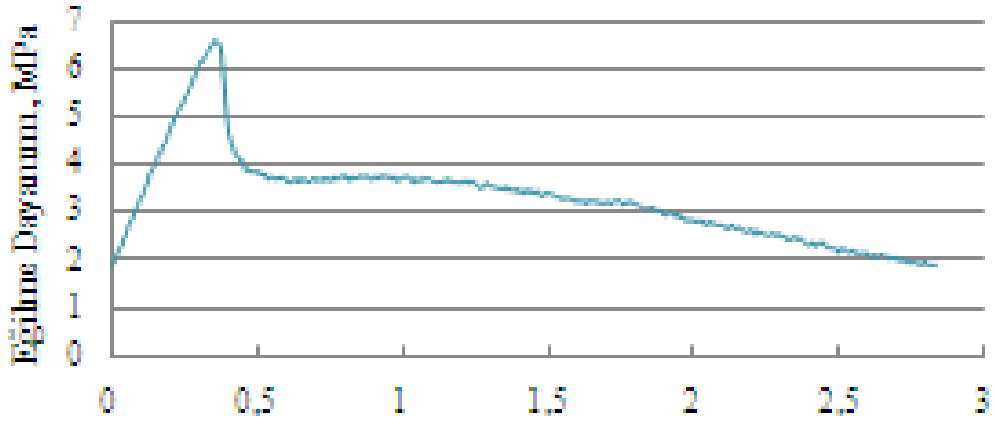
Şekil 5.4 : Nonwoven donatısının boşluklu yivleri.



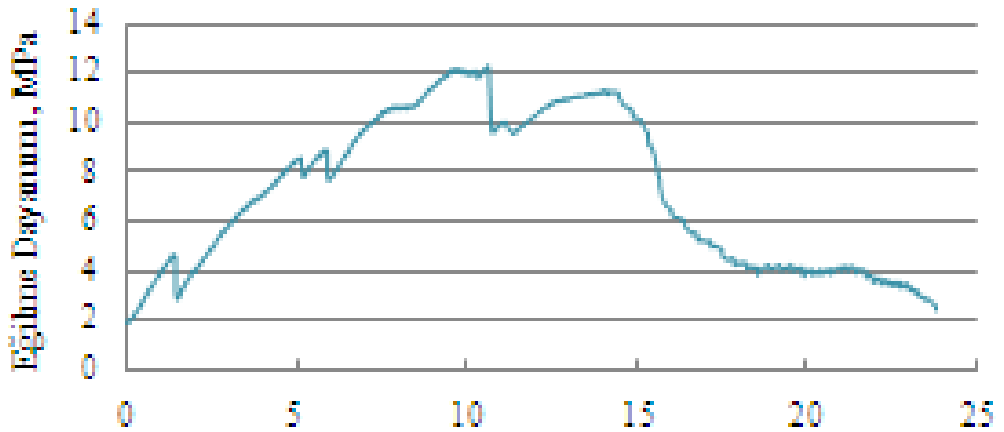
Şekil 5.5 : Cam file kumaş-çimento matris aderansı.

Mukavemeti yüksek kumaşlarla yüksek daha fazla enerji yutarak kontrollü, ani olmayan kırılma davranışı ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda daha uzun süren pekleşme süreci de gözlemlenmiştir. Düşük mukavemetli kumaş içeren numunelerde ise pekleşme sürecinin ardından malzeme yük taşımayarak göçmüştür. Düşük

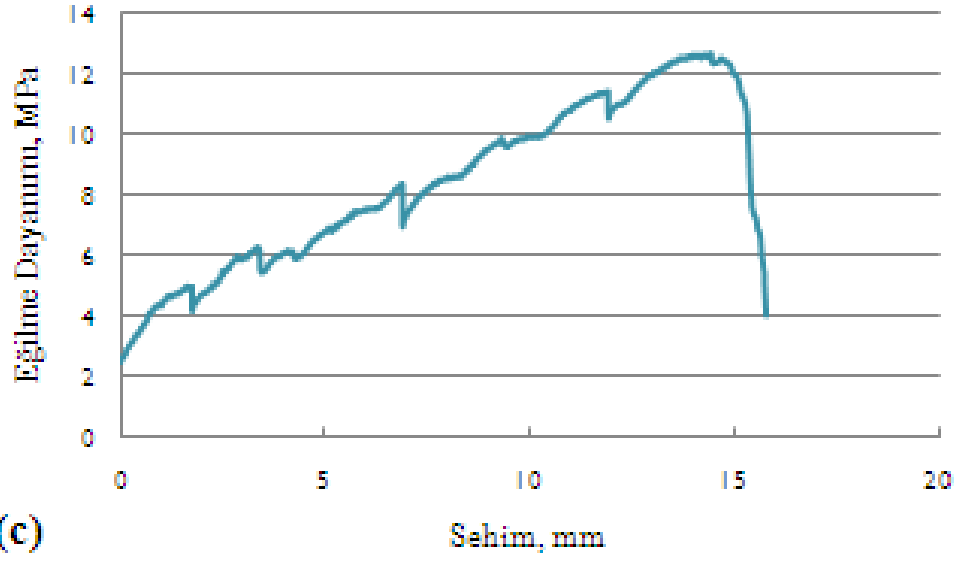
mukavemetli donatı içeren malzemeler pekleşmeden sonra kırılma gerçekleştiği daha önce de belirtilmiştir [14]. Şekil 5.6'da aynı matris türündeki iki numuneden birine yüksek diğerine ise düşük mukavemetli kumaş serilmesiyle numunelerin eğilme davranışları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.6a'da A noktasına kadar yük taşıyan liflerin taşıma kapasitesi aşılnca kopmuş, Şekil 5.6b'de görülen kademeli göçme, bu malzemedeki liflerin çok güçsüz olması sebebi ile meydana gelmemiştir. Şekil 5.6c'de ise cam file kumaş ile poliüretan kumaş'ın oluşturduğu hibrid kompozitin eğilme davranışı görülmektedir.



