

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEKSTİL YAPILARININ BİNA GÜÇLENDİRMEDE
KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR BAŞEV

DENİZLİ, OCAK - 2022

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TEKSTİL YAPILARININ BİNA GÜÇLENDİRMEDE
KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERDAR BAŞEV

DENİZLİ, OCAK - 2022

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

SERDAR BAŞEV

ÖZET

**TEKSTİL YAPILARININ BİNA GÜÇLENDİRMEDE KULLANIMI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SERDAR BAŞEV
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. GÜNGÖR DURUR)
DENİZLİ, OCAK - 2022**

Estetik ve dekoratif amaç yerine fonksiyonel özelliğe sahip tekstil ürünleri teknik tekstil kategorisinde yer almaktadır. Teknik tekstil ürünlerin kullanıldığı çok farklı alanlardan bir diğeri de inşaat ve yapı malzemeleridir.

İnşaat yapılarında güçlendirme amacıyla karbon liflerinden elde edilen dokuma kumaşlar kullanılmaktadır. Karbon esaslı dokuma kumaşların fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak güçlendirmedeki etkisi araştırma konusudur. Karbon lifi, düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet içeren yapısıyla güçlendirme alanında öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, 12K 800 tex ve 24K 1600 tex numaralı karbon iplikleri ile farklı örgü konstrüksiyonlarında dokuma kumaş üretilmiştir. Tek yön (çözü yönünde) ve çift yön (atkı ve çözü yönünde) dokunarak kumaşların örgü konstrüksiyonlarının beton kirişlerin eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir.

Özel tasarımı dokuma makinalarında üretilen kumaşlar, beton kalıplara epoksi yapıştırıcı ile uygulanmış, sertleşmiş beton deneylerinden biri olan eğilme testi ile ölçümler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre tek yön (çözü yönünde) karbon kumaşlarda ortalama olarak 12 K kumaşlar 24 K kumaşlara göre eğilme dayanımına daha çok katkı verdiği tespit edilmiştir. 12 K çift yön kumaşlarda ise sıklık ve birim alan ağırlığı artıka eğilme dayanımına etkisinin azaldığı ölçülmüştür. Karbon kumaş uygulanmış beton numunelerin eğilme dayanımı kumaş olmayan şahit beton numunelerine göre dikkate değer ölçüde artış göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Karbon Kumaş, Dokuma Karbon Kumaş, CFRP, Kiriş Dayanımı, Bina Güçlendirme, Yüksek Performans Lifleri

ABSTRACT

A RESEARCH ON THE USE OF TEXTILE STRUCTURES IN BUILDING REINFORCEMENT

MSC THESIS

SERDAR BAŞEV

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

TEKSTİLE ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. GÜNGÖR DURUR)

DENİZLİ, JANUARY 2001

Textile products with functional features rather than aesthetic and decorative purposes are in the technical textile category. One of the areas where technical textile products are used is construction and buildings.

Woven fabrics obtained from carbon fibers are used for reinforcement in buildings and constructions.

The effect of carbon-based woven fabrics on strengthening depending on their physical and chemical properties is the subject of research. Carbon fiber stands out in the field of reinforcement with its low density and high strength structure. In this study, woven fabrics in the different fabric structure were produced with carbon yarns of 12K 800 tex and 24K 1600 tex. The effects of weaving fabrics in one direction (warp direction) and both direction (warp and weft direction) on the bending strength of concrete beams of fabric structure were investigated.

Fabrics produced on specially designed weaving machines were applied to concrete molds with epoxy adhesive, and measurements were made with the bending test, which is one of the concrete tests.

According to the results of the experiment, it was determined that the fabrics produced from 12 K in unidirectional (warp direction) carbon fabrics contributed more to the bending strength than the fabrics produced from 24 K. It has been measured that the effect on bending strength decreases as the density and unit area weight increase in bidirectional fabrics produced from 12 K. The bending strength of the carbon fabric applied concrete samples increased significantly compared to the non-fabric concrete samples.

KEYWORDS: Carbon Fabric, Woven Carbon Fabric, CFRP, Beam Strength, Building Reinforcement, High Performance Fibres

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Teknik Tekstil Hakkında	1
1.1.1 Teknik Tekstillerin Sınıflandırılması	1
1.1.2 Teknik Tekstillerin Gelişimi.....	2
1.1.3 İnşaat ve Yapı Tekstilleri (Buildtech)	3
1.1.3.1 Membran Konstrüksiyonunda Kullanılan İnşaat Tekstilleri	4
1.1.3.2 Geçici (Değiştirilebilen) Yapılarda Kullanılan İnşaat Tekstilleri	4
1.1.3.3 Barajlarda Kullanılan İnşaat Tekstilleri	5
1.1.3.4 Köprülerde Kullanılan İnşaat Tekstilleri.....	6
1.1.3.5 İnşaat Sırasında Kullanılan Yardımcı İnşaat Tekstilleri	7
1.1.3.6 İnşaat Yapımında Kullanılan İnşaat Tekstilleri.....	7
1.1.4 Diğer Teknik Tekstil Sınıfları.....	10
1.2 Beton Hakkında.....	13
1.2.1 Beton Tarihçesi.....	14
1.2.2 Beton Sınıflandırılması.....	15
1.3 Reçineler Hakkında	17
1.3.1 Reçine Sınıfları	18
1.3.2 Epoksi Reçineler.....	20
2. TEKSTİL TAKVİYELİ UYGULAMALAR	23
2.1 Yüksek Performans Lifleri	24
2.1.1 Karbon Lifleri	25
2.1.1.1 Karbon Lifleri Tarihçesi.....	27
2.1.1.2 Karbon Lifleri Çeşitleri	27
2.1.1.2.1 Rayon Temelli Karbon Lifleri	29
2.1.1.2.2 Zift Temelli Karbon Lifleri.....	31
2.1.1.2.3 PAN Temelli Karbon Lifleri.....	32
2.1.2 Diğer Yüksel Performans Lifleri	35
2.2 İnşaatta Güçlendirme Alanında Karbon Lifleri İçeren Tekstil Yapıları.....	47
2.2.1 Çözümlü Örme-Multiaksiyel Kıvrımsız Karbon Kumaşlar (Non Crimp Fabrics -NCF)	47
2.2.2 Dokuma Kumaşlar	50
2.2.2.1 Tek Yön Kumaşlar	52
2.2.2.2 Çift Yön Kumaşlar	52
2.2.2.3 Kumaşlarda Dokuma Konstrüksiyon	53
2.2.2.4 Kumaş Üretiminde Dokuma Makineleri.....	55
2.2.3 İnşaatta Güçlendirmede Karbon Kumaş Uygulama Şekilleri.....	56

2.2.3.1	Dikey Elemanlarda Uygulamalar	57
2.2.3.2	Yatay Elemanlarda Uygulamalar	57
3.	LİTERATÜR BİLGİSİ	59
4.	MATERYAL VE METOT	67
4.1	Dokuma Kumaş Aşaması	67
4.1.1	Dokuma Kumaşların Belirlenmesi	67
4.1.2	Dokuma Kumaşların Üretilmesi	71
4.1.3	Dokuma Kumaşların Numaralandırılması	73
4.2	Beton Numune Hazırlama Aşaması	73
4.3	Uygulama Metodu	78
4.3.1	Kumaşların Hazırlanması	79
4.3.2	Epoksi Uygulama Aşaması	81
4.3.3	Kumaşların Betona Uygulanması	82
4.4	Test ve Deney Aşaması	85
5.	BULGULAR	88
5.1	Şahit Numunelerde Bulgular	88
5.2	Tek Yön 12 K Kumaşlarda Bulgular	89
5.3	Tek Yön 24 K Kumaşlarda Bulgular	92
5.4	Çift Yön 24 K Kumaşlarda Bulgular	98
6.	DEĞERLENDİRME	100
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	103
8.	KAYNAKLAR	105
9.	ÖZGEÇMİŞ	114

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Membran çatı uygulaması Greenwich Millenium Dome	4
Şekil 1.2: Fuar amaçlı çadır örneği	5
Şekil 1.3: Sulama amaçlı yapılmış gölette tekstil ürünü kullanımı	6
Şekil 1.4: Norveç'te FRP uygulaması ile yapılmış köprü	6
Şekil 1.5: İnşaatlarda güvenlik ağı uygulaması	7
Şekil 1.6: Su izolasyonu için kullanılan tekstil ürünü	8
Şekil 1.7: Isı izolasyonu için keçeler	8
Şekil 1.8: Ses izolasyonu için üretilmiş keçe	9
Şekil 1.9: Yüksek performans lifleri içeren beton	9
Şekil 1.10: Binalarda güçlendirme uygulaması a) Yan duvar güçlendirmesi b) Kolon güçlendirmesi	10
Şekil 1.11: Tiplerine göre agrega çeşitleri a) iri kırma b) ince kırma c) çakıltaş d) ince çakıltaş e) orta kırma f) kum kırmataş karışımı	13
Şekil 1.12: Klinker	14
Şekil 1.13: Epoksit grupları	20
Şekil 1.14: Disglisidil eter bisfenol-A	20
Şekil 1.15: Dietilen triamin	20
Şekil 1.16: Çapraz bağlanmış epoksi molekülünün reaksiyonu	21
Şekil 1.17: Şertleştirici ile kürlenmiş epoksi molekülleri çapraz bağları	22
Şekil 2.1: Yüksek performans lifleri	25
Şekil 2.2: Rayon lifinden karbon lifi üretim şeması	29
Şekil 2.3: Selüloz Karbon Lifine Dönüşü	30
Şekil 2.4: Rayon temelli karbon lifinin mikroskobik görüntüsü	31
Şekil 2.5: Katrandan Üretim Prosesi	31
Şekil 2.6: PAN temelli karbon lifi üretimi genel aşamaları	33
Şekil 2.7: Oksidasyon sırasında kimyasal değişim	33
Şekil 2.8: Pan lifi oksidasyon işlemi sırasında a) Ham PAN öncülü, (b) kimyasal ön işlem sonrası PAN,(c-d) stabilize olmuş PAN lifindeki renk değişimi	34
Şekil 2.9: Karbonizasyon işlemi sırasında kimyasal değişim	34
Şekil 2.10: AB homopolimer sentezi	36
Şekil 2.11: Meta-aramid	36
Şekil 2.12: Para-aramid	36
Şekil 2.13: Paramid sentezi	37
Şekil 2.14: Metaramid sentezi	37
Şekil 2.15: Kuru jet-yaş lif çekim yönteminde sıvı kristalin çözeltilisinden lif çekimi	38
Şekil 2.16: Bazalt üretim hattı	40
Şekil 2.17: Cam lifi üretimi doğrudan eriyikten çekim	45
Şekil 2.18: Bilye oluşumu ile cam elyaf üretimi	45
Şekil 2.19: Multiaksiyel kumaş tipleri a) uniaksiyel b) biaksiyel c) triaksiyel	48
Şekil 2.20: Dikiş tipi a) zincir dikiş b) Triko dikiş c) düz dikiş	48

Şekil 2.21: Multiaksiyel kumaş örneği a) +45°-45° açı ile zincir dikiş ile üretilmiş multiaksiyel kumaş b) 0°-90° ile trikot dikiş ile multiaksiyel üretilmiş kumaş örneği	49
Şekil 2.22: Quadroaksiyel kumaş şeması	49
Şekil 2.23: Çözümlü örme makinesi.....	50
Şekil 2.24: Dokuma Kumaş Oluşumu	51
Şekil 2.25: Temel dokuma desenleri a) bez ayağı b)dimi c) saten	51
Şekil 2.26: Tek yön karbon dokuma kumaş	52
Şekil 2.27: Çift yön dokuma karbon kumaş a) bez ayağı desen b) 2/2 dimi desen c) 4/1 saten desen	53
Şekil 2.28: Dokuma makinesi.....	55
Şekil 3.1: Deney giriş kesiti.....	60
Şekil 3.2: 45° açı ile güçlendirme yapılmış giriş numunesi	60
Şekil 3.3: 45 °'lik açı il CFRP uygulaması deney numunesi sonucu	61
Şekil 3.4: Güçlendirme numune örneği.....	61
Şekil 3.5: CFRP ile güçlendirilmiş girişin 4 nokta testi ile eğilme dayanımı ölçümü.....	62
Şekil 3-6: Sargı olarak ve tabanda CFRP kullanımı ile güçlendirme.....	63
Şekil 3.7: Deney grup 1	64
Şekil 3.8: Grup deney numuneleri a) CFRP ile güçlendirme b)U şeklinde cam kumaş uygulaması c)L şeklinde yapılan.....	64
Şekil 3.9: Karbon kumaş uygulama şekli	66
Şekil 4.1: Karbon elyaf (ipliği) a) 12K b) 24 K.....	68
Şekil 4.2: 3 nokta eğilme dayanımı testinin numune ölçülendirme ölçeği.....	73
Şekil 4.3: Beton giriş numune kalıbı	75
Şekil 4.4: Beton numunesi şişleme işlemi	76
Şekil 4.5: Çekiç ile boşluk giderme	77
Şekil 4.6: Mala ile yüzey düzeltme	77
Şekil 4.7: Kür havuzunda bekletilen giriş numuneleri	78
Şekil 4.8: Numune kumaş kesim için ölçümü	79
Şekil 4.9: Karbon kumaşların kesimi a) Çift yön kumaş b) Tek yön kumaş....	80
Şekil 4.10: Kumaşlar kesilip uygulanacağı numune ile eşleştirildi.....	80
Şekil 4.11 Epoksi hazırlama aşaması a) Epoksi Komponentleri b) Epoksi Karışımı Hazırlanması:	82
Şekil 4.12: Epoksi girişe uygulanması	83
Şekil 4.13: Karbon kumaşın yapıştırılması.....	83
Şekil 4.14: Rulo ile düzeltme	84
Şekil 4.15: Uygulama yapılan numuneler	84
Şekil 4.16: Giriş işaretlemesi.....	85
Şekil 4.17: Numune yerleşim	87
Şekil 5.1: Şahit numune eğilme testi a) Eğilme testi sonucu kırılmış şahit numune örneği b) şahit numune eğilme testi.....	89
Şekil 5.2: Şahit numunelerin partilere göre ortalama eğilme testi sonuçları....	89
Şekil 5.3: 12 K Tek yön karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme numuneleri eğilme test sonuçları.....	91
Şekil 5.4: 12K Tek yön kumaş numunesi testi a) Kırılma anı b) Kırılmış numune	91
Şekil 5.5: 24 K Tek yön karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme numuneleri eğilme test sonuçları.....	92

Şekil 5.6: 24 K Tek yön kumaş numunesi testi a) Kırılma anı	
b) Kırılmış numune	92
Şekil 5.7: 300gr/m ² tek yön karbon kumaşların eğilme testi sonuçları	94
Şekil 5.8 12 K Çift yön numune testi a) Kırılma anı b) Kırılmış numune.....	96
Şekil 5.9: 400 gr/m ² 12 K çift karbon dokuma kumaşların	
eğilme test sonuçları.....	96
Şekil 5.10: 600 gr/m ² 12 K çift karbon dokuma kumaşların eğilme	
test sonuçları.....	97
Şekil 5.11: 12 K 2/2 dimi karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme	
numuneleri eğilme test sonuçları.....	97
Şekil 5.12: 12 K Bezayağı karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme	
numuneleri eğilme test sonuçları.....	98
Şekil 5.13: 600 gr/m ² 2/2 dimi kumaşların eğilme test sonuçları	98

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları.....	16
Tablo 1.2: Normal ve ağır beton için basınç dayanım sınıfları	17
Tablo 1.3: Çok kullanılan termoplastik reçinelerin özellikleri.	18
Tablo 1.4: Çok kullanılan termoset reçinelerin özellikleri.....	19
Tablo 2.1: Son işlem sıcaklığına göre karbon lif sınıfları	28
Tablo 2.2: Modüllerine göre karbon liflerin sınıfları	28
Tablo 2.3: Karbon lif verimi	28
Tablo 2.4: Zift temelli karbon liflerinin fiziksel özellikleri	32
Tablo 2.5: PAN temelli karbon liflerinin fiziksel özellikleri	35
Tablo 2.6: Aramid liflerinin fiziksel özellikleri	38
Tablo 2.7: Bazalt liflerinin kimyasal içeriği.....	40
Tablo 2.8: Bazalt mekanik, elektriksel, kimyasal termal özellikleri.....	42
Tablo 2.9: Cam liflerinin tipleri	43
Tablo 2.10: Cam liflerinin tiplerine moleküllerin ağırlık olarak %	44
Tablo 2.11: Cam liflerin fiziksel özellikleri	46
Tablo 4.1: Tek yön 12 K karbon kumaşlar.....	69
Tablo 4.2: Tek yön 24 K karbon Kumaşlar.....	69
Tablo 4.3: Çift yön 24 K karbon kumaş.....	70
Tablo 4.4: Çift yön 12 K karbon Kumaşlar.....	70
Tablo 4.5: Numunelerde kullanılan karbon iplikler	71
Tablo 4.6: Spinteks A.Ş. tarafından üretilen numune kumaşların isimleri	72
Tablo 4.7: Numune kumaşların numaralandırılması.....	74
Tablo 4.8: Şahit kiriş numuneleri.....	75
Tablo 4.9: Beton karışım oranı.....	76
Tablo 4.10: Spn Ep 225 epoksinin özellikleri	81
Tablo 5.1: Şahit numune eğilme test sonuçları	88
Tablo 5.2: Tek yön 12 K dokuma karbon kumaş ile yapılan güçlendirme eğilme dayanım sonuçları.....	90
Tablo 5.3: Tek yön 24 K karbon dokuma kumaş ile yapılan güçlendirme için kirişlerin eğilme dayanımı sonuçları	93
Tablo 5.4: Çift yön 12 K karbon kumaş ile güçlendirilmiş kiriş test sonuçları	95
Tablo 5.5: Çift yön 24 K güçlendirme yapılmış kumaş eğilme dayanımı sonuçları	999

SEMBOL LİSTESİ

cm³	:	Santimetre Küp (Hacim birimi)
GPa	:	Gigapaskal
MPa	:	Megapaskal
°C	:	Santigrat Derece
µm	:	Mikrometre
µ	:	Mikron
MHz	:	Megahertz
W/Mk	:	İletkenlik katsayısı
g/m²	:	1 m ² kumaşın ağırlığı
Tex	:	İplik numaralandırma sistemi
cl	:	Santilitre
g	:	Gram
m³	:	Metreküp (hacim birimi)
mK	:	Metre kelvin derecesi
W	:	Watt (Güç birimi)
m²	:	Metrekare (alan birimi)
K	:	Karbon ipliğindeki lif sayısı, bin adet
kN	:	Kilonewton (kuvvet birimi)
N	:	Newton (kuvvet birimi)
Mm	:	Milimetre (uzunluk birimi)
Ω cm	:	Elektriksel direnç
Ppm	:	Milyonda parça (piece per millione)
FRP	:	Lif takviyeli plastik
CFRP	:	Karbon fiber takviyeli plastik

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgisini, deneyimini ve desteklerini paylaştan değerli danışmanım Prof. Dr. Güngör DURUR'a; tez hazırlama aşamasında değerli katkılarını ve desteklerini paylaştan Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN'e, yüksek lisans eğitim hayatı süresince desteklerini esirgemeyen ayrıca tez sırasında kullanılan karbon kumaş ve epoksi malzemelerin tedariki için işyerim Spinteks Tekstil İnşaat San. Tic. A.Ş. yönetim kurulu başkanı Sn. Ahmet USLU'ya, Genel Müdürü Sn. Ö. Yalın AYDIN'a, mesai arkadaşlarım Ayşe SEZER'e, Açelya ÖZŞAHİN'e, İsmail ÇAPUTÇU'ya; beton numunelerini hazırlanması sırasında verdikleri destek için Akça Hazır Beton San. ve Tic. A.Ş.'ye ve değerli yetkilisi Osman ÇAM'a, test hizmetleri için Feblab Yapı Malzemeleri Test ve Kalibrasyon Laboratuvarı San. Tic. Şti.'ne ve yetkili Osman DEMİRKIRAN'a teşekkür ederim.