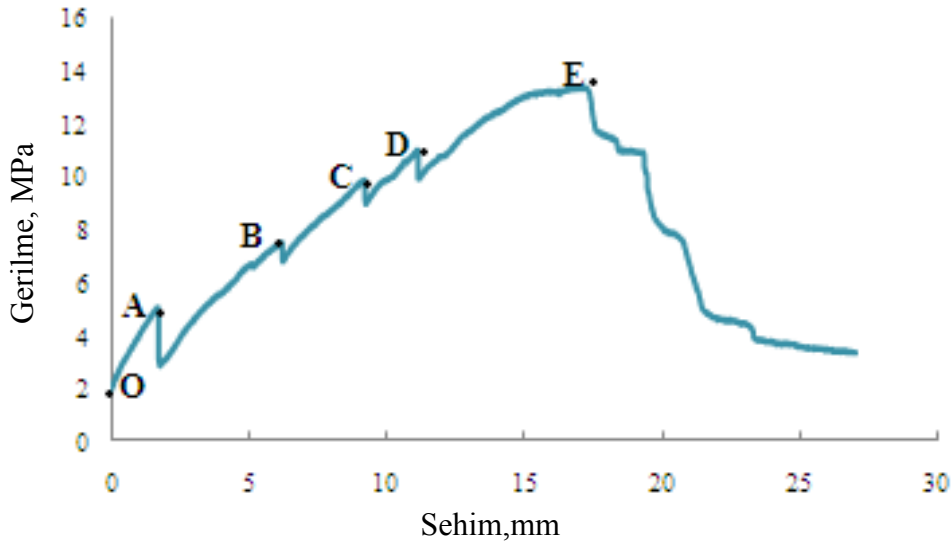
(a)



(b)



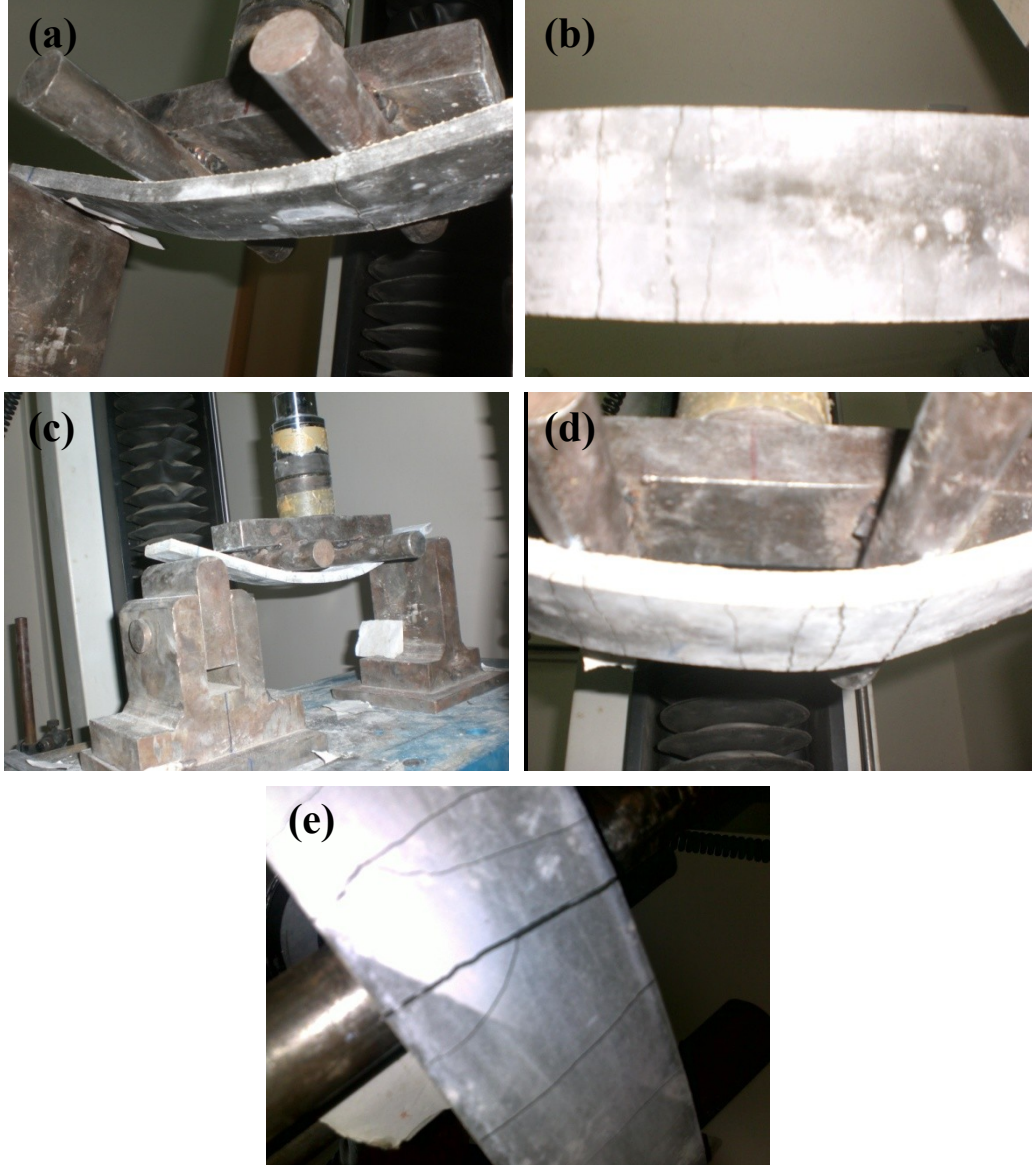
Şekil 5.6 : Eğilme davranışı karşılaştırması: a) Bezayağı cam kumaş, b) Cam file kumaş, c) Cam hibrid kumaş.



Şekil 5.7 : Agregasız matris-cam file kumaş kompozitinin göçme mekanizması.

Şekil 5.7’de gösterilen yüksek mukavemetli Cam File kumaşının kırılma mekanizmanın gelişimi ise literatür çalışmasında belirtilenlere benzer olmuştur. Yani ilk çatlak oluştuğundan sonra lifsiz malzeme göçerken lifli malzeme yük almaya devam etmiş hatta eğilme dayanımı artmıştır [17]. Malzemede A noktasına kadar matris yük taşıırken, ilk çatlaklar oluşmaya başlayınca mukavemet düşmüş ancak daha sonra çatlaklar donatı ile karşılaşınca ilerleme durmuş, AB arasında malzeme yük almaya devam etmiştir. Bu esnada birbirine paralel çatlaklar meydana gelmiştir. B noktasında matris tekrar göçerken donatı ile karşılaşınca tekrar yük almaya başlamıştır. Benzer mekanizma CD ve DE arasında da çalışmıştır. Çatlaklar son

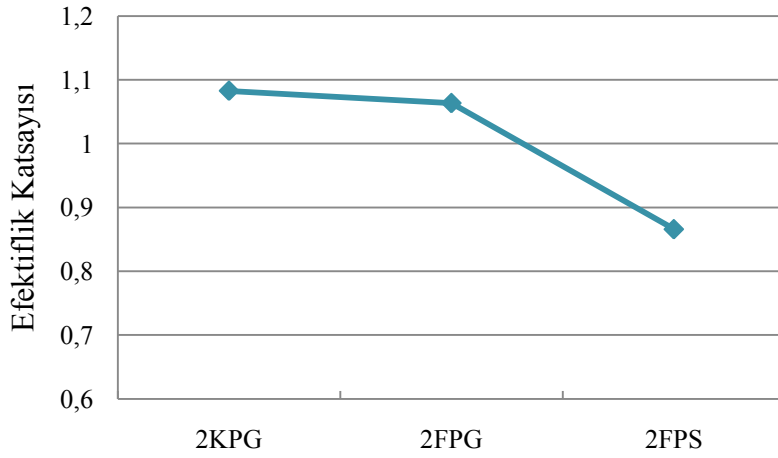
donatıya geldiğinde kuvvet donatının taşıma kapasitesine geldiğinde (E noktası) malzeme göçmeye başlamıştır. Kırılma süreci ise ani değil kademeli gerçekleşmiştir. Şekil 5.8’de kırılma mekanizmasının pik noktalarda alınmış resimleri gösterilmektedir.



Şekil 5.8 : Kırılma mekanizması: a) OA, b) AB, c) BC, d) CD arası, e) E sonrası.

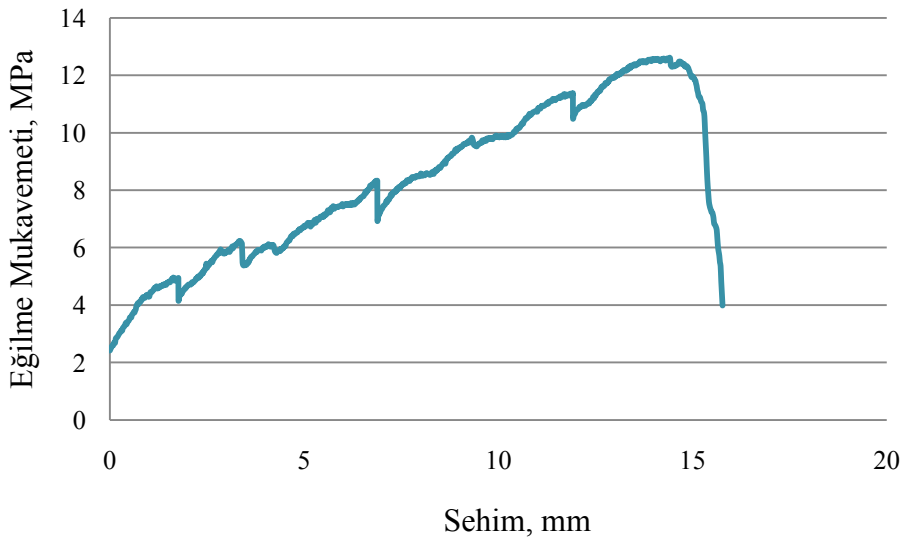
Hibrid kompozitlerde ise eğilme davranışının incelenmesi amacıyla efektiflik katsayısı tanımlanmıştır. Söz konusu katsayı hibrid kumaş bulunan kompozit malzemenin eğilme dayanımı, sadece üst ve alt katmanlardaki kumaşların olduğu numunenin eğilme dayanımına bölünerek bulunmaktadır. Örnek olarak; File-poliüretan geniş boşluklu (2FPG) için bu katsayı, 2FPG’nin eğilme dayanımının 2F’nin eğilme dayanımına bölünmesiyle elde edilir. Böylece mantıklı donatı

oluşturulup oluşturulmadığı gözlemlenmektedir. Şekil 5.9 üç farklı hibrid donatı içeren kompozit malzemenin efektiflik katsayısı gösterilmiştir.



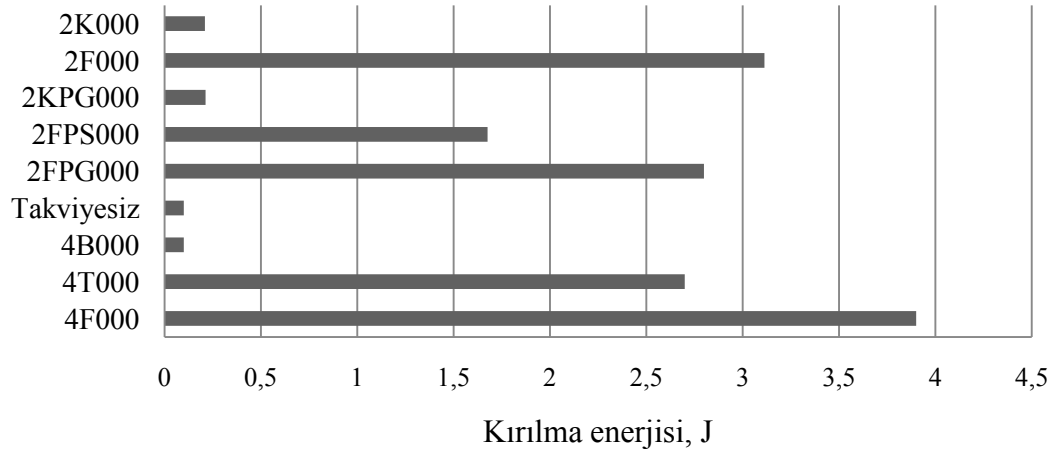
Şekil 5.9 : Hibrid efektiflik katsayısı.