Bu süreç boyunca hep yanımda olup her türlü desteğini veren eşim Şenay ÜNLÜ BAŞEV'e, oğlum İbrahim Güney BAŞEV'e uzakta olsalar da desteklerini paylaştan annem Ayten BAŞEV'e ve babam İbrahim BAŞEV'e sonsuz teşekkürler.

1. GİRİŞ

Teknik tekstiller farklı amaçlarda insanlığın faydası için kullanılan tekstil alanlarındandır. İnşaat ve bina güçlendirme tekstilleri konu olarak teknik tekstillerin bir alt dalıdır. Bu tez çalışması kapsamında karbon dokuma kumaşlarla elde edilmiş olan teknik tekstillerin kırılganlıkta kullanılmasıyla eğilme dayanımını artırması incelenecektir.

1.1 Teknik Tekstil Hakkında

İnsanlar çağlar boyunca temel olarak örtünme (clothing) amaçlı olarak doğada var olan bitki ve hayvansal kaynaklı materyalleri kullanmıştır. Maslow (1943) temel insan motivasyon kaynağı olarak belirttiği ihtiyaçlar hiyerarşisinde temel fizyolojik ihtiyaç kategorisinde giyinme/örtünme kavramını tanımlamıştır. Zaman içinde insanların yeni üretim teknikleri bularak farklı amaçlar doğrultusunda tekstil materyallerini kullanmaya başlamıştır. Temel olarak giyinme, dekoratif ve yaşanılan yerler içinde kullanılan tekstil ürünleri için farklı kavramlar kullanılmaya başlamıştır. Textile Institute'ün yayınlamış olduğu "Tekstile Terms and Definitions (1995)" kitabında teknik tekstiller, estetik ve dekoratif karakteristiklerinden ziyade, öncelikli olarak teknik performans ve fonksiyonel özellikleri için üretilmiş tekstil materyalleri ve ürünleridir (Byrne 2000). Başka bir ifade ile teknik tekstiller, Kosıyanon (2003) tarafından yüksek teknik ve kalite gerekliliklerini karşılayan (mekaniksel, ısı, elektriksel, dayanıklılık vs.) ve teknik fonksiyonları olan materyallerdir (Mecit ve diğ. 2007). Mecit ve diğ. (2007) ise konvansiyonel giysiler dışında kalan diğer tüm tekstiller teknik tekstillerdir şeklinde tanımlamıştır.

1.1.1 Teknik Tekstillerin Sınıflandırılması

Teknik tekstiller son yüzyıl içinde gelişim göstermiş, farklı alanlarda üretim teknolojisi ve kullanılan materyallerden bağımsız konu olarak uzmanlaşmaya doğru

yol almıştır. 1980’li yılların sonuna doğru Almanya’da Frankfurt’ta düzenlenen teknik tekstil fuarı olan Messe Frankfurt tarafından 12 uygulama konusu belirlenmiştir (Byrne 2000). Yine Japonya Osaka’da da bu uygulama alanları benimsenmiştir (Byrne 2000). Belirlenen teknik tekstil alanları şu şekilde belirtilmiştir:

- İnşaat ve yapı tekstilleri (Buildtech)
- Tıbbi ve hijyenik teknik tekstilleri (Medtech)
- Jeotekstiller teknik tekstilleri (Geotech)
- Koruyucu teknik tekstiller (Protech)
- Endüstriyel teknik tekstiller (Indutech)
- Taşımacılık teknik tekstilleri (Mobiltech)
- Spor teknik tekstilleri (Sporttech)
- Ambalaj teknik tekstilleri (Pachtech)
- Ekolojik teknik tekstiller (Oekotech)
- Tarım teknik tekstilleri (Agrotech)
- Ev teknik tekstilleri (Hometech)
- Giyim teknik tekstilleri (Clothtech)

Bu alanlar dışında gelecekte farklı alanlarda bu sıralamaya dahil olabilir. Özellikle akıllı teknik tekstiller ve gıda teknik tekstillerinin bu alanlara dahil olabilecektir. Bu çalışmanın konusu olan inşaat tekstilleri kapsamlı olarak diğerleri ise nispeten daha dar kapsamda açıklanmıştır.

1.1.2 Teknik Tekstillerin Gelişimi

Tarih boyunca insanlık temel giyinme amacı dışında farklı amaçlar için tekstil materyallerini kullanmıştır. Sistemik olarak sınıflandırılmasa da bitkisel ve hayvansal kaynaklı hammaddelerden meydana getirdiği tekstil ürünlerini kullanmıştır. Genelde korunma, barınma, avcılık, taşıma ve amaçlı olarak tekstil ürünlerinden faydalanmıştır. Balık ağları, oltalar ve tuzakları avcılık amacıyla kullanırken kenevir liflerinden yapılan halatlar yük kaldırma, taşıma amaçlı olarak kullanılmıştır. Ağır pamuklu kumaşlardan yapılan yelken bezleri denizcilikte, yün liflerinden keçeler çok farklı alanlarda örnek olarak çobanların abalarında değerlendirilmiştir. Tekstil

ürünlerinden çadırlar barınma amacıyla geliştirilmiştir. Kerpiç içinde kullanılan saman modern anlamda inşaat alanında kullanılan tekstil liflerinin bir benzeri olarak değerlendirilebilir.

Teknik tekstillerin gerçek anlamda gelişimini 20. yüzyılda olduğunu belirtilmektedir (Byrne 2000). Temel olarak lif teknolojisinde gerçekleşen gelişmeler teknik tekstil sektöründe ilerlemeye yol açmıştır. 1910 yılında viskoz rayon lifi bulunmuş ve 1920 yılından itibaren lastiklerde kullanılmaya başlamıştır. Asıl gelişmeler 1939 yılında polyamid liflerinin bulunmasıyla başlamıştır. Esneklik, nem dayanımı, yüksek mukavemet ve aşınma dayanımından dolayı birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Zamanla polyester lifleri 1950'li yıllarda ucuz dayanıklı lif seçeneği ile birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. 1960'larda poliolefin lifleri ile paketlenme, mobilya, halı vb. alanlarda yaygınlaşmaya başlarken, yüksek performans lifleri diye tabir edilen lifler ortaya çıkmış 20. Yüzyılın 2. yarısında gelişim göstermiştir. Bu grupta yer alan karbon lifleri 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Düşük yoğunluk yüksek mukavemet ile kullanım alanı genişlemektedir. Yine bu grupta yer alan cam lifleri 1931 yılında, bazalt lifleri 1960 yılında, aramid lifleri 1970 yılında kullanılabilir olarak pazara sunulmuştur.

Lif teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler genellikle 20 YY ortasında ve sonrasında olduğunu görülmektedir. Buna bağlı olarak liflerin kumaş yapılarına (örme, dokuma, non woven) dönüştürme teknolojileri de 1970'li yıllardan itibaren gelişmeye başlamıştır.

1.1.3 İnşaat ve Yapı Tekstilleri (Buildtech)

İnşaat ve yapı teknik tekstilleri (Buildtech) inşaat ve yapı alanının toprak üstünde kalan kısmında kullanılan tekstilleri içermektedir. Tekstil teknolojisinin ilerlemesi ile özellikle sentetik liflerde yaşanan gelişmelere paralel inşaat ve yapı alanında kullanımı hızla artmaktadır. Daha fonksiyonel özellikleri barındırması itibarıyla tekstil ürünleri inşaat ve yapı alanının farklı kısımlarında yer almaktadır. İnşaat ve yapı tekstilleri aşağıdaki şekilde sınıflandırma yapılabilir. (Durur ve Varan 2007).

- Membran konstrüksiyonunda kullanılan inşaat tekstilleri
- Geçici (Değiştirebilen) yapılarda kullanılan inşaat tekstilleri
- Barajlarda kullanılan inşaat tekstilleri
- Köprülerde kullanılan inşaat tekstilleri
- İnşaat sırasında kullanılan yardımcı inşaat tekstilleri
- İnşaat yapımında kullanılan inşaat tekstilleri

1.1.3.1 Membran Konstrüksiyonunda Kullanılan İnşaat Tekstilleri

Sentetik liflerin gelişmesiyle beraber büyük yapılarda çatı kaplamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Membran yapılar diye ifade edilen bu yapılar ile çok büyük alanlarda tekstil ürünleri kullanılmaktadır. Temel inşaat malzemelerine 1/30 oranında hafiflik içermektedir (Mecit ve diğ. 2007). Günümüzde membran yapılar spor kompleksleri, fuar merkezleri ve otel gibi alanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 1.1: Membran çatı uygulaması Greenwich Millenium Dome (Url_1)

1.1.3.2 Geçici (Değiştirilebilen) Yapılarda Kullanılan İnşaat Tekstilleri

Değiştirilebilen yapılar olarak tenteler, çadırlar ve güneşlikler ortaya çıkmaktadır. Kullanım yerinin değiştirilmesi ve portatif olması büyük avantaj

sağlamaktadır. Hafiflik en büyük avantajlarıdır. Tekstil teknolojisinin gelişmesi ile ısıya, soğuğa, suya dayanıklı yapılar oluşmuştur.



Şekil 1.2: Fuar amaçlı çadır örneği (Url_2)

1.1.3.3 Barajlarda Kullanılan İnşaat Tekstilleri

Barajlar ve sulama göletleri inşaat alanlarında biridir. Bu alanda da tekstil ürünleri kullanılmaktadır. Özellikle yüksek performans liflerinin gelişimi ile baraj bentlerinde beton destekleyici, dayanım artırıcı olarak beton içinde kullanılmaktadır. Bu sayede çatlamları önleyici, beton tutucu etkisi diğer beton kullanımı olan yerlerde yer almaktadır. Bu noktada alkali dayanımı yüksek elyaf türleri tercih edilmektedir. Zira zaman için de beton içinde mukavemet kaybı oluşmaktadır. Ayrıca göletlerde zemin üzerine su geçirmez tekstil yüzeyleri kullanılmak suretiyle sızıntı önlenmektedir.



Şekil 1.3: Sulama amaçlı yapılmış gölette tekstil ürünü kullanımı (Url_3)

1.1.3.4 Köprülerde Kullanılan İnşaat Tekstilleri

Köprü inşaatlarında dayanıklılığı artırmak için beton içinde yüksek performans liflerinden kullanılmaktadır. Yüksek performans lifleri beton harcının içinde beton yapısını sabit tutan, uzun yıllar çatlama engellemek için kullanılmaktadır. Bunun dışında köprülerde güçlendirme amacıyla yüksek performans lifleri ile üretilmiş kumaşlar reçineyle birlikte kullanılmaktadır. Bu tip uygulamalar deprem dayanımını artırma amacıyla yapılmaktadır. Köprü kenarlarında file, ağ tarzı güvenlik amaçlı tekstil ürünleri kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek performans liflerinden yapılmış FRP uygulamaları hafif olmaları nedeniyle açılır kapanır köprülerde günümüzde uygulamaları yaygınlaşmaktadır.



Şekil 1.4: Norveç'te FRP uygulaması ile yapılmış köprü (Artem 2010)

1.1.3.5 İnşaat Sırasında Kullanılan Yardımcı İnşaat Tekstilleri

İnşaat ve bina yapımı sırasında doğrudan inşaat yapımında kullanılmayan ancak yardımcı ifade edilen tekstil materyalleri kullanılır. Başlıca kullanılan yardımcı malzemeler halatlar, emniyet ağları, örtülerdir.



Şekil 1.5: İnşaatlarda güvenlik ağı uygulaması (Url_4)

1.1.3.6 İnşaat Yapımında Kullanılan İnşaat Tekstilleri

İnşaat yapımında kullanılan teknik tekstil ürünleri temel olarak su izolasyonu, ses izolasyonu, ses izolasyonu ve deprem için güçlendirme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Özellikle sentetik liflerin gelişmesi izolasyon ve güçlendirme alanlarında ilerlemeler sağlanmıştır. Daha hafif ve dayanıklı materyaller ile fonksiyonel özellikleri artırılmış inşaatlar yapılmaktadır. Su izolasyonu için çatı altlarında ve duvarlarda sentetik liflerin yapılmış dokusuz yüzey kumaşlar tercih edilmektedir.



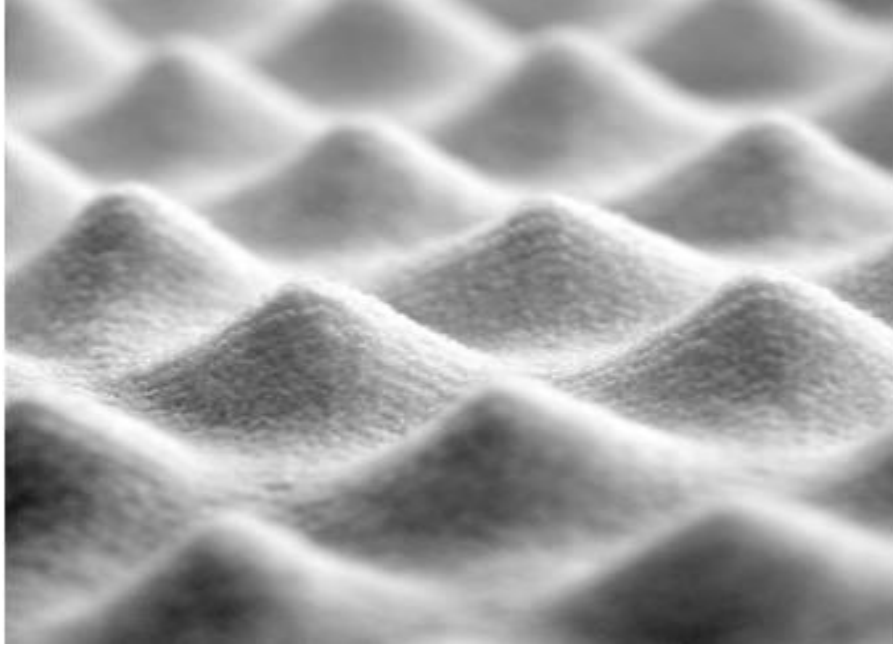
Şekil 1.6: Su izolasyonu için kullanılan tekstil ürünü (Url_5)

Isı izolasyonu günümüzde enerji maliyetlerini düşürmek, küresel ısınmada daha verimli enerji tüketimi tüketmek adına önem arz etmektedir. Bu bağlamda gerek ısıtma gerekse de soğutmada ısı izolasyonu için tekstil ürünleri inşaatlarda kullanılmaktadır. Bunun için çoğunlukla dokusuz yüzeylerden üretilmiş ürünler, keçeler kullanılmaktadır.



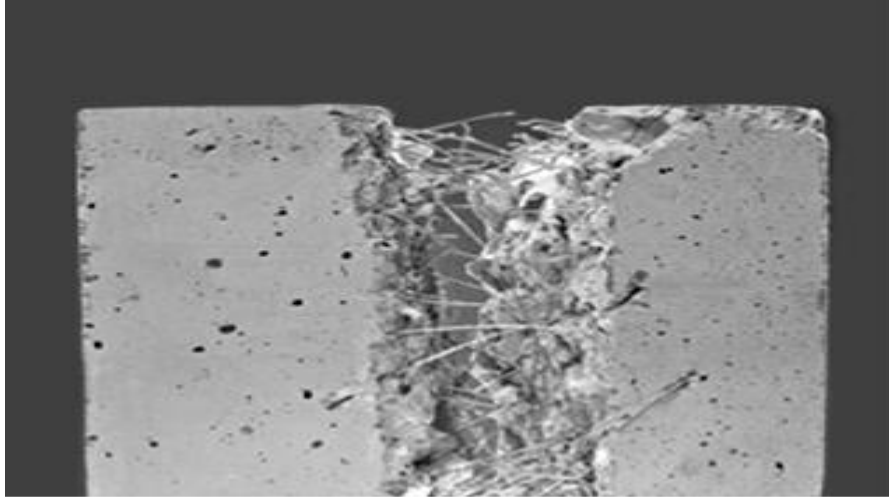
Şekil 1.7: Isı izolasyonu için keçeler (Url_6)

Günümüzde insanlar yüksek sayılarda aynı binalarda yaşamaktadırlar. Bu birlikte yaşam beraberinde ses izolasyonu kavramının önem arz etmesine yol açmıştır. Konfor alanının artması adına yapılan konutlarda, iş yerlerinde ses izolasyonu için tekstil ürünlerinin sunduğu çözümler kullanılmaktadır. Birbirinden ayrılmış mekanlar arasında sesi sönümleyici, geçişini önleye ürünler kullanılmaktadır. Ayrıca profesyonel ses düzenlemesi gerektiren konser salonları, ses kayıt stüdyoları gibi alanlarda da tekstil ürünleri kullanılmaktadır.