Anlaşılabacağı üzere iki kumaş arasına farklı bir kumaş daha koyularak oluşturulan kompozit malzemelerden en etkin olanı 2KPG'dir. Elemanın bu davranışında üretim esnasında çimento emdirilmesinin büyük etkisi olduğu gözlemlenmiştir. 2FPS'de ise efektiflikte belirgin bir azalma görülmüştür, çünkü donatının merkezinde bulunan sık boşluklu kumaş çimento hamurunun geçişini zorlaştırmıştır. Dolayısıyla eleman yük taşıırken oluşan ilk çatlaklar ilerlememiş ve ani kırılma meydana gelmiştir. Şekil 5.10'de bu davranış açıkça görülmektedir. Çoklu çatlak oluşumu diğer numunelerde olduğu kadar görülmemekle birlikte malzeme genellikle ilk kırılmanın yaşandığı yerden göçmüştür.



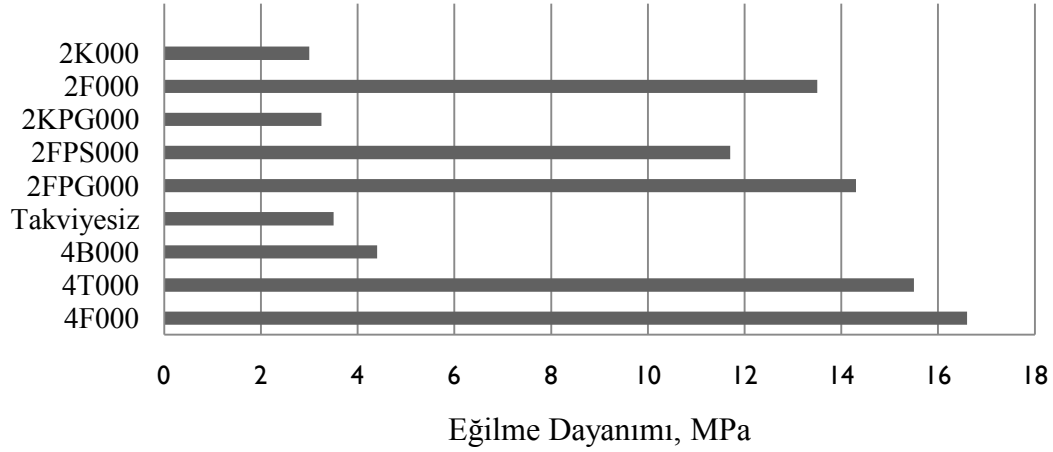
Şekil 5.10 : 2FPS000 eğilme davranışı.

Kırılma mekanizmasının ardından Şekil 5.11’de kompozit malzemelerin kırılma enerjileri irdelenmiştir. Görüldüğü üzere çekme mukavemeti yüksek olan File kumaş’ın farklı doğrultularda yerleştirildiği numuneler en fazla enerji yutanlardır. Nonwoven ile takviyesiz numuneler çok az miktarda kırılma enerjisine sahiptirler. Dayanımları düşük donatılardan cam kumaş 1 aynı oranda enerji absorbe etmiştir. Dolayısıyla düşük çekme mukavemetine sahip donatılar içeren kompozit malzemelerde kırılma enerjisi matris eğilme dayanımı ile ilgilidir. Her üç matris türünün eğilme deneyi sonucunda hesaplanan kırılma enerjilerinin aynı olması bunu göstermektedir. Gözden kaçmaması gereken bir nokta ise çift sıra cam file kumaş içeren numuneleri (2F) ve keçe kumaş bulunan numunelerin (2K), kırılma enerjilerinin, aynı malzemeleri hibrid donatı olarak bulunduran 2KPG, 2FPG ve 2FPS’den daha fazla olmasıdır. Bu sonuç bize hibrid donatılı çimento esaslı kompozitlerin beklenildiğinden daha gevrek davrandığını göstermektedir.



Şekil 5.11: Çimento esaslı kompozitlerin kırılma enerjileri.

Malzemelerin eğilme dayanımlarının gösterildiği Şekil 5.12 incelendiğinde cam file-poliüretan hibrid donatı içeren kompozit malzemenin (2FPG), file kumaş donatıya sahip kompozitlere yakın eğilme dayanımına sahip olduğu söylenebilir. Dolayısıyla hibrid donatıda maliyeti yüksek malzeme (cam file) daha az kullanılarak aynı malzemeden 2 kat daha fazlasına sahip kompozitlere yakın mukavemet değerlerine ulaşılmıştır. Bu sonuç çalışmanın asıl amacı olan mevcut kompozitlere yakın ya da benzer mukavemet değerlerine sahip ancak daha ekonomik üretim yapılabilceği anlamına gelmektedir.



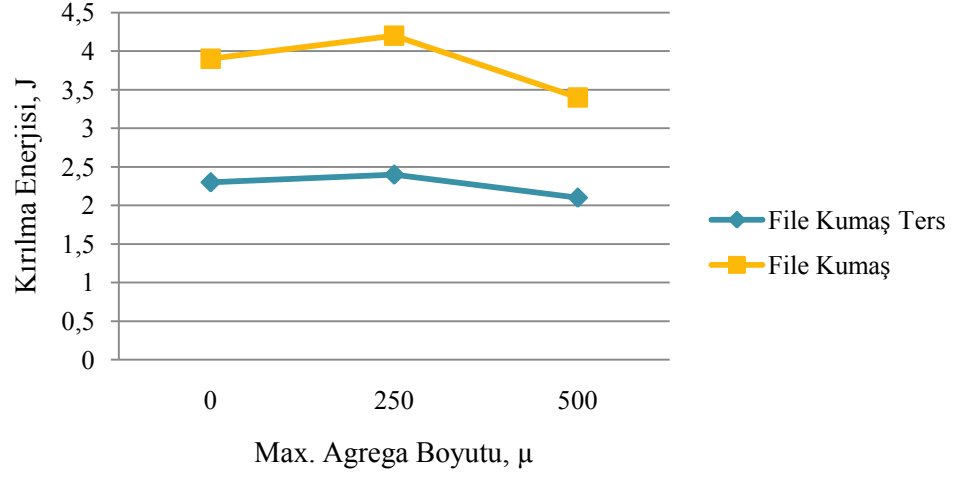
Şekil 5.12 : Çimento esaslı kompozitlerin eğilme dayanımları.

2FPG ile 2FPS arasındaki dayanım farkının ise donatı olarak kullanılan poliüretan çeşidine bağlı olduğu aşikârdır. Daha geniş boşluklara sahip PG kumaşı matris içerisinde sorun olmaksızın uygulanmıştır. Buna mukabil sık bir yapıya sahip PS kumaşı matris içerisinde boşluklara sebebiyet vermiştir. Söz konusu boşluklar şekil 5.13'te beyaz daire içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : Poliüretan kumaş içerisinde kalan boşluklar.

Şekil 5.14'te görüldüğü üzere mukavemeti yüksek olan numunelerde ise kırılma enerjileri ile maksimum agrega boyutu arasında belirgin bir ilişki vardır. Maksimum agrega boyutu 200 μ 'a kadar numuneler fazla enerji yutarken daha büyük agrega içeren numunelerde ise matrisin nüfuz etme sorunu başladığından dolayı kırılma enerjisi düşmüştür.



Şekil 5.14 : Max. Agregat boyutu-kırılma enerjisi ilişkisi.

Eğilme deneylerinden elde edilen veriler sonucunda; çalışma sırasında kullanılan malzemeler arasında en iyi performansa sahip kumaş cam filedir, cam filenin efektifliği hibrit yapı kullanılarak arttırılmıştır böylece daha ekonomik tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler üretilebilir.

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada mevcut teknoloji üretilen kompozit malzemelerden daha ekonomik ancak en az onlar kadar ya da onlardan daha mukavemetli bir ürün elde etme arayışı ile gerçekleştirilen; liflerin ve kumaşların fiziksel özelliklerini tespit etme amaçlı çekme deneyleri, matris-lif uygunluğunu ve kompozit malzemenin niteliklerini irdeleyen eğilme deneyleri yapılmış ve deneysel çalışmadan elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Nonwoven kumaşlar üretilirken liflerin, rastgele dağılması (kesikli liflerin kullanılan duruma benzer şekilde) lif etkinliğinde düşüşe neden olmuştur.
- Çeşitli yapıdaki kumaşlar değişen aderans özelliklerine bağlı olarak farklı performans göstermiştir.
- Zayıf çekme mukavemetine sahip kumaşlar ile takviye edilen kompozitlerin eğilme mukavemeti, daha yüksek performanslı kumaşlarla üretilenlerin eğilme mukavemetinden düşüktür.
- Kompozit birleşimindeki donatı miktarı ile mukavemet arasında ilişki mevcuttur. Tekstil miktarı arttıkça kompozit mukavemeti de artmıştır.
- Mukavemeti yüksek cam kumaş donatılı kompozitler uzun şekil değiştirme sertleşmesi sürecinin ardından, daha yüksek enerji yuturak, kontrollü ve kademeli olarak kırılmıştır.
- Düşük mukavemetli liflerin oluşturduğu kumaşlarla donatılı kompozit malzemelerde düşük mertebede şekil değiştirme sertleşmesi sürecinden sonra ani kırılma görülmüştür.
- Kumaşa matrisin emdirilmesi işlemi mekanik özelliklere katkıda bulunmuştur.
- Hibrid donatılar kullanılarak malzemenin etkinliği artırılmış böylece daha ekonomik ürünler elde edilebileceği görülmüştür.
- Hibrid donatılı kompozitler, uzun süreli şekil değiştirme sertleşmesi sürecinin ardından nihai gerilme değerine ulaşınca aniden göçmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Gibson, F., Ronald**, “Principles of Composite Material Mechanics”, McGraw Hills Inc., New York, (1994).
- [2] **Balaguru, P.N., Shah, S.P.**, “Fiber Reinforced Cement Composites”, McGraw Hills Inc., New York, 1992.
- [3] **Bentur, A., Mindess, S.**, “Fiber Reinforced Cementitious Composites”, *Elsevier Applied Science*, UK (1990).
- [4] **Peled, A., Bentur, A.**, “Fabric Structure and Its Reinforcing Efficiency in Textile Reinforced Cement Composites”, *Composites: Part A*, s. 34, 107-118 (2003).
- [5] **Wang, Y.**, “Utilization of Recycled Carpet Waste Fibers for Reinforcement of Concrete and Soil”, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, s. 383, 533-546 (1999).
- [6] **Taşdemir, M.**, “High performance fiber-reinforced cement based composites and their applications”, *İMO-JSCE Joint Symposium On Concrete Engineering Proceedings Book*, s. 1-16, İTÜ (2010).
- [7] **Peled, A., Sueki, S., Mobasher, B.**, “Bonding in Fabric -Cement Systems: Effects of Fabrication Methods”, *Materials and Structures, Cement and Concrete Research*, s. 36, 1661-1671 (2006).
- [8] **Pakravan, H. R., Jamshidi, M., Latifi, M.**, “Performance of Fibers Embedded in a Cementitious Matrix”, *Journal of Applied Polymer Science*, s. 116, 1247–1253 (2010).
- [9] **Jamshidi, M., Karimi, M.**, “Characterization of Polymeric Fibers as Reinforcements of Cement Based Composites”, *Journal of Applied Polymer Science*, s. 115, 2779–2785 (2010).
- [10] **State-of-the-Art Report of RILEM Technical Comitee**, “Textile Reinforced Concrete”, Germany, (2009).
- [11] **Peled, A., Bentur, A.**, “Geometrical Characteristics and Efficiency of Textile Fabrics for Reinforcing Cement Composites”, *Cement and Concrete Research*, s. 30, 781-790 (2000).
- [12] **Scheffler, C., Gao, S.L., Plonka, R., Mäder, E., Hempel, S., Butler, M., Mechtcherine, V.**, “Interphase Modification of Alkali-Resistant Glass Fibres and Carbon Fibres for Textile Reinforced Concrete I: Fibre Properties and Durability”, *Composites Science and Technology*, s. 69, 531- 538 (2009).
- [13] **Weichold, O.**, “Preparation and Properties of Hybrid Cement-in-Polymer Coatings Used for the Improvement of Fiber-Matrix Adhesion in Textile Reinforced Concrete”, *Journal of Applied Polymer Science*, s. 116, 3303-3309 (2010).
- [14] **Kurt, G.**, Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının GRC’nin Mekanik Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2006).
- [15] **Horikoshi, T., Ogawa, A., Saito, T., Hoshiro, H.**, “Properties of Polyvinylalcohol Fiber as Reinforcing Materials for Cementitious Composites”, *International Workshop on High Performance Fiber Reinforced*