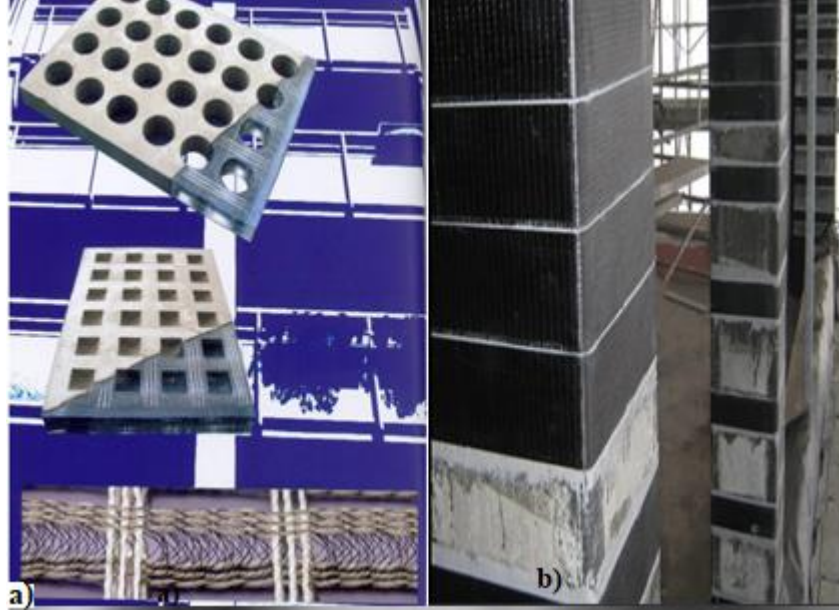
Şekil 1.8: Ses izolasyonu için üretilmiş keçe (Url_7)

Deprem için güçlendirme amaçlı olarak inşaat sırasında ya da daha sonradan eski yapılara uygulamalar yapılabilmektedir. Güçlendirme amacıyla diğer inşaat yapılarında kullanıldığı üzere yüksek performans lifleri beton karışımında kullanılmaktadır. Temel amacı beton çatlamlarını önlemek, oluşmuş çatlamların ilerlemesini önlemektir. Eğilme ve çekme dayanımlarına katkıda bulunur. Darbe dayanımlarını artırır.



Şekil 1.9: Yüksek performans lifleri içeren beton (Url_ 8)

Diğer uygulama şekilleri ise kolon, kiriş veya duvar gibi elemanların güçlendirilmesi amacıyla farklı üretim metotlarıyla üretilmiş kumaşların uygulanmasıdır.



Şekil 1.10: Binalarda güçlendirme uygulaması a) Yan duvar güçlendirmesi b) Kolon güçlendirmesi (Url_9)

1.1.4 Diğer Teknik Tekstil Sınıfları

Tıbbi ve hijyenik teknik tekstilleri (Medtech) olarak ifade edilen bu teknik tekstil sınıfında tıbbi, bakım ve hijyenik ürünler yer almaktadır. Yapay damarlar, dikiş ipleri, hastane kıyafetleri, maskeler, yatak örtüleri, bandajlar gibi ürünleri kapsamaktadır. Doğal lifler ve yapay lifler kullanılmaktadır. Bu alanda gelişme ve ilerleme gerek tıp bilimini ilerlemesi ve ihtiyaçları gerekse de tekstil sektöründeki özellikle lif teknolojilerinin ilerlemesi ile yeni ürünler sunması ile paralel ilerlemektedir.

Jeotekstiller teknik tekstilleri (Geotech) toprakaltı uygulamalarda kullanılan tekstiller olarak tanımlanabilir. Doğal ve sentetik liflerden üretilen tekstil yapıları kullanılmakla beraber büyük oranda sentetik liflerden yapılmış tekstil yapıları bu alanda kullanılmaktadır. Jeotekstiller ayırma, güçlendirme, filtrasyon, drenaj ve bariyer olmak üzere beş temel fonksiyondan birine sahip olmalıdır (Mecit ve diğ. 2007). Bu fonksiyonların kullanıldığı yerler barajlarda ve göletlerde sızdırmazlık

amaçlı, erozyon kontrolü için yol kenarlarında, çöp toplama sahalarında, madenlerde, toprak altı drenaj sistemlerinde, spor alanlarının zeminlerinde, yol çalışmalarında, kıyı ve nehir kenar çizgilerinde, hava alanlarının zemin altında kullanılmaktadır. Dünya da nüfus artışıyla beraber insan ihtiyacına bağlı olarak yapılaşma arttıkça toprak altı uygulamalar artmaktadır. Bu nedenle jeotekstiller hızla gelişmekte özellikle sentetik liflerde yaşanan gelişmeler bu alana olumlu gelişmeler sumaktadır.

Koruyucu teknik tekstiller (Protech) temel amacı insan sağlığı ve güvenliği olan teknik tekstillere verilen isimdir. İş sağlığı ve güvenliği konusunun ön plana çıkması neticesinde ilerleme gösteren bir alandır. Önceleri askeri amaçlarla üretilmiş tekstiller olmakla beraber sivil amaçlarında bu tarz koruma tekstillerine talebi oluşmasıyla gelişmiştir. Balistik kıyafetler, astronot kıyafetleri nükleer, biyolojik ve kimyasal saldırılardan korunma amaçlı geliştirilen kıyafetler ilk örnekleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Zamanla farklı üretim endüstri alanlarının talepleri sonucunda ısıdan korunma, zararlı ışınlardan korunma, elektrikten korunma, mekanik korunma, nükleer biyolojik kimyasallardan korunma gibi spesifik amaçlar için üretilmişlerdir.

Endüstriyel teknik tekstiller (Indutech) temel olarak endüstriyel işlemlerde kullanılan tekstil ürünlerine verilen isimdir. Filtreler, contalar, sızdırmazlık parçaları, aşındırma bantları, taşıma bantları ve temizleme amaçlı kullanılırlar. Bunlarla beraber elektrik malzemelerinde de kullanılmaktadır.

Taşımacılık teknik tekstilleri (Mobiltech) kara, deniz, hava, uzay taşıtların da kullanılan tekstiller bu kapsama girer. En çok üretim otomotiv endüstrisinde olduğundan otomotiv teknik tekstilleri şeklinde de ifade etmek mümkündür. Filtreleme işi yapan elemanlar, emniyet kemerleri, hava yastıkları, döşemeler, izolasyon malzemeleri, kord bezleri, zırh amaçlı kullanılan tekstil ürünleri bu gruba girer. Ortalama bir otomobilde 13-14 kg tekstil ürünü kullanılmaktadır (Arslan, 2009). Önümüzdeki dönemde Paris İklim Antlaşması ile karbon emisyonun azaltılması amacıyla içten yanmalı motorlu araçlara sınırlama getirilmektedir. Bu durum gelecekte elektrikli araçları çok ön plana çıkarmakta olup, tekstil ürünleri ile yapılmış kompozit yapılı araçlar yaygınlaşırken otomobil üretimindeki tekstil ürün miktarı artacaktır.

Spor teknik tekstilleri (Sporttech) spor ve serbest zaman kıyafetleri, spor ekipmanlarını içeren teknik tekstil alanıdır. Yüksek performans gerektiren spor dallarında kullanılan dış ortamdan koruyan giysiler bu alanda önemli bir yer tutar. Hokey sopası, tenis raketi, sörf tahtaları, kano gövdeleri gibi yapımında kullanılan tekstil malzemeleri spor tekstillerin konularından bir diğeridir. Sentetik liflerin gelişmesiyle birlikte daha dayanıklı ve daha hafif malzeme üretiminin sağlanması spor ile uğraşan sporcularda performans artışına katkı sağlamaktadır.

Ambalaj teknik tekstilleri (Pachtech) paketleme ve ambalaj endüstrisinde ürünlerin taşınması, paketlenmesi, korunma ve depolama amaçlı kullanılan tekstil ürünlerini kapsamaktadır. Paketleme tekstil ürünleri tüm teknik tekstiller içinde en yüksek üretim payına sahiptir (Mecit ve diğ. 2007). Big-bag diye tabir edilen paketleme malzemeleri, alışveriş çantaları, gıda saklama ve taşımak için kullanılan tekstiller bu grupta yer almaktadır.

Ekolojik teknik tekstiller (Oekotech) çevreyi koruma amaçlı kullanılan tekstillere denir. Erozyon amaçlı kullanılan tekstil ürünleri, zararlı atıkların kapatılması, filtrasyon için kullanılan malzemeler bu kapsama girmektedir.

Tarım teknik tekstilleri (Agrotech) tarım, hayvancılık alanında verim artışı sağlamak, iklim koşullarından korumak için kullanılan tekstil ürünleridir. Tarım alanlarında Tarım alanlarını dolu, rüzgâr, aşırı güneşten kavrulmasını önlemek amacıyla geniş alanlarda kullanılır. Bazı seralarda havalandırma pencerelerinde böcek önleme amaçlı filtre olarak kullanılır. Hayvancılık açısından hafif olmaları amacıyla çadır yapıları barınak olarak kullanılabilir. Balıkçılık alanında ise balık çiftliklerinde kullanılan ağlar bu konu kapsamında yer almaktadır. Tohumların çimlenmesi fide haline getirilmesi aşamasında yatak olarak kullanılmaktadır.

Ev teknik tekstilleri (Hometech) mobilya, halı, yatak, perde, dolgu maddeleri, astarlar gibi tekstil ürünlerini kapsayan teknik tekstil dalıdır. Perde bantları, jaluzi ipleri, mobilya içindeki yalıtım malzemeleri gibi ürünleri de bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Giyim teknik tekstilleri (Clothtech) hazır giyim, ayakkabı sektöründe kullanılan tela, vatka, dikiş iplikleri, ayakkabı bağı ve izolasyon amaçlı kullanılan

tekstil materyallerine verilen addır. Spor ayakkabılarda kullanılan membran yapılar da bu alan da değerdendirilir.

1.2 Beton Hakkında

Beton, agrega (ince ve kaba), çimento, su, kimyasal katkı, mineral katkı veya lif ilave edilerek ya da edilemeden karıştırılmasıyla oluşturulan ve çimentonun hidratasyonu ile gerekli özellikleri kazanan yapı malzemesidir.

Beton bileşenleri ihtiyaçlara göre farklılık arz edebilir. Temel olarak mutlak hacmin %70-75 oranında agrega, %10 çimento, %15-20 oranında su oluşturur. Bu oranlar temel oranlar olup ihtiyaçlar doğrultusunda kimyasal katkı malzemeleri ve içindeki değerler değiştirilebilir. Çimentonun %5'ini aşmadan katı veya sıvı kimyasal bağlayıcılar kullanılabilir.

Agrega betonda kullanıma uygun taneli mineral malzemeye verilen addır. Agregalar doğal, yapay veya daha önceden kullanılmış malzemelerden tekrar kazanım yolu ile elde edilmiş olabilir. Kum, çakıl, kırmataş gibi malzemeler agrega örnekleridir.



Şekil 1.11: Tiplerine göre agrega çeşitleri a) iri kırma b) ince kırma c) çakıltaş d) ince çakıltaş e) orta kırma f) kum kırmataş karışımı (Url_10)

Çimento, su ile karıştırıldığında, hidratasyon reaksiyonları ve işlemleriyle priz alan ve sertleşebilen hamur meydana getiren ve sertleştikten sonra dayanım ve kararlılığını su içerisinde dahi sürdürebilen öğütülmüş inorganik malzemeye verilen addır. Çimento ana hammaddesini kalker ve kilden oluşur. Bu maddeler demir cevheri, boksit, kum gibi yardımcı malzemeler ile karıştırılarak toz haline getirilir. Daha sonra fırınlarda 1500-1600° sıcaklığa kadar ısıtılır. Isıtılan bu tozlar klinker adı verilen topraklar haline gelir. Klinkerlere bir miktar civarı alçı taşı ve klinkerinin bir miktar alçı taşı ve çimento tipine bağlı olarak puzolan, kalker, uçucu kül v.b. gibi katkıları ile öğütülmesi sonucu çimento elde edilir.



Şekil 1.12: Klinker (Url_10)

Klinkerler %4-5 civarı alçı taşı katılması ve öğütülmesi sonucu en yaygın çimento türlerinden biri olan Portland çimentosu elde edilir.

1.2.1 Beton Tarihçesi

Beton ile ilgili öncüllerin M.Ö. 5600 yıllara dek uzandığı varsayılır. M.Ö.3000 yıllarda Mısır Piramitlerinde ve Çin Seddi yapımında kireç ve alçı esaslı harçlar kullanılmıştır. M.Ö. 800 yıllarında eski Yunanlılar Girit ve Kıbrıs'ta, M.Ö. 300 yıllarında Babilliler bir tür bağlayıcı kullanmışlardır. Romalılar kireci M.Ö. 300 yıllarında başlayarak M.S. 476 yıllarına kadar arasında İtalya'nın Puzzoli bölgesinde

buldukları volkanik kül ile bir araya getirerek bağlayıcı malzeme olarak kullandılar. Roma döneminde yapılan pek çok yapı bu malzeme ile yapılmıştır. M.S Vitruvius 2 kısım Puzolan, 1 kısım kireç olarak tanımlamıştır. Horasan harcı diye tarif edilen M.S 1000 yıllarda kullanılan bir bağlayıcı türüdür. Bu günkü İran kökenli olup Anadolu, İran ve civarında kullanılmıştır.

Hazır beton ise 1824 yılında Portland çimentosunun Joseph ASPDIN tarafından patenti alındı. 1848 yılında ilk çimento fabrikası İngiltere’de kuruldu. 1857 yılında Fransa’da betonarme sistemi, 1865 yüksek fırın cürufunun portland çimentosu birlikte kullanımı ile çimento beton sanayi gelişmeye devam etmiştir. Hazır beton ise 1903 yılında Almanya’da kullanıldı. 1916 yılında ilk transmikser, 1930 da döner transmikser, 1947 yılında hidrolik transmikser kullanımı, 1960 da ise pompalı hidrolik transmikser kullanımı ile hazır beton kullanımı yaygınlaşmıştır. Türkiye’de ilk çimento 1911 yılında üretilmiş Cumhuriyet ile çimento fabrikaları kurulmuştur. Hazır beton ise 1976 yılında ilk defa İÇTAŞ isimli özel şirket tarafından üretilmiştir.

1.2.2 Beton Sınıflandırılması

Beton sınıfları TSE 206.2013+A1’e göre 3 temel kategoriye sınıflandırmaya tabi tutulur.

- Çevresel faktörler ile ilgili etki sınıfları
- Taze beton sınıfları
- Sertleşmiş beton sınıfları

Sertleşmiş beton temel olarak betonun 28 gün $20^{\circ}\text{C}\pm 2$ ’de kirece doygun su içerisinde bekletilerek kürlenmesi sonucunda yapılan dayanım testi ile sınıflandırılır. Beton dayanımı ile ilgili testler sertleşmiş betona yapıldığından sınıflandırma olarak bu sınıflar kullanılır. Sertleşmiş beton dayanım sınıfları betonun hafif ya da orta-ağır beton olmasına göre iki kategoride yapılmıştır. Hafif beton 800 kg/m^3 yoğunluğuna kadar olanlara verilen addır. $800\text{-}2600\text{ kg/m}^3$ arası normal, 2600 kg/m^3 ’ten büyük yoğunluktaki betonlar ise ağır beton olarak tanımlanır. Betonlar dayanım için ölçülürken 150 mm çap ve 300 mm silindirik şekilli numune ya da kenar uzunluğu 150 mm olan küp numune ile ölçüm yapılarak sonuçlar değerlendirilir.

Hafif betonlar için dayanım sınıfları şu şekilde Tablo1.1’de belirtilmiştir.

Tablo 1.1: Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları (TSE EN 206:2013+A1)

Basınç Dayanım Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı f _{ck} , cyl N/mm ²	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı ^a f _{ck,cube} N/mm ²
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

^a Küp ve silindir numune basınç dayanımları arasında yeterli kesinliğe sahip ilişki kurulması ve bu ilişkinin belgelenmesi şartıyla, verilen bu dayanımlardan başka değerler de kullanılabilir.

Normal ve ağır beton için basınç dayanımı sınıfları Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2: Normal ve ağır beton için basınç dayanım sınıfları (TSE EN 206:2013+A1)

Basınç Dayanım Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı f_{ck} , cyl N/mm ²	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı f_{ck} , cube N/mm ²
	C8/10	8
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

1.3 Reçineler Hakkında

Birbirine karışmayan iki veya daha fazla malzemenin bileşimiyle oluşan malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemeler oluşurken temel takviye malzemesi ve reçine diye tabir edilen malzemelerden oluşan matris kullanılır. Bu iki malzemenin birleşimi ile malzeme cinsine göre ısı, basınç ve kimyasal reaksiyon ile kompozit malzeme oluşur. Reçineler polimer bileşikleridir. Farklı amaçlar için farklı sınıflarda üretilmiştir.

1.3.1 Reçine Sınıfları

Plastik yapıdaki polimerler termoplastik ve termoset polimerler olmak üzere iki grupta yer alırlar. Bu gruba giren reçineleri termoplastik ve termoset reçineler olmak üzere iki grupta yer alırlar. Termoplastiklerle yapılan kompozitler ısıtıldıklarında yumuşayan, soğutulduklarında tekrar sertleşen plastik grubunun adıdır. Tekrar tekrar ısıtılıp şekil değiştirilebilir. Bu da yeniden kullanımlarına izin verir.

Termoplastik polimerlerin oluşturduğu matris tamamlayıcı reçinelerin başlıcaları polietilen (PET), polipropilen (PP), poliamid (PA), polisülfon (PSUL), polieterimid (PEI), polieter eter keton (PEEK), poliamid imid (PAI)'dir (Mallick 2007). Termoplastikler ambalajlar, oyuncaklar, pencere çerçeveleri, borular ayakkabı gibi temel kullanım alanlarında kullanılmaktadır.

Tablo 1.3: Çok kullanılan termoplastik reçinelerin özellikleri (Mallick 2007).

Özellik	PA	PET	PP	PEEK	PPS	PSUL	PEI	PAI
Yoğunluk(g/cm ³)	1,14	1,35	0,9	1,32	1,36	1,24	1,27	1,4
Çekme Modülü (GPa)	1,6-3,8	2,8-4,1	1,1-1,6	3,24	3,3	2,48	3	3,03
Çekme Dayanımı (MPa)	95	48-72	31-41	-	83	-	-	186
Gerilme %'si	15-80	30-300	100-600	50	4	75	60	12

Termoset polimerlerin oluşturduğu matris tamamlayıcı reçinelerin başlıcaları polyester (PES), vinil esterler, poliüretan (PU), fenoller, epoksi, siyanet ester, polifenilkinoksalin (PPQ), polimid, polibenzimidazol (PBI)'dür (Mallick 2007). Termoset reçineler askeri alanlar, inşaat güçlendirme, deniz araçları, otomotiv endüstrisinde, rüzgâr gülleri, kimyasal ve mekanik dayanım gerektiren özelliklerin ihtiyacı olan alanlarda kullanılır.