- Cementitious Composites in Structural Applications*, Honolulu, HI, USA (2005).
- [16] **Uğur, A.**, Lif Donatılarının Yüksek Dayanımlı Betonlarda Yarma Dayanımı-Basınç Dayanımı İlişkisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2007).
- [17] **Arısoy, B.**, Lifli Hafif Betonların Optimum Karışım Tasarımı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005, s. 912-916.
- [18] **Shilang, X., and Qianghua, L.**, An Experimental Study on Bending Behaviour of Cementitious Composites Reinforced in Combination with Carbon Textile and Short-Cut PVA Fiber, Department of Civil Engineering, Dailan University of Technology, China.
- [19] **Ersoy, H. Y.**, Kompozit Mazleme, Literatür Yayınları: 66, İstanbul, (2001).
- [20] **Shuxin, W. and Victor, C. L.**, Polyvinly Alcohol Fiber Reinforced Engineered Cementitious Composites: Material Design and Performances, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, USA.
- [21] **Hegger, J., Voss, S.**, “Investigations on the Bearing Behaviour and Application Potential of Textile Reinforced Concrete”, *Engineering Structures*, 30, 2050-2056 (2008).
- [22] **Kato, J., Lipka, A., Ramm, E.**, “Multiphase Material Optimization for Fiber Reinforced Composites with Strain Softening”, *Struct. Multidisc. Optim.*, s. 39, 63-81 (2009).
- [23] **Peled, A., Cohen, Z., Pasder, Y., Roye, A., Gries, T.**, “Influences of Textile Characteristics on the Tensile Properties of Warp Knitted Cement Based Composites”, *Cement & Concrete Composites*, s. 30, 174-183 (2008).
- [24] **Yıldırım, H., Sertbaş, B. ve Berbergil, V.**, Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen ve Çelik Lif Kullanılmasının İşlenebilirliğe Etkisi, 7. Ulusal beton kongresi, İTÜ, İstanbul, Kasım 2007, s. 65-75.
- [25] **Holloway, L. C., Head, P. R.**, “Advanced Polymer Composite Materials and Their Components”, *Elsevier Science Ltd.*, s. 7-35, UK (2001).
- [26] **Url-1** <http://www.archprecast.org/documents/GFRC_handbook.pdf>, alındığı tarih 15.05.2010
- [27] **Scheffler, C., Gao, S.L., Plonka, R., Mäder, E., Hempel, S., Butler, M., Mechtcherine, V.**, “Interphase Modification of Alkali-Resistant Glass Fibres and Carbon Fibres for Textile Reinforced Concrete II: Water Adsorption and Composite Interphases”, *Composites Science and Technology*, s. 69, 905-912 (2009).
- [28] **Gao, S.L., Mader, E., Plonka, R.**, “Coatings For Glass Fibers in a Cementitious Matrix”, *Acta Materialia*, 52, 4745-4755 (2004).
- [29] **Sun, Z., Xu, Q.**, “Microscopic, Physical and Mechanical Analysis of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete”, *Materials Science and Engineering, A* 527, s. 198-204 (2009).
- [30] **Peled, A., Bentur, A., Yankelevsky, D.**, “Effects of Woven Fabric Geometry on the Bonding Performance of Cementitious Composites”, *Advanced Cement Based Materials*, s. 7, 20-27 (1998).
- [31] **Soranakom, C., Mobasher, B.**, “Geometrical and Mechanical Aspects of Fabric Bonding and Pullout in Cement Composites”, *Materials and Structures*, s. 42, 765-777 (2009).

- [32] **Mobasher, B., Peled, A., Pahilajani, J.,** “Distributed Cracking and Stiffness Degradation in Fabric-Cement Composites”, *Materials and Structures*, s. 39, 317- 331 (2006).
- [33] **Peled, A., Mobasher, B., Cohen, Z.,** “Mechanical properties of hybrid fabrics in pultruded cement composites”, *Cement & Concrete Composites* 31, s. 647–657 (2009).
- [34] **Bentur, A., Peled, A., Yankelevsky, D.,** “Enhanced Bonding of Low Modulus Polymer Fibers-Cement Matrix by Means of Crimped Geometry”, *Cement and Concrete Research*, s. 27, 7, 1099-1111 (1997).
- [35] **Offerman, P., Köckritz, U., Abdkader, A., Engler, T., Waldman, M.,** “Anforderungsgerechte Bewehrungsstrukturen für den Einsatz im Betonbau (*Application oriented textile reinforcements for the use in concrete building*)”, *Proceedings of the 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures*, Dresden (2003).
- [36] **Mäder, E., Plonka, R., Schiek, M., Hempel, R.,** “New Possibilities: Coatings on Alkali Resistant Glass Fibers for the Improvement of Concrete”, *Techtextil-Symposium*, Lecture 4.12 (2003).
- [37] **Sadikoğlu, G., T.,** “Nonwoven Tekstil Malzemeleri Ders Notu”, İTÜ Tekstil Mühendisliği Bölümü, s. 28-67 (2003).
- [38] **Goetmann, J., A., Boylan, R., J.,** “Printable, High-Strength, Tear-Resistant Nonwoven Material And Related Method Of Manufacture”, *United States Patent*, Patent No: 5403444, Patent Date: April, 1995.
- [39] **Peled, A.,** “Properties of Fabric-Cement Composites Made by Pultrusion”, *Materials and Structures*, 39, s. 787-797 (2006).
- [40] **Peled, A., Zaguri, E., Marom, G.,** “Bonding Characteristics of Multifilament Polymer Yarns and Cement Matrices”, *Composites: Part A*, 39, 930-939 (2008).
- [41] **Shekar, V.,** Effect Of Fiber Architecture On Properties Of Pultruded Composites, Postgraduate Thesis, West Virginia University Department of Mechanical and Aerospace Engineering, West Virginia, (2007).
- [42] **Gangarao, Hota, V. S., Taly, N., Vijay, P., V.,** “Reinforced Concrete Design With FRP Composites”, Taylor & Francis Group, LLC, 63–77 (2007).
- [43] **Akçay, B., Tasdemir, M.,** “Internal curing of mortars by lightweight aggregates and its effects on hydration”, *Canadian Journal of Civil Engineering* Vol. 35, s. 1276-1284 (2008).
- [44] **May, E., Jones, M.,** “Conservation Science”, *The Royal Society of Chemistry*, s.56-91, UK (2001).
- [45] **Hu, H., Zhang, M., Fanguerio, R., De Arajao, M.,** “Mechanical Properties of Composite Materials Made of 3D Stitched Woven-knitted”, *Journal of Applied Polymer Science* (2010).