Tablo 1.4: Çok kullanılan termoset reçinelerin özellikleri (Mallick 2007)

Özellik	PU	Vinil Ester	Epoksi	Fenolik	BMI Bismaleimide	ACTP Asetilenterminated polimid
Yoğunluk(g/cm ³)	1,2	1,2	1,2-1,3	1,3	1,4	1,35
Çekme Modülü (GPa)	4,0	3,3	4,5	3,0	4-19	4,1
Çekme Dayanımı (MPa)	80	75	130	70	70	82,7
Gerinme %'si	2,5	4	2,-6	2,5	1	1,5

Termoset reçinelerin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

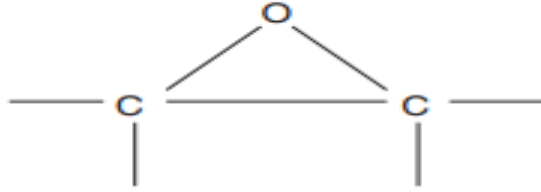
- Çözücüler ve aşındırıcılara karşı direnç
- Isıya ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık
- Yüksek dayanım ve modül
- Düşük çekme uzamaları
- Kompozit işlemleri için düşük sıcaklık ve basınç gereksinimi
- Kimyasal reaksiyonlar gerektirdiği için uzun kürlenme süresi
- Geri dönüşümsüzdür
- Raf ömrü sınırlıdır
- Düşük vizkoziteye sahip sıvı reçine olması sebebiyle kompozit üretimi daha kolaydır

Termoplastik reçinelerin özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Darbe dirençleri yüksektir
- Isı ve basınç ile yeniden şekillendirilebilir
- Geri dönüşümlüdür
- Kompozit üretimi için yüksek vizkozite gerektirdiğinden zordur
- Yüksek sıcaklık ve basınca ihtiyacı vardır
- Sınırsız raf ömrü vardır
- Üretim sırasında kimyasal reaksiyon gerçekleşmediğinden makineleşmeye uygundur
- Düşük termal kararlılık ve kimyasal direnci vardır

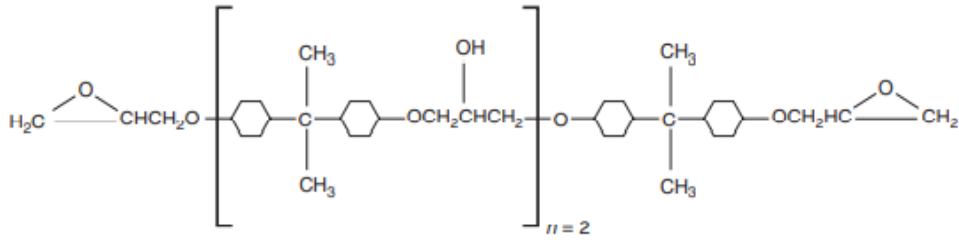
1.3.2 Epoksi Reçineler

Epoksi reçineler termoset reçineler grubunda yer alan polimerlerden biridir. Epoksi grubunun polimerizasyonu ile elde edilir. Yapısında bir oksijen atomu ve iki karbon atomu içeren epoksit grupları barındırır.



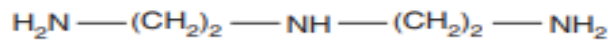
Şekil 1.13: Epoksit grupları (Mallick 2007)

Epoksilerin en çok kullanılan ticari versiyonu epiklorhidrin ve bisfenol-A'nın bazik ortamda reaksiyonu ile oluşan Disglisidil eter bisfenol-A (DGEBA).



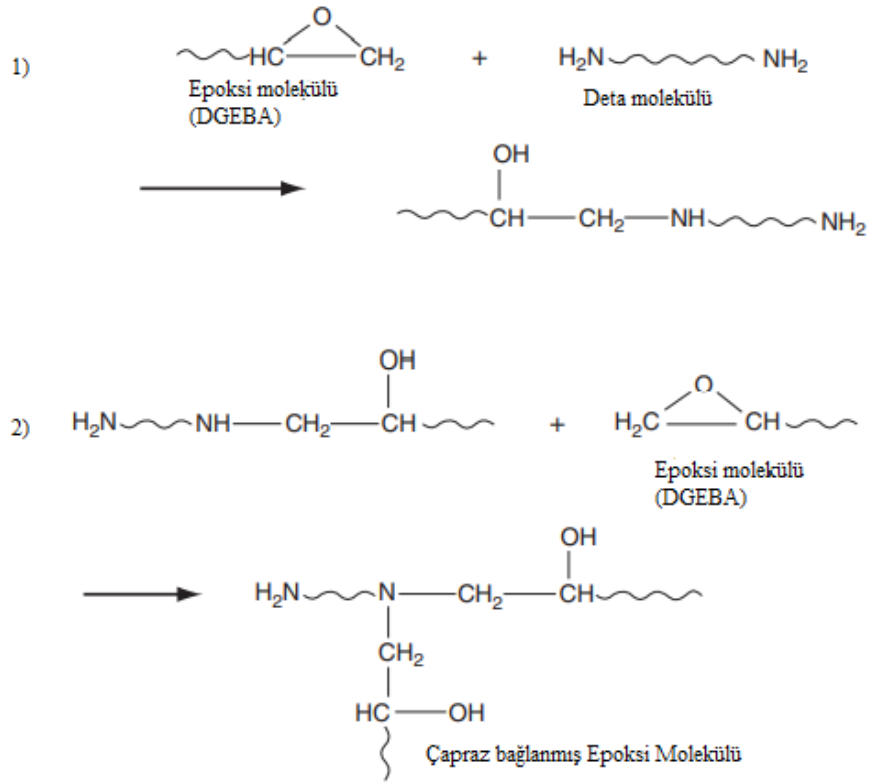
Şekil 1.14: Disglisidil eter bisfenol-A (Mallick 2007)

Disglisidil eter bisfenol-A ön polimeri sertleştirici adı verilen uygun bir çapraz bağlayıcı ile sertleştirilir. Çoğunlukla amin grupları içeren sertleştiriciler kullanılır. Dietilen triamin, trietilen tetra amin, hegzemetilen tetraamin kullanılabilecek amin türevi malzemelerdir. Dietilen triamin (DETA) en çok kullanılan amin gruplarından biridir.



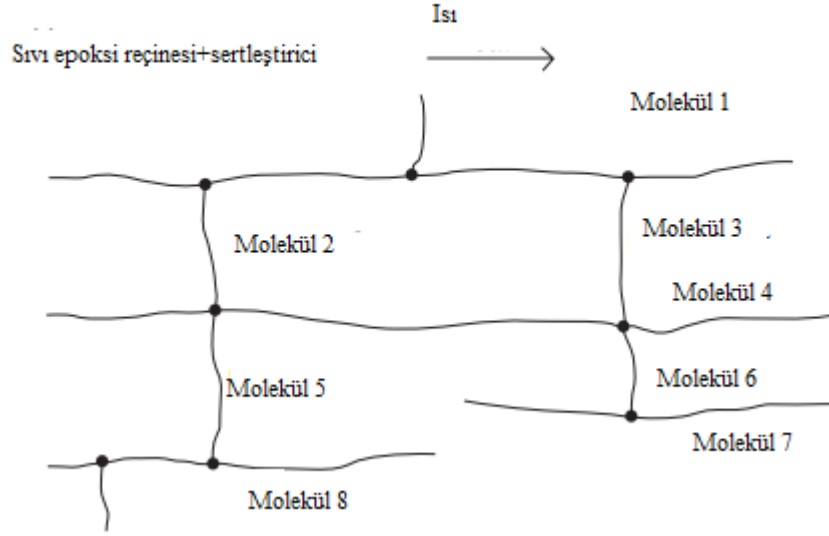
Şekil 1.15: Dietilen triamin (Mallick 2007)

Epoksilerde ön polimer ile sertleştirici reaksiyonunda çapraz bağlar oluşmaktadır. Epoksi ön polimer ile sertleştirici reaksiyonu Şekil 1.16'da gösterilmiştir.



Şekil 1.16: Çapraz bağlanmış epoksi molekülünün reaksiyonu (Mallick 2007)

Epoksi molekülleri çapraz bağlar yaparak rijit yapı oluştururlar. Tekrar eritilip şekil verilemezler. Kürlenme sırasında düşük büzölmeye (1-5%) sahiptir (Demirel 2007).



Şekil 1.17: Şertleştirici ile kürlenmiş epoksi molekülleri çapraz bağları (Mallick 2007)

Epoksi reçineler yüksek performans liflerinden cam, bazalt, aramid, karbon gibi liflilerle uyumludur. Sektörel olarak havacılık, savunma, deniz araçları, otomotiv endüstrisi, inşaat güçlendirme alanlarında yapılan uygulamalarda matris içinde sabitleyici malzeme olarak kullanılır. Kendi özelinde diğer termoset reçinelere göre iyi mekanik özelliklere sahip olması önemli avantaj olarak belirtilmektedir. Yüksek ısı dayanımı diğer bir avantaj olarak belirtilebilir. Aşınma dirençleri yüksektir.

2. TEKSTİL TAKVİYELİ UYGULAMALAR

Tekstil örtünme, giyinme amaçlı insanlık tarihinde ilk dönemlerinde ortaya çıksa da zaman içinde özel amaçlar için üretilmiş tekstil ürünleri zaman içinde kullanıma dahil olmuştur. Kullanım yerlerine tekstil ürünleri göre teknik tekstiller olarak ayrılmıştır. Teknik tekstiller üretilirken nihai ürünün amacına, uygulama yerine, ürünün fonksiyonlarına göre üretildiği farklı hammaddeler ve üretim metotları vardır.

Tekstil takviyeli ürünlerde tekstil materyali ile bir veya birden çok malzeme ile birleşimi ile kullanılır. Birbiri ile karışmayan bu malzemeler matris içinde yer alır. Birleşim sonucunda kompozit malzeme ortaya çıkar. Tekstil takviyeli uygulamalarda üç şekilde olabilir (Demirel 2007).

- Parçacık takviyeli kompozit malzemeler
- Lif takviyeli kompozitler
- Katmanlı (yüzey) kompozit malzemeler

Tekstil takviyeli ürünler çoğunlukla elyaf takviyeli ya da tabaka (yüzey) takviyesi ile gerçekleşir.

Elyaf takviyeli kompozitlerde elyafın fiziksel şekline göre takviyeler şu şekilde isimlendirilebilir.

- Kesik elyaf takviyeli kompozitler
- Sürekli elyaf takviyeli kompozitler

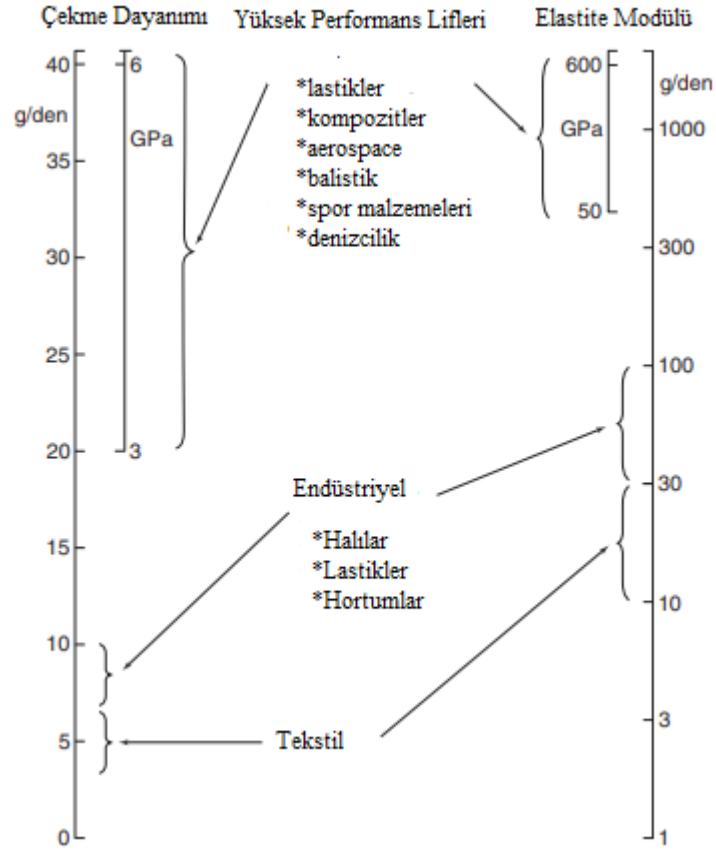
Katmanlı yüzey kompozitlerin oluşmasında bir veya birden çok katmandan kompozit elde edilir. Bu yüzeylerin oluşması için elyafın bir tekstil yüzey üretme metodu kullanılarak yüzey haline getirilir. Yüzeyler bir veya birden çok katman kullanılarak kompozit malzeme haline getirilir. Tekstil yüzeyi üretilirken kullanılan tekstil hammaddesine göre dokusuz yüzey teknikleri ile non-woven yüzeyler, dokuma, örme metotlarından biri kullanılır.

Tüm tekstil yüzeyleri üretilirken kullanılan malzemelerin temeli olan elyaf, tekstilde üretim kaynağı olarak doğal lifler ve yapay lifler diye ikiye ayrılır. Tekstil takviyeleri açısından ele alındığında özellikleri bakımından lifler mekanik özellikleri, kimyasal özellikleri ve termal özellikleri bakımından sınıflandırılır. Termal direnci yüksek olan lifler (high thermal resistance), kimyasal direnci yüksek olan lifler (high chemical resistance) ve yüksek performans lifleri (high performance fibers) olarak isimlendirilir (Hearle 2001).

2.1 Yüksek Performans Lifleri

1900'lı yılların başlarında moda dışında endüstriyel amaçlı olarak doğal lifler kullanılıyordu. 1935'ten itibaren rayon, sonraki yıllarda ise sentetik liflerin kullanımı mekanik özellikleri lifler kullanıma girmiştir. Yapay lifler doğal lifler ve rejenere liflerin yerini almıştır (Hearle 2001).

Mukhopadyay (1993) yüksek performans lifleri yüksek gerilme direnci ve yüksek elastite modülü olan lifler olarak tanımlamıştır. Bu gruba lifleri HM-HT (high modulus-high tenacity) olarak belirtmiştir. 3 GPa'dan büyük gerilme dayanımı ile 50 GPa'dan büyük elastite modülü olan lifleri yüksek performans lifleri olarak tanımlamıştır (Mukhopadyay 1993). Bununla ilgili olarak kullanım alanlarına göre yüksek performans lifleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Mukhopadyay (1993)'a göre yüksek performans lifleri

Yüksek performans lifleri arasında aramid lifleri, bazalt lifleri, cam lifleri, karbon lifleri, yüksek modüllü polietilen lifleri (HPPE) sayılabilir.

2.1.1 Karbon Lifleri

Karbon lifleri bileşiminde içerik açısından en az %92 ve üzerinde karbon içeren liflere denir (Chung 1994). Diğer bir tanımlamaya göre lifler arasında yapılan tarihsel ayrıma göre 1000-1500 ° C aralığının üzerinde ısı ile üretilen liflere karbon lifleri denir (Park 2015). 2000° C üzerinde işlenmiş liflere grafit lifleri denir (Park 2015). Karbon lifleri arasında grafit %0 ile %100 oranında bulunabilir. %99 ve üzerinde grafit bulunan liflere grafit lifleri adı verilir (Park 2015). Karbon lifleri kristalin, amorf ve kısmen kristalin yapıda bulunabilir.

Karbon lifleri üretimi organik temelli liflerin ısıtılması sonucu karbon dışındaki atomların uzaklaşması ile karbon atomlarından oluşmuş filamentler elde edilmektedir. Bu filamentlerin kristalizasyonundan yüksek mukavemetli lifler elde edilir (Yaman ve

diğ. 2007). Karbon lifleri ticari olarak filament ya da kesik elyaf halinde bulunabilir. Filament halinde üretildikten sonra kesik elyaf haline getirilmektedir. Karbon elyaf ipliği (tow) ticari anlamda numaralandırılırken içinde barındırdığı filament sayısı miktarına göre demetler halinde ifade edilir. Her 1000 adet lif demeti için K harfi kullanılır. 1000 filament ile 200000 filament barındıran elyaf demetleri karbon ipliği (tow) olarak üretilir. Her 1000 için 1 K kullanıldığından 1K ile 200 K arasında iplikler üretilir. Tekstil hesaplaması açısından aşağıdaki şekilde tex cinsinden en çok kullanılan ve ticari işlem yapılan iplikler belirtilmiştir. En yaygın kullanılan karbon elyaf türü olan PAN liflerinde genel olarak numaralandırma örneği aşağıdaki gösterilebilir.

- 1K-67 tex
- 2K-134 tex
- 3K-200 tex
- 6K-400 tex
- 12K-800 tex
- 24K-1600 tex
- 48K-3200 tex

Karbon elyaf 1,6-2,2 gr/cm³ yoğunluğa sahip bir lif türüdür. Üretiminde organik malzemeler kullanılır. Kullanılan malzemelerin yoğunluğu 1,14-1,19 gr/cm³ arasındadır.

Karbon lifleri yapısı itibariyle özel uygulamalarda rol almaktadırlar. Havacılık, otomotiv, kimya endüstrisi, genel mühendislik, uzay sanayi, nükleer enerji, bina inşaat endüstrisi ve kompozit uygulamaları alanlarında kullanılmaktadır. Yüksek mukavemet, yüksek elastite modüllü yapısı, boyutsal kararlılık, yorulma direnci, biyolojik uyumluluk ve düşük termal genişleme katsayısı vardır (Park 2015). Elektriksel iletkenliğe sahiptir. X-ray geçirgenliği vardır. Korozyon ve kimyasal direnci yüksektir. Elektromanyetik özelliğe sahiptir (Yaman ve diğ. 2006).