EKLER

EK.A : Terminoloji

EK.B : Kalenderleme İşlemi

EK.C : Cam fiber üretimi

EK.D : Fiber yapısı

EK.E : Örgü türleri

EK.A : Terminoloji

Fiber (lif) : Kumaş ve diğer tekstil yapılarının temel ögesini 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 fiberler (eğirilmiş iplik).
- Bir dizi bükülmeden serilen fiberler (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 fiberin gram olarak ağırlığına eşittir.

Çözü : 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.

Woven (dokuma) kumaş : Genellikle atkı ve çözgü ipliklerinin oluşturduğu kumaştır. İki seri ipliğin birbirlerine dolanma şekli dokuma türünü belirler. Üç temel

dokumanın (düz, dimi, saten) farklı kombinasyonlarda kullanılmasıyla çok sayıda dokuma türü elde edilir.

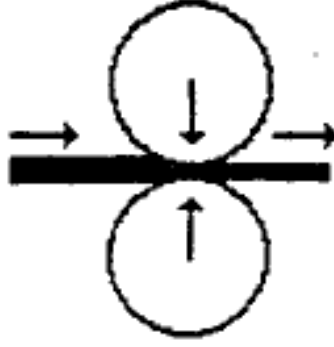
Spacer kumaş

: 3 boyutlu iplik yapısı ve tekstil yapısı ile 3D tekstillerin özel türüdür. Betondaki uygulamalarda kullanımı için özellikle çözgü örgülü spacer kumaşlar büyük öneme sahiptir.

Nonwoven (dokunmamış) kumaş

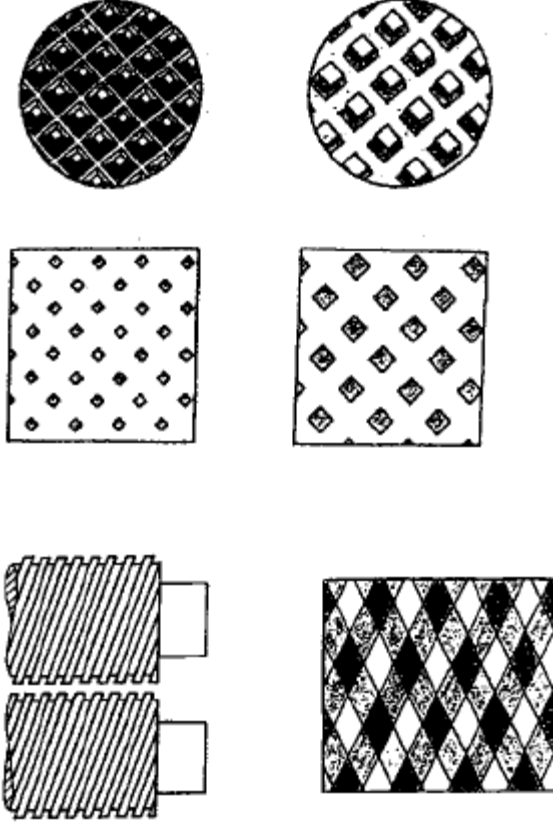
: Gelişigüzel ağ ya da hasırdaki mekanik kenetlenmeyle, fiberlerin erimesiyle (termoplastik fiber olması halinde) ya da bağlama maddesiyle bağlanması ile birlikte tutulan tekstil fiberlerine verilen ad.

EK.B : Kalenderleme İşlemi



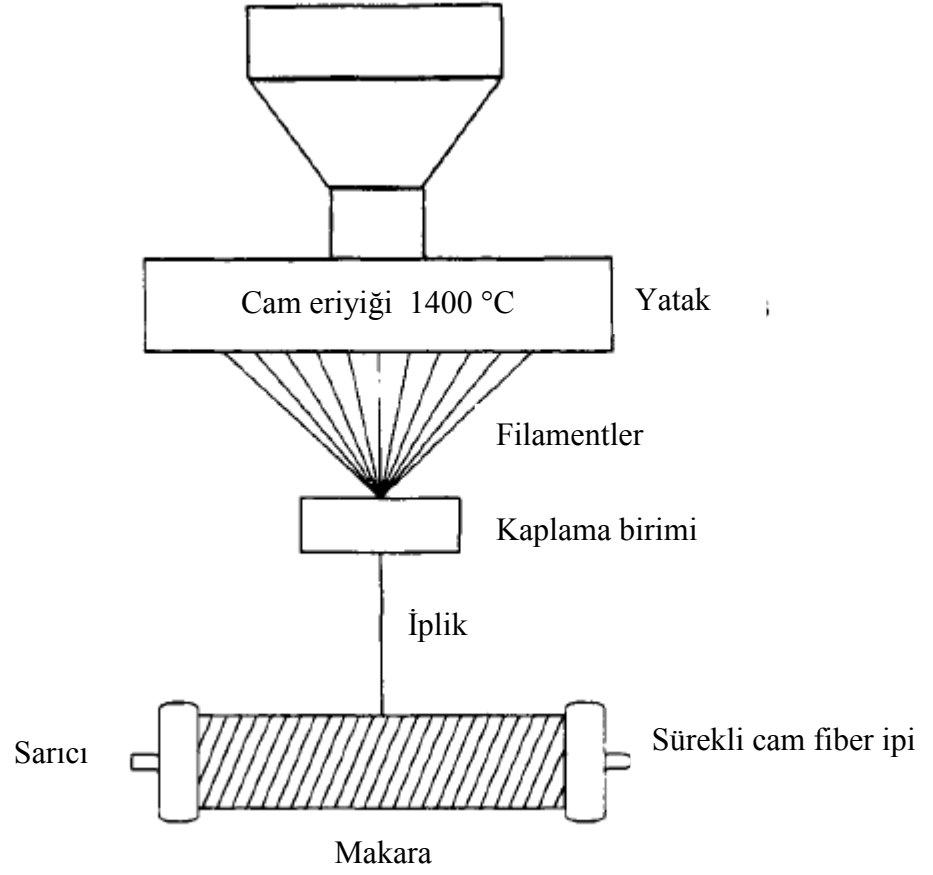
Şekil B.1 : Kalender silindirleri [37].