2.1.1.1 Karbon Lifleri Tarihçesi

Karbon lifleri ticari olarak son 50 yıldır her geçen yıl yükselen bir üretim ve kullanım miktarına sahiptir. Karbon elyaf öncüllerinin tarihi yaklaşık 140 yıl öncesine dayanır. 1879 yılında Edison pamuk ve bambu liflerinden ürettiği karbon elyafı elektrik ampüllerinde kullanılmıştır. 1880 yılında bu karbon liflerinin patenti alınmıştır (Park 2015). Bu lifler mevcut karbon liflerinin yüksek mukavemet ya da modül değeri yoktur. Temel amacı ısıya karşı dayanımı olduğu için elektrik iletimi amacıyla üretilmiştir. Bambu filamentleri yüksek sıcaklıkta pişirilerek karbon lifi elde edilmiştir. The Union Carbide Corporation (UCC) 2.Dünya Savaşı sırasında rayon ve poliakrilonitril benzer şekilde karbon lifler üretilmiştir. Hemen hemen eş zamanlı olarak aynı dönemde Poliakrilonitril ve rayon liflerinde elde edilen yüksek modüllü ve yüksek dayanımlı karbon lifleri üretilmiştir. 1959 yılında rayon temelli, 1960 yılında PAN liflerinin prekürsörlerinden karbon lifleri üretilmiştir. 1963 yılında ziftten karbon lifi üretilmiştir. Bugüne kadar polyester, poliamid, polivinil alkol, poliviniliden, poli-p-fenilen ve fenolik reçinelerden karbon elyaf üretilmiştir (Park 2015).

2.1.1.2 Karbon Lifleri Çeşitleri

Karbon liflerinin özelliklerini üretim aşamasında kullanılan hammadde olan öncül lif (precursor), üretim aşamaları ve işlem sıcaklığı belirler (Yaman ve diğ. 2006). Karbon lifleri üretim aşamaları temelde stabilizasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon olmak üzere 3 aşamadan oluşur. Grafitizasyon aşaması zorunlu bir aşama değildir. Karbon elyaflar performanslarına göre modüllerine ve mukavemetlerine göre, son işlem sıcaklıklarına göre belirli sınıflara ayrılır (Park 2015).

Karbon elyafı son işlem sıcaklığına göre lif yapısı ve kristalit oryantasyonuna göre 3 kategoride sınıflandırılır. Tablo 2.1’de son işlem sıcaklığına göre sınıflandırma gösterilmektedir (Park 2015, Yaman ve diğ. 2006).

Tablo 2.1: Son işlem sıcaklığına göre karbon lif sınıfları (Park 2015, Yaman ve diğ. 2006)

Karbon Lif Tipi	Son İşlem Sıcaklığı °C	Kristalit Oryantasyonu	Mukavemet ve Modül Yapısı
Tip 1	2000 °C'den büyük	Lif aksis yönüne paralel	Yüksek Modüllü Lifler
Tip 2	1500 °C	Lif aksis yönüne paralel	Yüksek Dayanımlı Lifler
Tip 3	1000 °C'den küçük	Rastgele	Düşük Modülü ve dayanımlı lifler

Modüllerine göre karbon lifleri 4 grupta değerlendirilir.

Tablo 2.2: Modüllerine göre karbon liflerin sınıfları (Yaman ve diğ. 2006)

Modül Sınıfı	Modül Değeri (GPa)
Ultra Yüksek Modüllü (UHM)	820 civarı
Yüksek Modüllü (HM)	300-500
Orta Modüllü (IO)	100-300
Düşük Modüllü (LM)	100 civarı

Karbon lifleri hammaddesi olan ön işlem liflerine göre üç temel çeşitte sınıflandırılır.

- Rayon temelli karbon lifleri
- Katran/Zift temelli karbon lifleri
- PAN (poliakrilonitril) temelli karbon lifleri

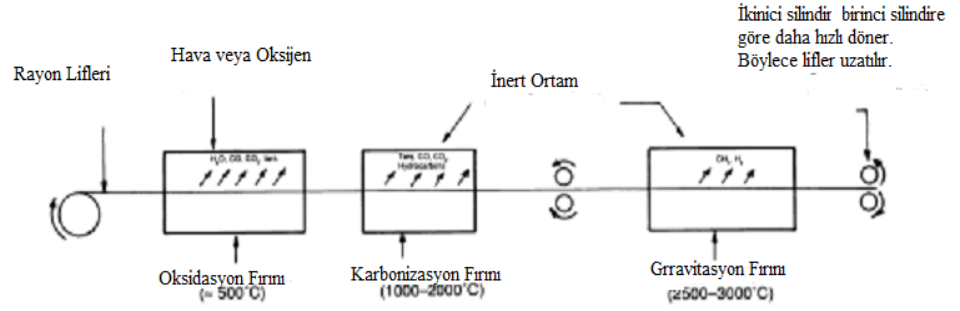
Karbon liflerinin lif verimleri öncül lif türlerine göre karbon lif elde edilen Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Karbon lif verimi (Yaman ve diğ. 2007)

Karbon Üretiminde Kullanılan Öncül Lif	Üretimde Görülen Karbon Verimi %
Rayon	10-30
Poliakrilonitril	40-45
Katran/Zift	80-85

2.1.1.2.1 Rayon Temelli Karbon Lifleri

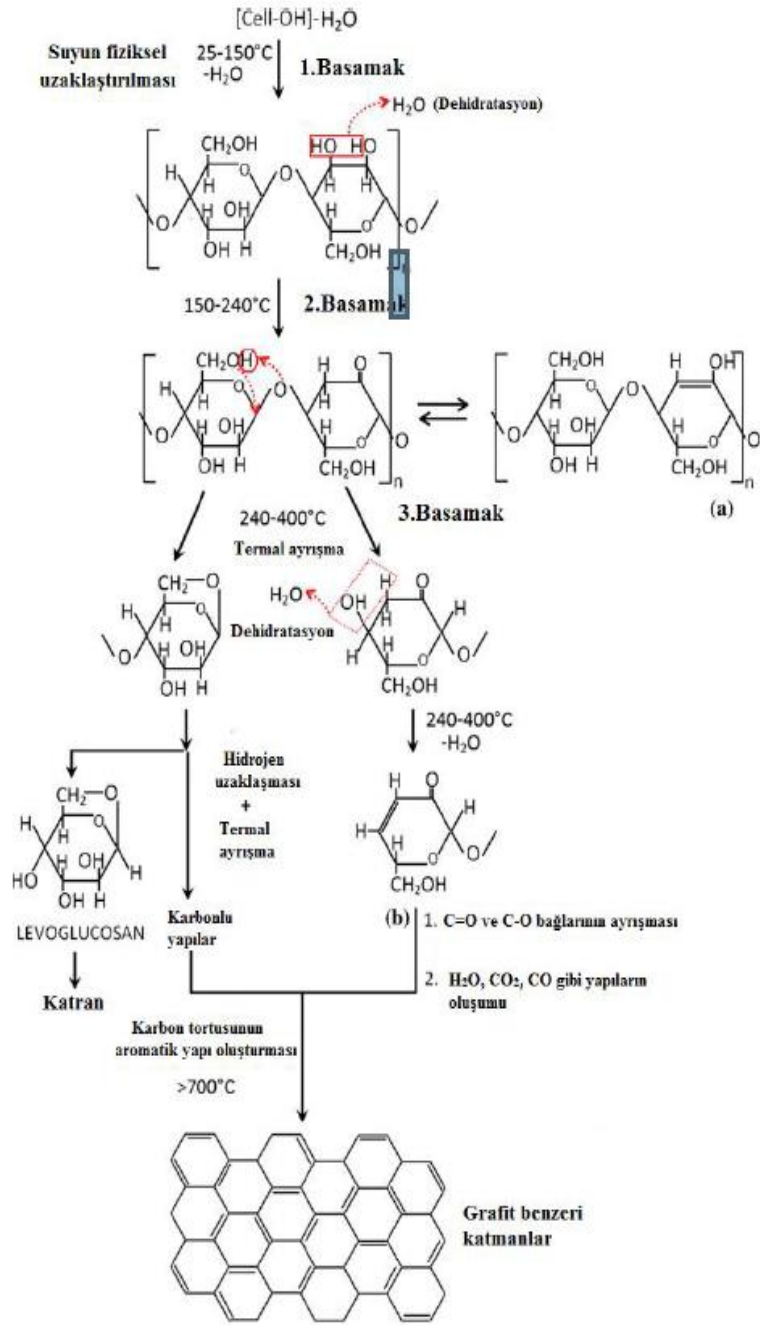
Rayon lifleri selülozik yapı barındıran bir lifdir. Önceleri pamuk lifinden karbonizasyon işlemi yapılmaya çalışılmıştır. 1960'lı yıllarda viskoz rayondan karbon lifi üretilmiştir (Park 2015). Rayondan karbon lifi üretimi oksidasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon olmak üzere üç aşamada gerçekleşir (Yaman ve diğ. 2006). Oksidasyon aşamasında 25-150 °C'de su fiziki olarak uzaklaştırılır. 150-240 °C de selüloz yapı taşında bulunan H₂O molekülleri uzaklaştırılırken, 240-400 °C'de C-O bağları kopar ve C-C bağları koparak aromatisasyon gerçekleşir (Yaman ve diğ. 2006).



Şekil 2.2: Rayon lifinden karbon lifi üretim şeması (Savage 1993)

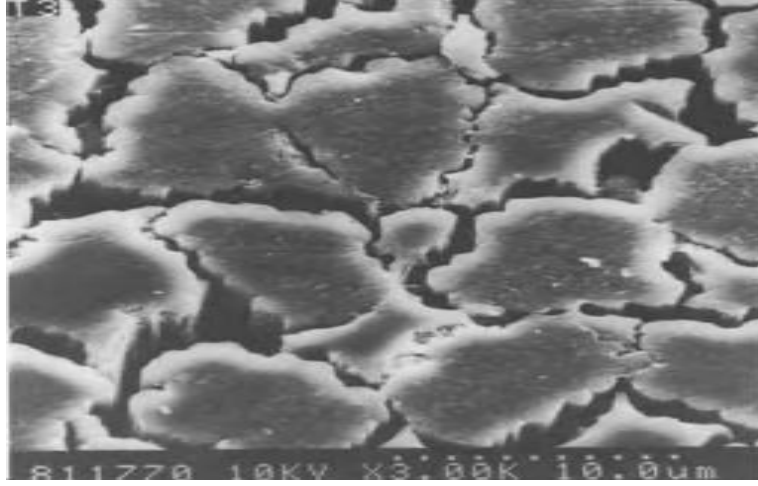
400-700 °C'de karbonik atıkların aromatisasyonu ve grafit benzeri tabakalar oluşurken selülozun yapısı ve oryantasyonda bozulmalar olmaktadır (Yaman ve diğ. 2006). 700-2700 °C arası karbonizasyon ve gravitasyon işlemleri ile boyuna germe ve oryantasyon işlemleri gerçekleşir.

Yüksek sıcaklıklarda plastik yapıda olup %150 oranında uzatma prosesi uygulanmaktadır. Selüloz hammaddesinden karbon lifi üretiminde verim ancak %20-30 civarındadır. Verim düşüklüğü selülozun %44 civarında karbon içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Selüloz lifinin karbon lifine dönüşürken gerçekleştirdiği molekül yapısı Şekil 2.3' te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Selüloz Karbon Lifine Dönüşü (Dumanlı ve Windle 2012)

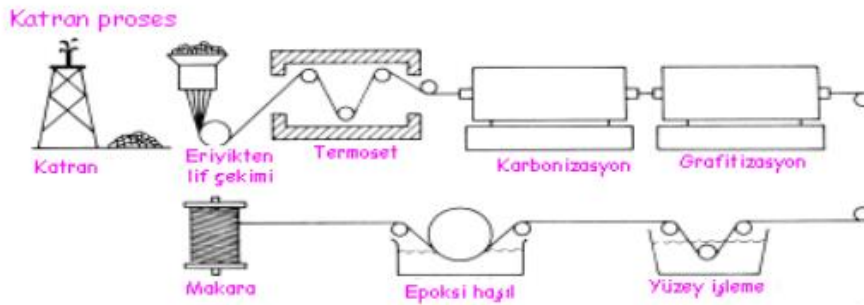
Rayon temelli karbon elyafın mikroskobik görüntüsü aşağıdaki Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Rayon temelli karbon lifinin mikroskopik görüntüsü (Savage 1993)

2.1.1.2.2 Zift Temelli Karbon Lifleri

Zift bazlı karbon lifleri temeli petrol asfaltı ve kömür katranıdır. Daha ekonomiktir. Grafit yapısına benzediğinden grafit eldesin de daha az enerji ile grafit elde edilebilir. Karbon miktarı daha fazla olduğunda birim miktarda zift ve katrandan PAN liflerine göre daha fazla karbon lifi elde edilir. Katran ziftten karbon lifi üretiminde öncelikle eriyik elde edilip lif çekimi gerçekleşir. Şekil 2.5'te lif çekimi ve karbon lifi üretim proses şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Katrandan Üretim Prosesi (Yaman ve diğ. 2006)

Katran ve zift temelli ham maddeler karbon elyaf üretimi yapılırken oksidasyon işlemi sırasında liflerin eriyebilir özelliğini gidermek için yavaş yavaş sıcaklık artışı sağlanır. Bu sırada sülfonlama işlemi yapılır. Sülfonlama işlemi ve oksidasyon işlemi 250 °C ile 300 °C arasında gerçekleştirilir. Oksidasyon sonrası inert ortamda karbonizasyon 1000 °C civarında gerçekleşir. CH₄ ve H₂ gibi gazlar açığa

çıkar. Grafitizasyon işleminin sonucunda PAN lifleri gibi yüzey işlemleri ve diğer haşıl işlemleri yapılmaktadır. Zift kökenli karbon liflerinin en önemli özelliği yüksek modüle sahip olmasıdır. Bu nedenle uzay ve havacılık gibi kritik yerlerde kullanılabilir (Yaman ve diğ. 2006). Zift temelli karbon liflerinin fiziksel özellikleri Tablo 2.4'te belirtilmiştir.

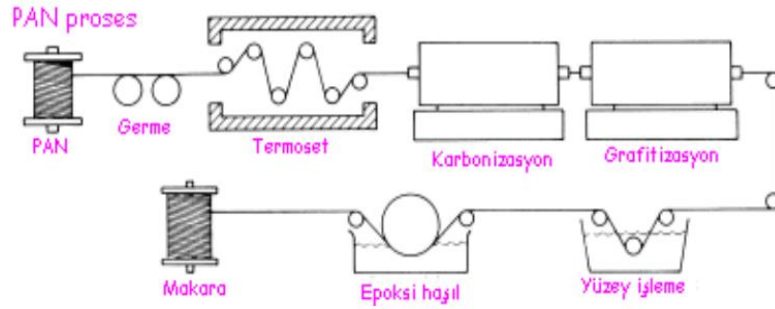
Tablo 2.4: Zift temelli karbon liflerinin fiziksel özellikleri (Walsh 2001)

Özellik	Düşük Modül	Yüksek Modül	Ultra Yüksek Modül
Germe Modülü (GPa)	170-241	380-620	690-965
Germe Dayanımı (MPa)	1380-3100	1900-2750	2410
Kopma Uzaması (%)	0,9	0,5	0,4-0,27
Elektriksel Özdirenc (μΩ*cm)	1300	900	220-130
Isıl İletkenliği (W/m/K)	----	-----	-----
Eksen Yönünde Elektriksel Uzama Katsayısı (10 ⁻⁶ *K)	----	-----	-----
Yoğunluk (g/cm ³)	1,9	2,0	2,2
Karbon İçeriği (%)	+97	+99	+99
Lif Çapı (μm)	11	11	10

2.1.1.2.3 PAN Temelli Karbon Lifleri

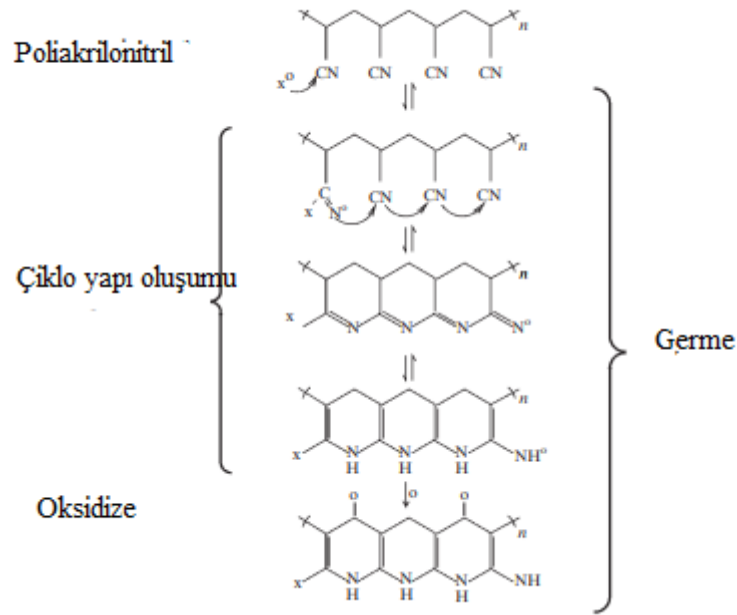
Günümüzde karbon liflerinin %90'nın poliakrilonitril öncül liflerden üretilmektedir. PAN lifleri elde edilirken 180-300°C arasında oksidasyon işlemi ile yapılmaktadır. Burada temel amaç daha sonraki aşamada liflerin erimesini önlemektir. Oksidasyon sırasında liflerin büzülmesini önlemek amacıyla lifler belirli bir gerilim altında tutulurlar. Beyaz olan PAN lifleri işlem sırasında renk değiştirerek kararır. Sıcaklık 1000-1500 °C arasında karbonizasyon işlemi gerçekleşmektedir. Karbonizasyon işlemi inert (N₂) bir ortamda gerçekleşir. 1500-3000 °C arasında

grafitizasyon gerçeklemedir. PAN liflerinde üretim akış şeması aşağıda Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



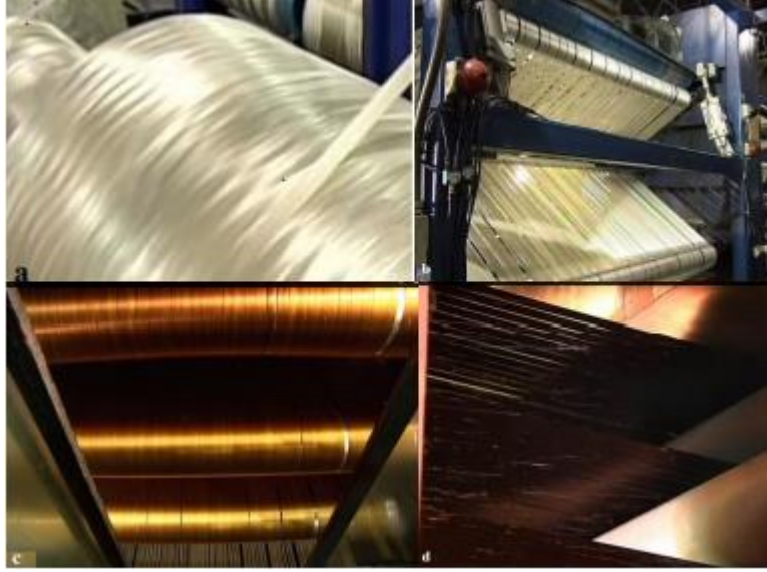
Şekil 2.6: PAN temelli karbon lifi üretimi genel aşamaları (Yaman ve diğ. 2006)

PAN temelli karbon liflerinde oksidasyon sırasında nitril gruplarından hidrojen uzaklaşmakta çiklo yapılar aynı zamanda oluşmaktadır (Yaman ve diğ. 2006). Oksidasyon sırasında gerçekleşen kimyasal değişim aşağıda Şekil 2.7 belirtilmiştir.



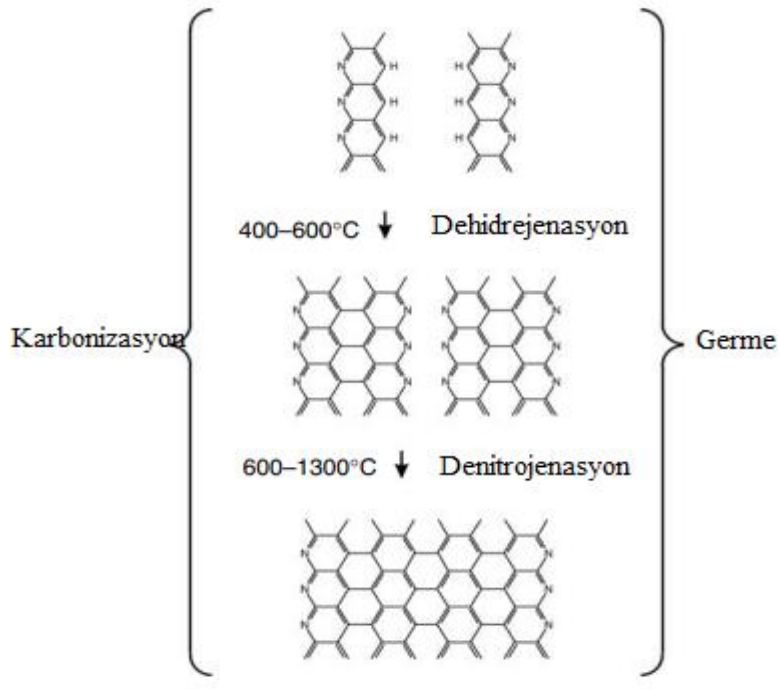
Şekil 2.7: Oksidasyon sırasında kimyasal değişim (Lavin 2001)

Beyaz olan PAN lifleri işlem sırasında renk değiştirerek kararır. Şekil 2.8'de renk değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Pan lifi oksidasyon işlemi sırasında a) Ham PAN öncülü, (b) kimyasal ön işlem sonrası PAN,(c-d) stabilize olmuş PAN lifindeki renk değişimi (Kılıç 2015)

Karbonizasyon işlemi boyunca karbon olmayan elementler uzaklaşır. H_2 , NH_3 , HCN özellikle uzaklaşmaktadır. Bunların dışında H_2O , CO , CO_2 açığa çıkmaktadır. Az miktarda H_2 ve CH_4 serbest kalmaktadır. Karbonizasyon işlemi sonucunda %98 karbon, % 1-2 azot, %0,2 hidrojen bulunmaktadır (Yaman ve diğ. 2006). Şekil 2.9'da karbonizasyon işlemi sırasında kimyasal değişim gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Karbonizasyon işlemi sırasında kimyasal değişim (Lavin 2001)

PAN temelli karbon lifleri yüksek germe dayanımı ve yüksek modül özelliği ile önemli bir yüksek performans lifidir. PAN temelli karbon liflerinin fiziksel özellikleri Tablo 2.5'te gösterilmiştir.

Tablo 2.5: PAN temelli karbon liflerinin fiziksel özellikleri (Walsh 2001)

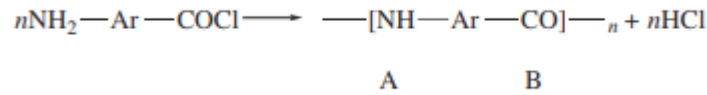
Özellik	Ticari, Standart Modül	Havacılık-Uzay Endüstrisi		
		Standart Modül	Orta Modül	Yüksek Modül
Germe Modülü (GPa)	228	220-241	290-297	345-448
Germe Dayanımı (MPa)	380	3450-4830	3450-6200	3450-5520
Kopma Uzaması (%)	1,6	1,5-2,2	1,3-2,0	0,7-1,0
Elektriksel Özdirenc ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	1650	1650	1450	900
Isıl İletkenliği (W/m/K)	20	20	20	50-80
Eksen Yönünde Elektriksel Uzama Katsayısı ($10^{-6} \cdot \text{K}$)	-0,4	-0,4	-0,55	-0,75
Yoğunluk (g/cm^3)	1,8	1,8	1,8	1,9
Karbon İçeriği (%)	95	95	95	+99
Lif Çapı (μm)	6-8	6-8	5-6	5-8

2.1.2 Diğer Yüksel Performans Lifleri

Aramid lifleri aromatik poliamid lifleri olarak tanımlanır (Mecit ve diğ. 2007). 1948 yılında Dupont firması Nylon'u ticarileştirdikten sonra yüksek mukavemetli lifler için araştırma yapmaya devam etmiştir. Yapılan çalışmalardan sonra Kwolek ve Blades Dupont firmasında 1965 yılında para-aromatik poliamidlerin sıvı kristalin çözeltilisini bulmuştur. 1971 yılında Dupont firması Kevlar ismiyle aramid liflerini ticarileştirmiştir. Yine Dupont firması içerisinde 1967 yılında poli-m-fenilenisoftalamid liflerini Nomex ismiyle üretmiştir. 1974 yılında Amerikan Federal Ticaret Komisyonu aromatik poliamid tabanlı lifleri genel terim olarak aramid lifleri

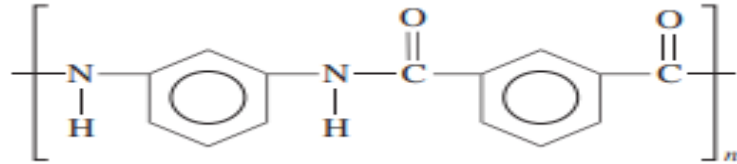
olarak tanımlamıştır. Bu tanımlama kapsamına en az %85 oranında amid bağlarının (-CO-NH-) iki aromatik halka ile bağlı olması halinde girmektedir (Rebouillat 2001).

Aramidler bir amin grubu ve karboksilik asit halojen grubunun jenerik reaksiyonu ile elde edilir. Basit AB homopolimeri sentezlenir



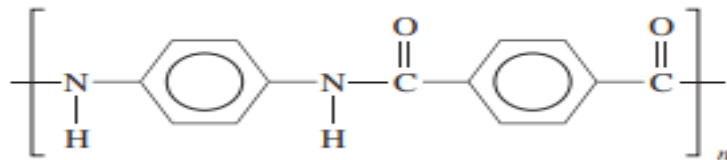
Şekil 2.10 :AB homopolimer sentezi (Rebouillat 2001)

Aramid lifleri sayıda sentezleme yöntemi vardır. Polimerler genellikle ara yüzey polimerizasyonu ya da düşük sıcaklık polikondenzasyonu yöntemleri ile elde edilir. AABB homopolimerleri için eriyik ya da buhar fazın polimerizasyon belirtilmiştir. AABB aromatik poliamidleri çeşitli aromatik diamin ve diasid veya diacid klorürlerden hazırlanır. Yapısı meta oriente edilmiş ise poli-m-fenilentereftalamid olarak adlandırılır. Meta-aramid olarak bilinir.



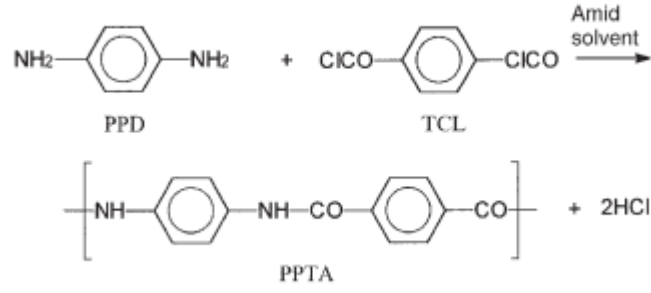
Şekil 2.11: Meta-aramid (Rebouillat 2001)

Yapısı para oriente edilmiş moleküllerden oluşuyor ise poli-p-fenilentereftalamid olarak adlandırılır. Para-aramid olarak bilinir.



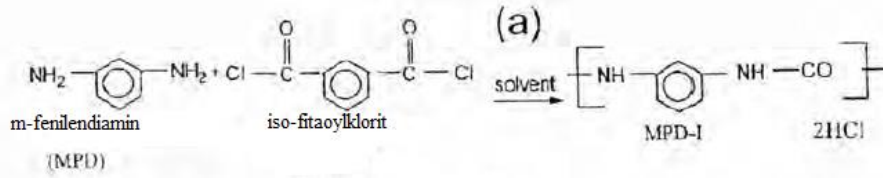
Şekil 2.12: Para-aramid (Rebouillat 2001)

Paraaramid sentezi düşük sıcaklıkta p-fenil diamin (PPD) ile tereftaloilkorür'den (TCL) polikondenzasyon ile gerçekleşir.



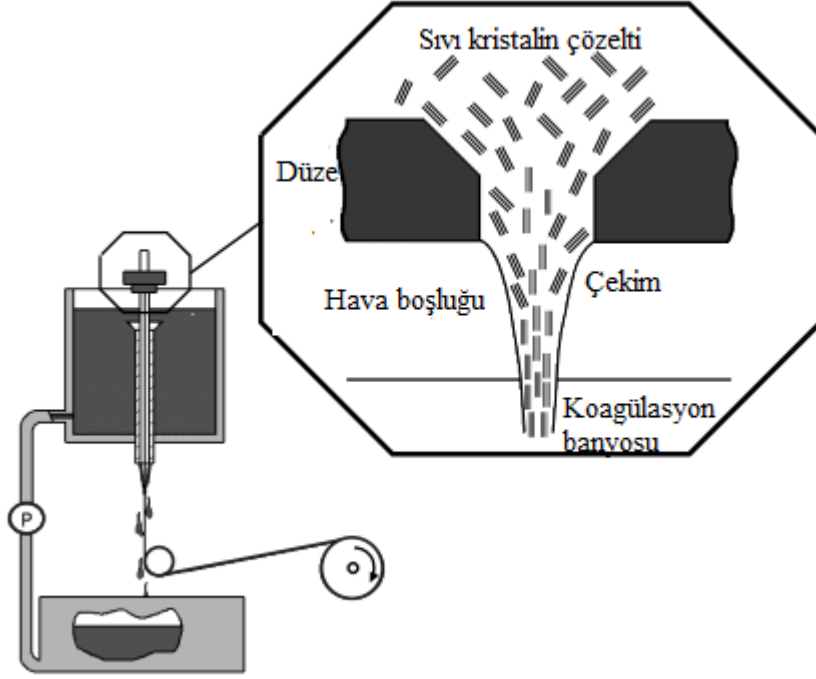
Şekil 2.13: Paramid sentezi (Rebouillat 2001)

Metaaramid sentezi aşağıdaki Şekil 2.14’te verilmiştir.



Şekil 2.14: Metaramid sentezi (Jassal ve Gosh 2002)

Aramid liflerinin lif çekim çözeltileri sıvı kristalin yapıdadır. %100’lük sülfirik asit çözeltisi 80 °C’ye kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta %10 konsantrasyon üzerindeki çözelti sıvı kristalin faza tekabül eder. Çubuk benzeri polimerler rijit olduklarından, kendilerini birbirlerine göre oryante etmektedirler. Lif çekim çözeltisi düzeden geçerken bir hava boşluğundan geçer. Bu çekim işleminde lifler koagulasyon banyosuna giriş hızı artmakta kristaller paralel hale gelmektedir. Koagulasyon banyosu soğuk sudan oluşmaktadır. Lif çekim sonrası yüksek bir oryantasyon sağlanmaktadır (Mecit ve diğ. 2007). Kuru jet-yaş lif çekim yönteminde sıvı kristalin çözeltilisinden lif çekimi Şekil 2.15’ te gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Kuru jet-yaş lif çekim yönteminde sıvı kristalin çözeltisinden lif çekimi (Rebouillat 2001)

Aramid lifleri farklı üreticiler tarafından farklı polimerlerden sentez edilerek üretilirler. Bununla birlikte fiziksel özellikleri benzer özelliklere sahiptir. Aramid liflerinin fiziksel özellikleri Tablo 2.6’da gösterilmiştir.

Tablo 2.5: Aramid liflerinin fiziksel özellikleri (Rebouillat 2001, Jassal ve Ghosh 2002)

Fiziksel Özellikler	Meta-aramid	Para-aramid
Yoğunluk g/cm ³	1,38	1,42-1,47
Çekme Mukavemeti (MPa)	600	2900-3400
Elastiğe Modülü (GPa)	17	55-143
Kopma Uzaması (%)	35	1,3-4,4
Bozunma Erimesi (°C)	415	550

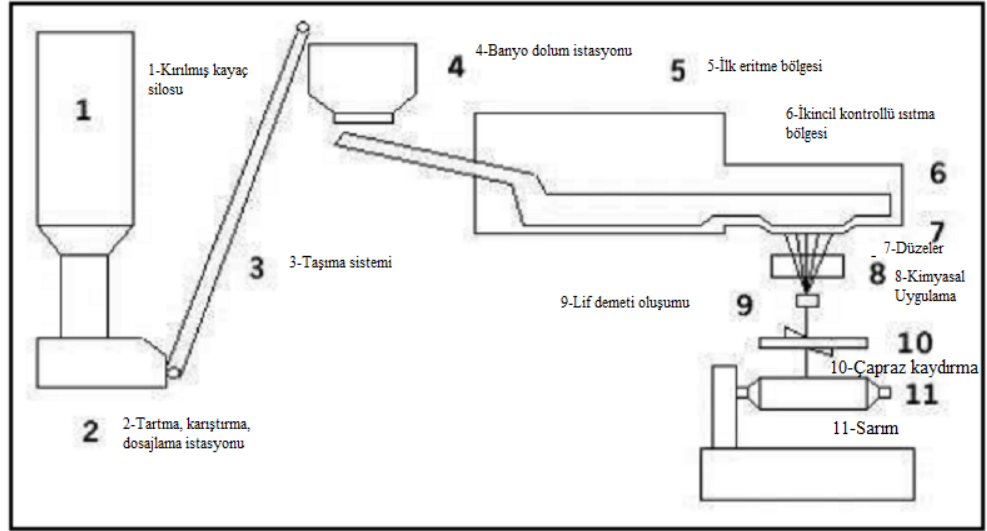
Aramid lifleri temel özellikleri yüksek modüllü bir lifdir. Yüksek sıcaklığa ve yanmaya karşı dayanımı vardır. Darbe dayanımı yüksektir. Darbeyi sönmeler. Aşınmaya karşı direnci vardır. Kimyasal dayanımları vardır. Düşük yoğunluğa sahiptir. Yüksek modül ve yüksek dayanım ile birleştiğinden kompozit malzemeler açısından avantajlı bir lif türü haline gelmektedir. UV ışını dayanımı yönünden zayıftır.

Kullanım yerleri açısından para-aramid lifleri balistik koruma amaçlı kullanımı yaygındır. Kesme direnci, ısıl direnci ve aşınma direnci yüksek olduğundan koruma giysilerinde kullanılır. Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemet, yüksek modül ve boyutsal stabilite nedeniyle radyal lastikler, kayışlar, kauçuk malzemeler. Kayışlar ve konveyör bantlarda kullanılır. Kompozitlerde kullanılır. Meta-aramid lifleri özellikle güç tutuşur olması sebebiyle, ısıl dayanımları da olması sebebiyle kıyafetlerde kullanılır. Ayrıca konfor özelliği para-aramidlere göre daha kullanışlıdır. Filtre alanında meta-aramidlerden yapılmış keçeler ısıl, kimyasal, mukavemet açısından dayanım gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisindeki hortumlarda kullanım yeri vardır. Aramid liflerinin kesik elyaf formu beton ile karıştırılarak kullanımı ile ilgili çalışmalar vardır.

Bazalt volkanik lavın katılaşmış, magmatik kayalara verilen addır. Bazalt kayaları ile ilgili olarak geçmişte doğal hali yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Tekstil malzemesi olarak ilk defa 1923 yılında Fransız bilim insanı Paul Dhé tarafından patenti alınmıştır. Amerika Birleşik Devletleri ve Sovyetler Birliği'nde bazalt lifleri alanında çalışmalar yapılmıştır. 1956-1961 yılları arasında bugün ki Ukrayna'da araştırma enstitüsünde bazalt lif numuneleri üretilmeye başlanmıştır. Sovyetlerin 1990'da dağılmasından sonra bazalt teknolojisi Dünya'ya yayılmıştır (King ve diğ. 2014).

Bazalt liflerinin üretimi temel olarak bazalt kayaçlarının kırılması, eritilmesi, eriyikten lif oluşumu, lif çekimi, liflerin yağlanması ve filament sarımı ile sonlanır. Bazalt liflerinin üretim hattı Şekil 2.16'da gösterilmiştir.

Bazalt kayaçları kırıcılar kırılarak siloya gelir. Buradan dosajlama, karıştırma ve tartım ünitesinden her bir banyo için dolun istasyonuna iletilir. Gaz karışımı ya da elektrikli ısıtıcılar ile 1450 °C'ye kadar ısıtılarak eritilir. Bazı durumlarda 1400 °C ile 1600 °C aralığında bazalt kaya tipine göre değişebilir. Daha sonra eriyikten lif çekim işlemi gerçekleşir. Düze deliklerinin çapına göre bazalt liflerinin 6 ile 22 mikron aralığında olmaktadır. Sonrasında kimyasal uygulama life yapılır. Ardından lifler bir araya getirilerek lif demeti oluşturulur. Sonrasında travers yardımıyla lif bobin haline getirilir (Jamshaid ve Mishra 2015).