a) Silindir yüzeyinin desenleri b) Kumaş yüzeyinin görüntüsü



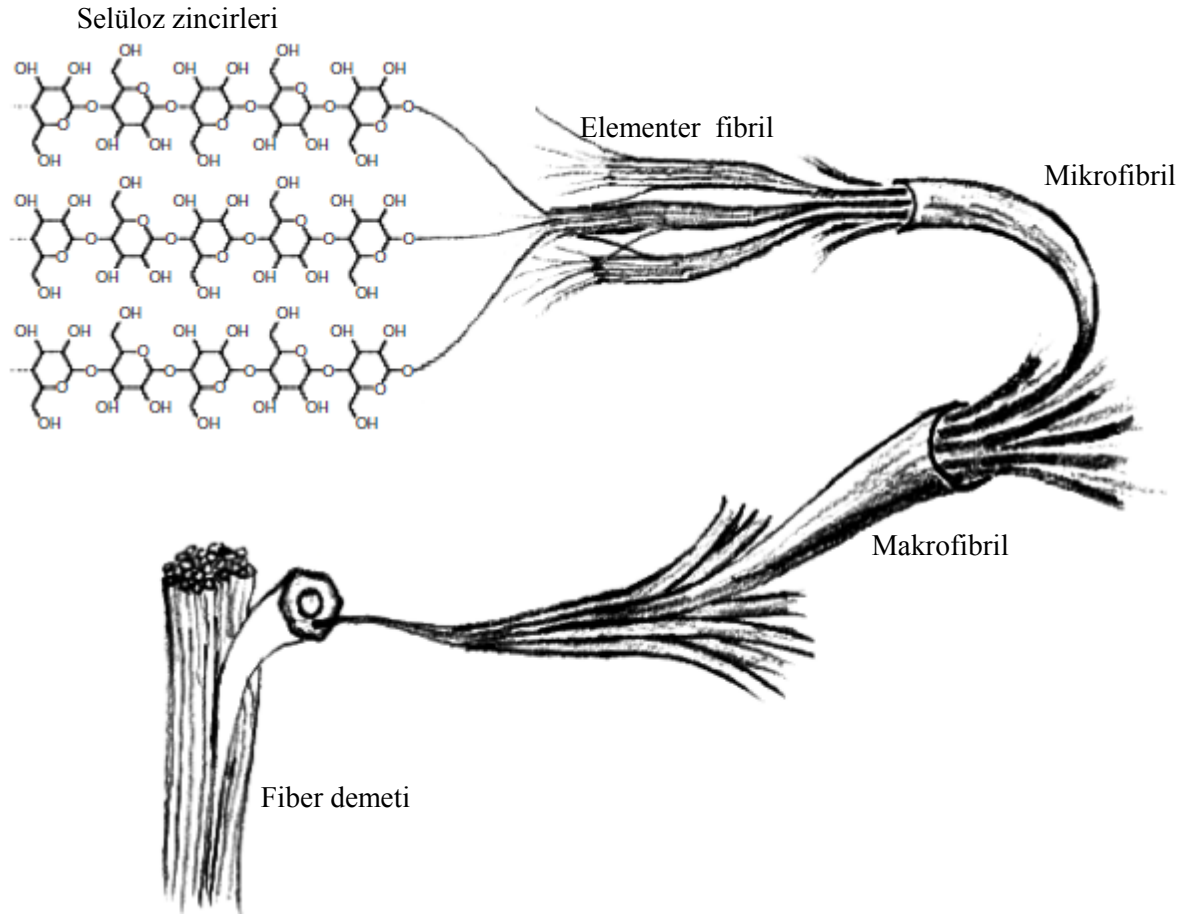
Şekil B.2 : Silindir deseni tipleri [37].

EK.C : Cam fiber üretimi



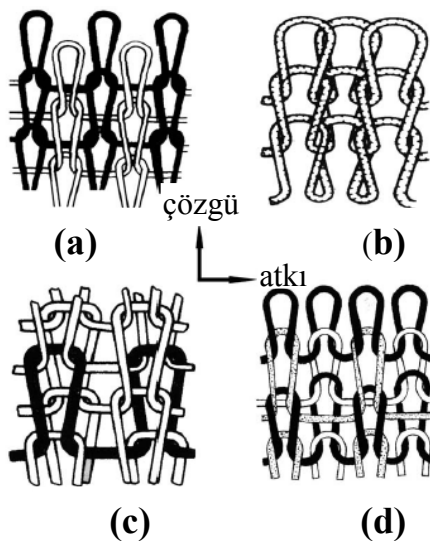
Şekil C.1 : Cam fiber üretim işleminin şematik temsili [25].

EK.D : Fiber yapısı



Şekil D.1 : Selüloz zincirlerinden fibere keten ipliğinin hiyerarşik mikroyapısı [43].

EK.E : Örgü türleri



Şekil E.1 : Örölmüş yapılar: a) düz, b) interlok, c) 1*1 rib, d) milano örgü [44].

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Reşat ÇELİK
Doğum Yeri ve Tarihi : Bakırköy/İSTANBUL – 19/06/1985
Lisans Üniversite : Yıldız Teknik Üniversitesi – 2009