Şekil 2.16: Bazalt üretim hattı (Kumbhar 2014)

Bazalt lifleri içerdikleri SiO_2 miktarına göre 3 sınıfta kategori edilir (Militky ve Kovacic 1996).

- %42 SiO_2 içerenlere alkaline bazalt
- %43-46 SiO_2 içerenlere kısmi asidik bazalt
- %46'dan fazla SiO_2 içerenlere asidik bazalt

Bazalt liflerinin kimyasal bileşimi Tablo 2.7'de gösterilmiştir.

Tablo 2.7: Bazalt liflerinin kimyasal içeriği (Kumbhar 2014)

Bazalt Lifinin Kimyasal İçeriği	%
SiO_2	52,8
Al_2O_3	17,5
Fe_2O_3	10,3
MgO	4,63
CaO	8,59
Na_2O	3,34
K_2O	1,46
TiO_2	1,38
P_2O_5	0,28
MnO	0,16
Cr_2O_3	0,06

Bazalt lifinin yapısında yer alan Fe_2O_3 ve FeO içeriği lifleri fiziko-mekanik özelliklerde önemli rol oynar. Renk itibariyle bazalt lifi kahverengi ile mat yeşil arasında bir renge sahiptir. Renk ile ilgili durumu içindeki FeO oranı belirler (Jamshaid ve diğ. 2015). Bazalt lifinin kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Ekolojik olarak çevreye zararlı değildir.
- Toksik özellikleri yoktur.
- Alkali ve asitlere karşı dayanımı yüksektir.
- Korozyon dayanımı vardır.
- Yüksek ısı ve sıcaklık dayanımı vardır.
- Yanamaya karşı dayanımı vardır.
- Elektrik direnci vardır.
- Düşük nem emme kapasitesi vardır.
- Ses yalıtım özelliği vardır.
- Titreşim sönümleme özelliği vardır.
- Patlamaya karşı dayanımı vardır.
- Yüksek çekme dayanımı vardır.

Bazalt lifinin mekanik, kimyasal, elektriksel özelliklerinin değerleri Tablo 2.8'de gösterilmiştir.

Tablo 2.6: Bazalt mekanik, elektriksel, kimyasal termal özellikleri (URL_11)

Bazalt Liflerinin Özellikleri	Değer
Yoğunluk, g/cm ³	1,95-2,75
Filament Çapı, µm	6-22
Çekme Dayanımı, MPa	1200-4840
Elastite Modülü, GPa	89
Kopma Uzaması, %	3,15
Eğilme Dayanımı, MPa	800
Basınç Dayanımı, Mpa	420
Erime Noktası, °C	1450
Maksimum Uygulama Sıcaklığı, °C	982
Sürdürülebilir Uygulama Sıcaklığı °C	820
Min. Çalışma Sıcaklığı, ° C	-260
Termal İletkenlik, W/m K	0,031-0,038
Termal Genleşme Katsayısı, ppm/° C	8,0
Termal İletkenlik, W/m K	0,031-0,038
%65 Bağıl Nemde Nem Emme, %	0,1
Elektriksel Özgül Hacim Direnci, ohm.m	1*10x12
Elektriksel Kayıp Tanjant Açısı, 1MHz	0,005
Relativ Dielektriksel Geçirgenlik, 1 MHz	2,2
Ağırlık Kaybı H2O ile 3 saat kaynatma, %	0,2
Ağırlık Kaybı 2n NaOH ile 3 saat kaynatma, %	5
Ağırlık Kaybı 2n HCl ile 3 saat kaynatma, %	2,2

Bazalt liflerinin belirtilen termal, kimyasal mekanik ve elektriksel özelliklerine göre kullanım yerlerindeki avantajları vardır. Çevreye zararlı olmaması ve toksik etkisi olmaması nedeniyle su için boru hatlarında, jeotekstillerde, inşaatlarda ve bina güçlendirmede kullanılmaktadır. Ses yalıtımı, termal özellikleri ve korozyon dayanımı iyi bir güçlendirme malzemesi haline getirmektedir. Alkali ve asit dayanımı kimyasal aşınmanın olduğu yerlerde kullanımını önemli getirmiştir. Özellikle petrol, gaz ve kimyasal taşınmasında özel tip borularda kullanılmaktadır. Bazalt plastikleri yüksek basınca dayanımı nedeniyle deniz altı uygulamalarında kullanılmaktadır. Özellikle alev dayanımı köprülerde, toplu taşımalarda, yangın perdelerinde, alevle ve ısı ile temas

eden bina güçlendirmelerinde kullanılmaktadır. Yüksek çekme dayanımı sebebiyle çekme dayanımı ihtiyacı olan alanlarda kullanımı yaygındır. Elektrik yalıtımının gerekli olduğu alanlarda kullanılmaktadır. Birim maliyeti karbon ve aramid liflerine göre çok düşük olduğundan alternatif olarak kullanılmaktadır. Alkali dayanımı sebebiyle cam lifi içinde alternatif oluşturmaya başlamıştır.

Cam lifleri yüksek performans lifleri içerisinde yer alan oldukça kullanım alanı ve miktarı yaygın lif türüdür. İçerisinde çoğunlukla %50-60 civarında SiO₂ barındıran lif türüdür. Kimyasal yapısının içeriğine göre farklı türleri vardır.

Cam lifi ilke defa 1734 yılında Rene Ferchault de Reamur tarafından üretilmiştir. Fabrikasyon üretim ise 18. Yüzyıl sonunda gerçekleşmiştir. Dokuma haline gelecek cam lifleri ise 1935 yılında Owens-İllinois Glass Co. tarafından üretilmiştir. 1942 yılına takviye edilmiş kompozitler havacılık sektöründe kullanılmaya başlanmış, 1960'ların başından itibaren Amerikan hava kuvvetleri tarafından Owens Tekstil Ürünleri ile ortak çalışmalar yürütmüş S tipi cam lifleri üretilmiştir (Özdemir ve diğ. 2006).

Cam lifleri kimyasal bileşenlere farklı özellikler gösterir. Bu özelliklere göre de farklı alanlardaki dayanımları artar. Dayanım veya direnç alanlarına göre isimlendirilirken o ismin ilk harfini önüne alır. E-Cam, A-Cam vb. şekillerde ifade edilir. Karakteristik özelliklerine göre isimlendirilmeleri Tablo 2.9'da gösterilmiştir.

Tablo 2.7: Cam liflerinin tipleri (Wallenberger ve diğ. 2001, Jones 2001)

Harf Açıklaması	Karakteristik Özelliği
E, electrical	Düşük elektriksel iletkenlik
S, strength	Yüksek Dayanım
C, chemical	Yüksek kimyasal dayanım
M, modulus	Yüksek modullülük
A, alkali	Yüksek alkali veya soda kireç içeriği
D, dielectric	Düşük dielektrik katsayısı
AR, alkali resistant	Yüksek alkali direnci dayanımı
ECR, electrical	Düşük elektriksel dayanım, E cam'ın bir sonraki nesil
HS, High strength	Yüksek dayanım
R, High strength with acidic resistance	Asidik korozyon direnci ve mukavemet

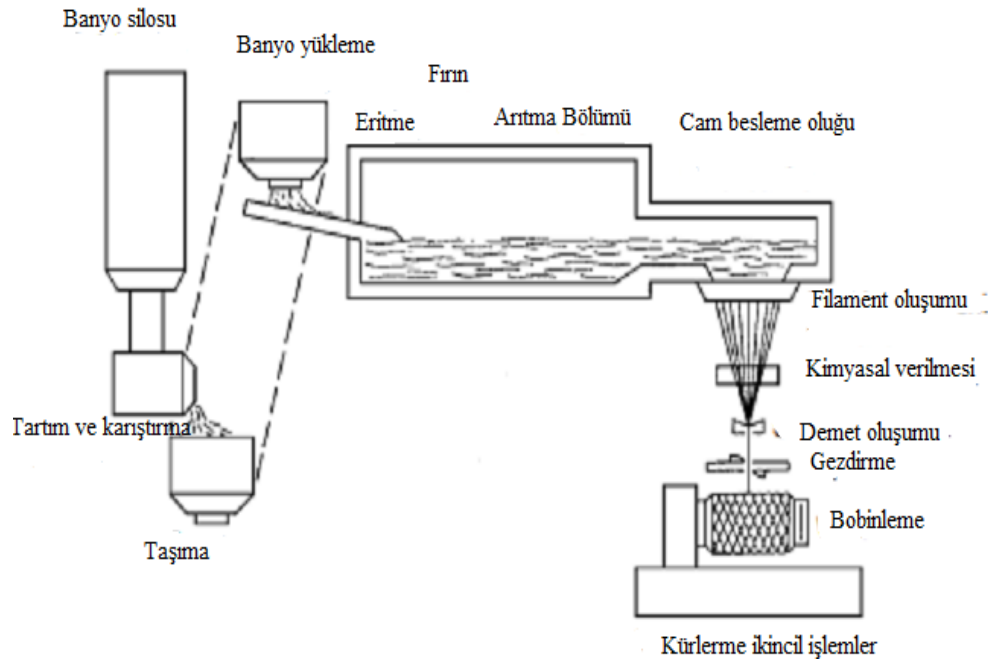
A-Cam lifleri alkali yapıda özel olarak üretilmektedir. Elektriksel iletkenliğin önemli olmadığı, mukavemet ihtiyacının olmadığı durumlar için üretilmiş olup;

içeriğinde soda kireç silikat barındırır. C-Cam lifleri kimyasal dayanımlar için üretilmiştir. Aşındırıcı asidik etkilere karşı direnç geliştirilmiş liflerdir. D-Cam lifleri düşük dielektrik katsayısı ihtiyacında kullanılmaktadır. E tipi cam lifleri en çok üretilen cam lifi grubudur. Yüksek mukavemet ve elektrik dayanımı ihtiyacını gidermek için üretilmiştir. Elektronik amaçlarla geliştirilmekle beraber GFRP uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal dayanımı da olduğundan kimya sanayinde de kullanılmaktadır. ECR-Cam lifleri E-Cam liflerine göre geliştirilmiş özelliklere sahip liflerdir. Mukavemet ve kimyasal dayanım yönünden E-Cam liflerinin geliştirilmiş halidir. S-Cam ve HS-Cam lifleri yüksek dayanım için üretilen lif türleridir. Mukavemet değerleri nedeniyle özellikle kompozit endüstrisinde kullanılmaktadır. R-Cam lifleri asidik korozyon için dayanım istendiğinde kullanılan cam lif türleridir. M-Cam lifleri yüksek modül ihtiyacı için geliştirilmiş cam lif türüdür. AR-Cam lifleri içerisinde barındırdığı zirkonyum nedeniyle alkali dayanımı yüksek liflerdir. Cam liflerinin tiplerine göre içerdiği moleküller farklılık göstermektedir. Tiplerine içerikleri Tablo 2.10’da gösterilmiştir.

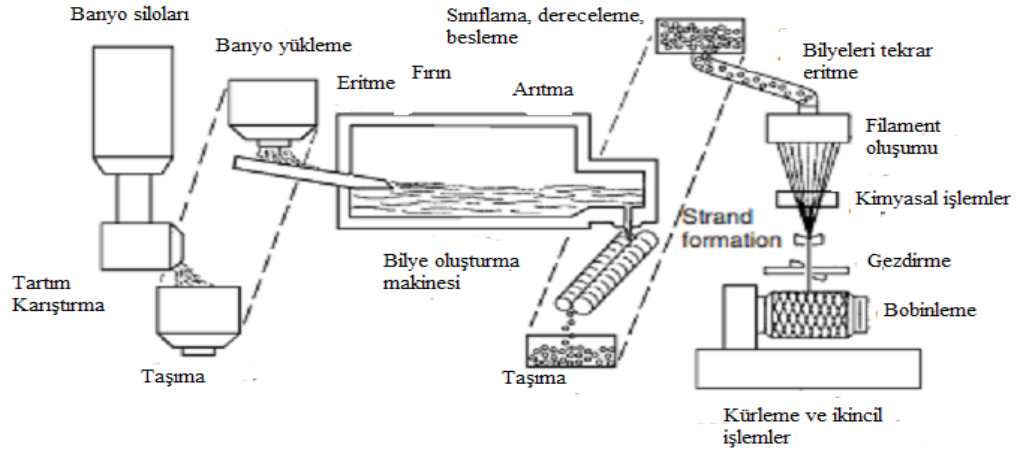
Tablo 2.8: Cam liflerinin tiplerine moleküllerin ağırlık olarak % (Jones 2001)

Molekül Yapısı	A-Cam %	C-Cam %	D-Cam %	E-Cam %	ECR-Cam %	R-Cam %	AR-Cam %	S-Cam %
SiO ₂	71,8	65	72	55,2	58,4	60	61	65
Al ₂ O ₃	1	4	1	14,8	11	25	0,5	25
B ₂ O ₃		5	24	7,3	0,09			
ZrO ₂							13	10
MgO	3,8	3		3,3	2,2	6	0,05	
CaO	8,8	14		18,7	22	9	5	
ZnO					3			
TiO ₂					2,1		5,5	
Na ₂ O	13,6	8,5	4	0,3				
K ₂ O	0,6			0,2	0,9		14	
Li ₂ O								
Fe ₂ O ₃	0,5	0,3	0,3	0,3	0,26			
F ₂				0,3				

Üretim metodu bazalt liflerine benzemektedir. Benzer bir üretim hattı bulunmaktadır. Cam hammaddesi eritilerek düzelerden çekilir ve üzerine gerekli kimyasal uygulanarak bobinlere sarılır. Filament üretiminde doğrudan eriyikten çekim ya da cam çubuk, cam bilyelerden eritilerek çekim yapılır. Şekil 2.17’de Doğrudan eriyikten çekim; Şekil 2.18’de ise ikinci yöntem gösterilmiştir.



Şekil 2.17: Cam lifi üretimi doğrudan eriyikten çekim (Jones 2001)



Şekil 2.18: Bilye oluşumu ile cam elyaf üretimi (Jones 2001)

Cam liflerinin fiziksel özellikleri Tablo 2.11’de gösterilmiştir (Yaman ve diğ. 2006)

Tablo 2.9: Cam liflerin fiziksel özellikleri (Yaman ve diğ. 2006)

	A-Cam	C-Cam	D-Cam	E-Cam	ECR-Cam	AR-Cam	R-Cam	S-Cam
Yoğunluk g/cm ³	2,44	2,52	2,11- 2,14	2,55- 2,62	2,68-2,72	2,7	2,54	2,46- 2,49
Refrakto İndeksi	1,538	1,533	1,465	1,558	1,576	1,562	1,546	1,521
Yumuşama Noktası °C	705	750	771	846	882	773	952	1056
Tavlama Noktası °C		588	477	615			736	766
Gerilme Mukavemeti, MPa								
-196 °C		5380		5310	5310			8275
23 °C	3310	3310	2415	3445	3445	3241	4135	4890
371 °C				2620	2165		2930	4445
538 °C				1725	1725		2140	2415
Young Modülü GPa								
23 °C	68,9	68,9	51,7	72,3	80,3	73,1	4135	4890
538 °C				81,3	81,3			88,9
Esneleme %	4,8	4,8	4,6	4,8	4,8	4,4	4,8	5,7
Spesifik Gerilme Dayanımı x10 ³ m		145	125	145	140		180	220
Spesifik Gerilme Dayanımı x10 ⁶ m		3	2,7	3,1	3,25		3,7	3,9

Cam liflerinin temel özellikleri içerdikleri kimyasal yapıya göre değişiklik gösterir. Liflerde temel maliyetleri uygun oldukları için inşaat güçlendirme alanlarında kullanılmaktadır. Kimyasallara karşı dayanımları iyi olduğundan kimya sektöründe boru, tank, kablo kaplam, işletme içi proses elemanlarında kullanılmaktadır. Filtrelerde kullanılmaktadır. Çok fazla elastite modülü gerektirmeyen sektörlerde kompozitlerde lif takviyesi olarak kullanılmaktadır. Rüzgâr güllerinde, denizcilik sektöründe kullanılmaktadır. En büyük handikabı nem altında mukavemet kaybı sorunu vardır. Ayrıca uzun süre yük altında cam liflerinde çatlaklar oluşur.

2.2 İnşaat Güçlendirme Alanında Karbon Lifleri İçeren Tekstil Yapıları

İnşaat güçlendirme alanında kullanılan karbon elyaf içeren tekstil yapıları temel olarak iki grupta incelenebilir.

- Multiaksiyel kıvrımsız karbon kumaşlar (non-crimp fabrics)
- Dokuma karbon kumaşlar

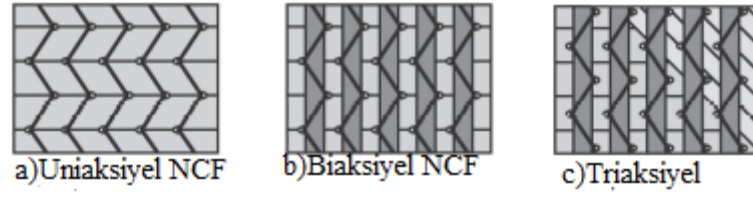
2.2.1 Çözümlü Örmeye-Multiaksiyel Kıvrımsız Karbon Kumaşlar (Non Crimp Fabrics -NCF)

Örmeye işlemi sırasında üretim yönünde ilmek oluşumu ile gerçekleşen kumaşlara çözümlü örmeye kumaşlar denir. Örmeye işlemi gerçekleştiren iğneler sürekli iğne çubuğuna monteli olup, ilmek yapımı sırasında birlikte hareket ederler. Üretim işlemine göre çözümlü örmeye kumaşlar farklı iplik sistemleri ile oluşturulur.

Kıvrımsız kumaşlar paralel oriente edilmiş güçlendirme ipliklerinin ya da bantlarının (tow) ilave fikse edici materyal ile pozisyonlanması olarak ifade edilir (Schnabel ve Gries 2011).

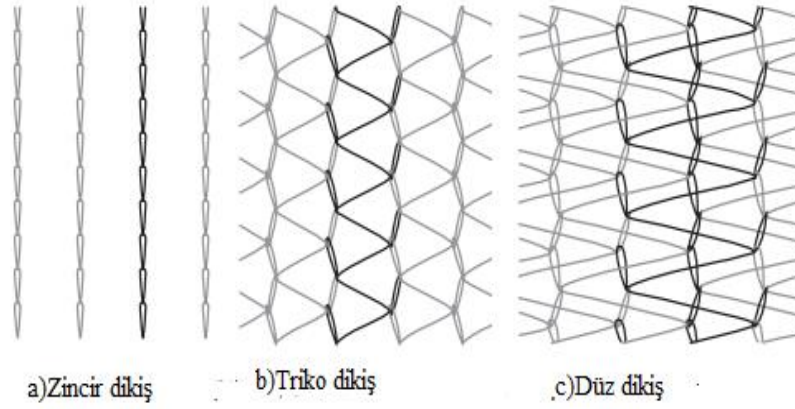
1949 yılında Heinrich Mauersberger'in patent alması ile yeni bir tekstil materyali ve tekstil üretim metodu olarak tanımlanmıştır. Fikrin temeli zincir dikiş yöntemi ile önce atkı yönündeki gevşek dolgu ipliklerini ya da paralel atkı ipliklerini birleştirmesi ile non-crimp fabric ortaya çıkmıştır. Zaman içinde çözümlü örmeye yöntemi ile gerçekleşmiştir (Schnabel ve Gries 2011).

Çözümlü örmeye kumaşları triko ilmekleri ile birbirine bağlanan, çözümlü iplikleri, atkı iplikleri ve çapraz ipliklerini içerir. Ancak tüm yönlerde iplik olmak zorunda değildir. Multiaksiyel üretim yöntemi ile tek yön (uniaksiyel-unidirectional), çift yön (biaksiyel-bidirectional), üç yönlü-aksli (triaksiyel) veya dört yönlü- dört aksli (quadroaksiyel) kumaşlar üretilebilir. Burada aks yönündeki iplik güçlendirme ipliği olarak kullanılır. Şekil 2.19'da multiaksiyel kumaş tipleri gösterilmiştir.



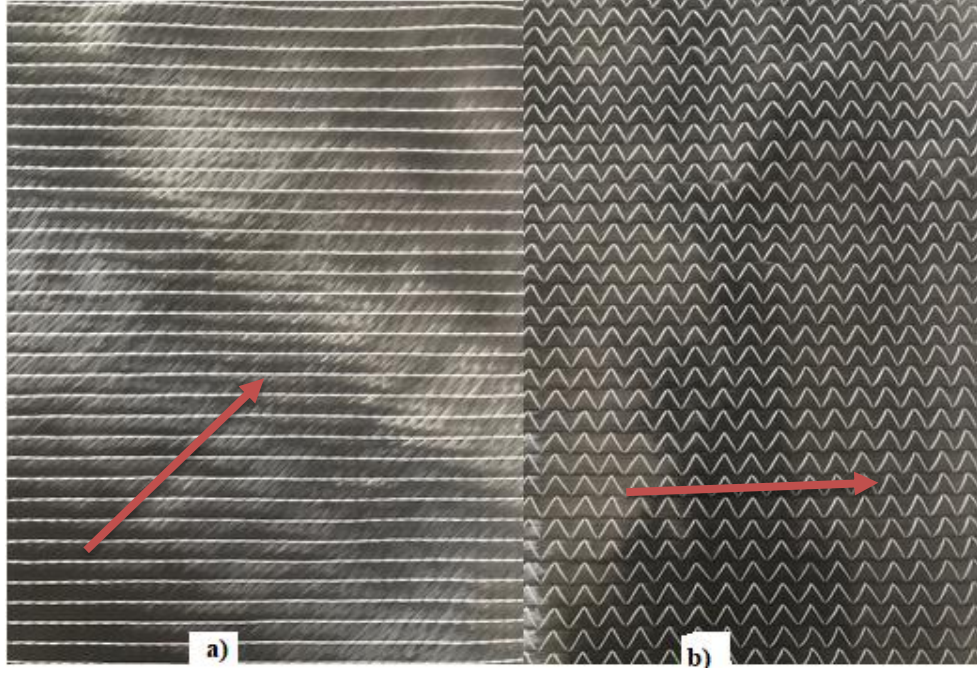
Şekil 2.19: Multiaksiyel kumaş tipleri a) uniaksiyel b) biaksiyel c) triaksiyel (Schnabel ve Gries 2011).

Bu tüm yönlerdeki üst üste yatırılmış olan iplikleri dikiş ipliği ile bağlanır. Dikiş farklı şekillerde olabilir. Şekil 2.20’de dikiş şekilleri gösterilmiştir. Dikiş iplikleri PES, PA gibi malzemelerden olabilir.



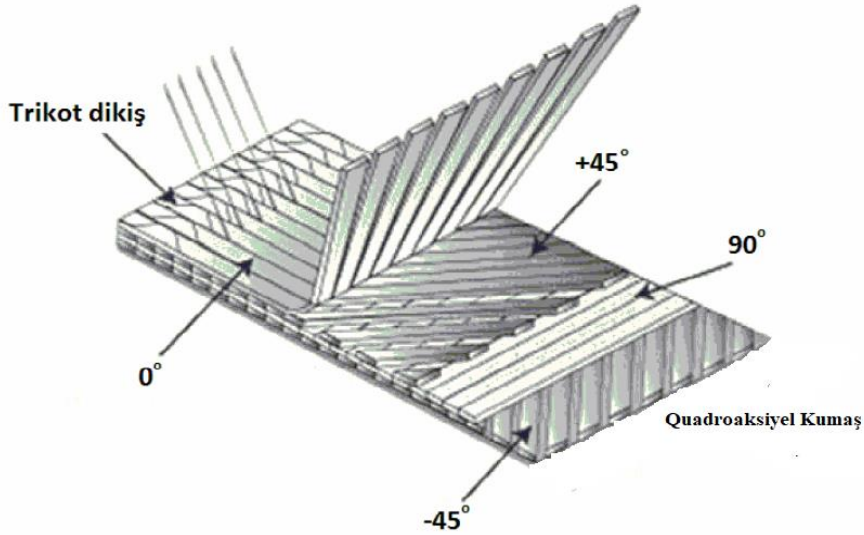
Şekil 2.20: Dikiş tipi a) zincir dikiş b) Triko dikiş c) düz dikiş (Schnabel ve Gries 2011).

Çözümlü örme yöntemine göre üretilen kumaşlarda istenen açılarda güçlendirme iplikleri beslenebilir. Şekil 2.21’de açılarını ve dikişlerine göre farklı multiaksiyel kumaş örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.21: Multiaksiyel kumaş örneği a) $+45^{\circ}$ - 45° açı ile zincir dikiş ile üretilmiş multiaksiyel kumaş b) 0° - 90° ile trikot dikiş ile multiaksiyel üretilmiş kumaş örneği

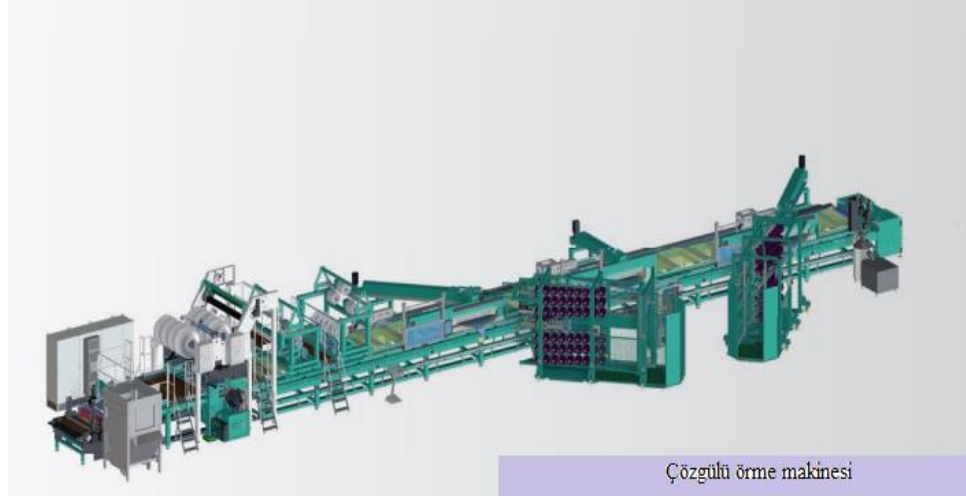
Birden çok kat istenen açılarda yerleştirilirken iplikler birbiri üzerinde kesişim yapmadığından kıvrım (crimp) oluşmaz. Çok sayıda kat farklı açılar ile dikiş ipliği yardımı ile birleştirilir. Şekil 2.22’de çok aksli kumaş örneği şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.22: Quadroaksiyel kumaş şeması (Ağır 2010)

Çözümlü örme makinelerinde üretilen kumaşın cinsine göre makine üzerinde çoklu aks üretimi yapılacak ise aks açıları ayarlanarak üretim yapılır. İplikler serilirken

belirlenen açılar doğrultusunda serilir. Şekil 2.23'te çözümlü örme makinesini şeması vardır.



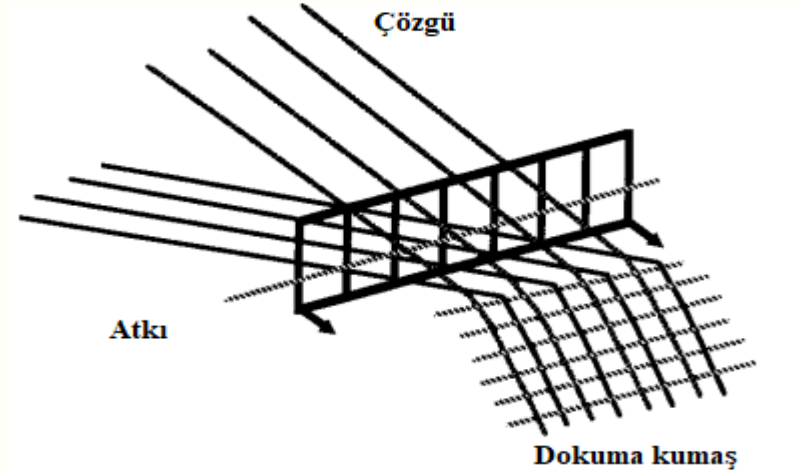
Şekil 2.23: Çözümlü örme makinesi (Url_15)

Çözümlü örme işleminin avantajları hızlı bir üretim modelidir. Çok kısa sürede yüksek üretim kabiliyetinde sahiptir. Çok aksli üretim yöntemi ile belirlenen açılara yük taşıyacak karbon ipliğini sererek güçlendirmede avantaj sağlamaktadır. Dezavantajları ise çok yüksek maliyetli bir yatırım oluşudur. Yüksek üretim nedeniyle işletme maliyeti yüksektir. Diğer bir dezavantajı ise desenlendirme imkânı yoktur.

2.2.2 Dokuma Kumaşlar

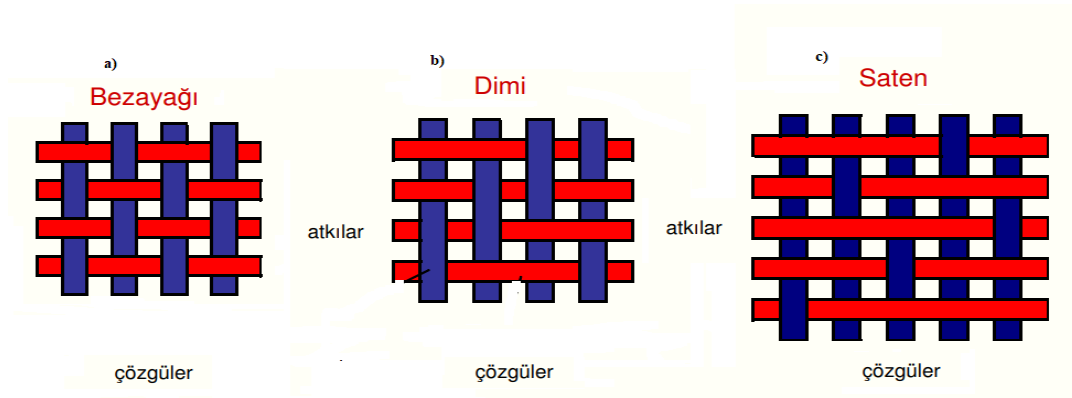
Dokuma, genel anlamda atkı ve çözgü adı verilen iki grup ipliğin birbirlerinin altından ve üstünden belirli bir örgüye göre geçerek yüzey oluşturma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Dokuma işlemi ile oluşturulan yüzeylere dokuma kumaş adı verilir. Dokuma üretim metoduyla geliştirilmiş birden çok sayıda dokuma kumaş türü mevcuttur. Bu çalışmada karbon kumaşları iki boyutlu iki aksli dokuma metodu kullanarak üretilecektir. İki boyutlu iki aksli dokuma kumaş üretim yönteminde çözgü ve atkı ipliği birbirini 90°'lik açı ile keser. Dokuma karbon kumaşlar için çözgü yönü 0° olarak, atkı yönü 90° olarak da kullanılır. Çözgü yönü için kumaşın boyu, atkı yönü için kumaşın eni ifadesi de kullanılabilir. Karbon ipliği ile yapılan dokuma işlemlerinin geleneksel dokuma ile teorik olarak bir farkı yoktur. Dokuma işlemi sırasında çözgü iplikleri dizili oldukları çerçevelerin hareketi ile ya da aşağı hareket ederek ağızlık

oluştururlar, açılan ağızlıkta atkı atım sistemi yardımı ile buraya yatırılır. Ağızlık kapanmasıyla beraber tefeleme hareketi ile tarak atkırı sıkıştırır ve kumaş oluşumu gerçekleşir.



Şekil 2.24: Dokuma Kumaş Oluşumu

Dokuma desenine göre çözgü ve atkı ipliklerinin hangilerinin yukarıda hangilerinin aşağıda olacağı belirlenir. Temel dokuma kumaş desenleri bezayağı, dimi ve satendir. Temel dokuma desenleri Şekil 2.25'te gösterilmiştir.



Şekil 2.25: Temel dokuma desenleri a) bez ayağı b)dimi c) saten

Karbon dokuma kumaşlarda bezayağı, 2/2 dimi ve 4/1 saten en çok kullanılan temel dokuma desenleridir.

2.2.2.1 Tek Yön Kumaşlar

Tek yön kumaşlar çözgü ya da atkıda güçlendirme amacıyla kullanılan ipliği içerdiği diğer aksta ise deseni tamamlamak amacıyla ince bağlayıcı bir iplik içermektedir. Tek yön kumaşlara unidirectional ya da uniaksiyel kumaşlarda denilmektedir. Çoğunlukla çözgü yönünde karbon içerir. Atkı yönünde ise cam ya da Pes içeren ince iplik ile dokuma işlemi ile ve genelde bez ayağı desen ile kumaş oluşturur. Atkı yönündeki ipliğin mukavemet, çekme, eğilme, açısından herhangi bir yapısal fonksiyonu yoktur. Kumaşın çekme dayanımı karbon ipliğinin doğrultusunda yer almaktadır. Üretilen kompozit ya da güçlendirilme türüne göre farklı konstrüksiyonlarda tek yön kumaşlar üretilir.

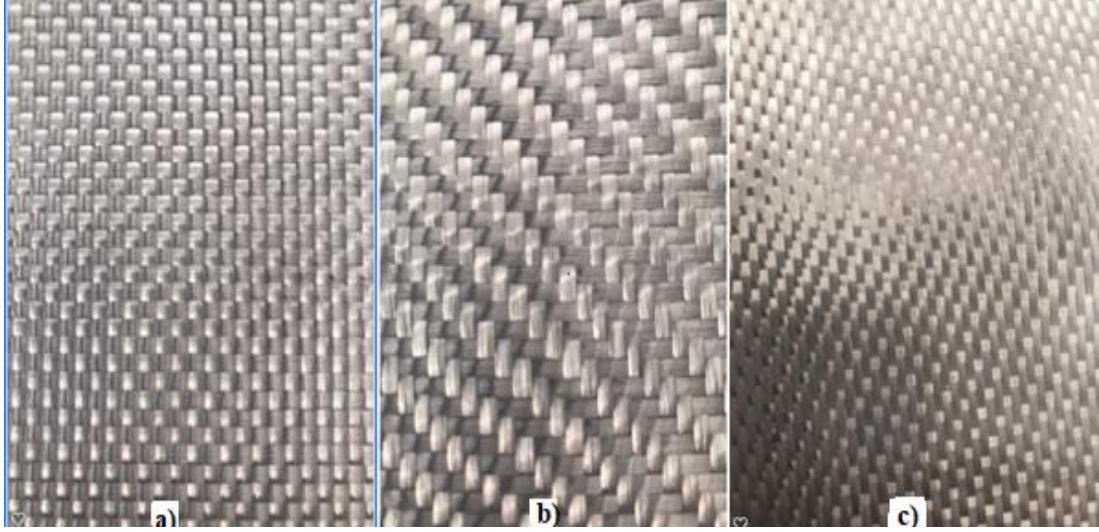


Şekil 2.26: Tek yön karbon dokuma kumaş

2.2.2.2 Çift Yön Kumaşlar

Çift yön kumaşlar her iki aks yönünde de de atkı ve çözgü iplikleri güçlendirme amacıyla kullanılan karbon iplikler içerir. Bu tip kumaşlara biaksiyel ya da

bidirectional kumaşlar da denir. Karbon dokuma çift yön kumaşlarda büyük çoğunlukla atkı ve çözgü yönünde aynı iplik numarasında karbon iplikler kullanılır. Bu kumaşların atkı ve çözgü sıklıkları genelde aynıdır. Çift yön karbon dokuma kumaşlarda en yaygın desenler bezayağı, dimi 2x2 ve 4/1 satendir.



Şekil 2.27: Çift yön dokuma karbon kumaş a) bez ayağı desen b) 2/2 dimi desen c) 4/1 saten desen

2.2.2.3 Kumaşlarda Dokuma Konstrüksiyon

Dokuma kumaşların yapısını anlamamızı sağlayan özellikler bütünü kumaş konstrüksiyonu şeklinde ifade edilebiliriz. Dokuma kumaş konstrüksiyonu kumaşın içerdiği iplik cinslerini, iplik numaralarını, çözgü ve atkı sıklıklarını ve dokuma desenini içermektedir. İçerdiği iplik numarası ve sıklıklarına bağlı olarak kumaşın teorik alan ağırlığı hesaplanır. Bu da kumaşın birim alanda ağırlığı olarak da ifade edilebilir. Genellikle kompozit sektöründe karbon kumaşlar için iplik numarası, birim alan ağırlığı ve desen birlikte kullanılır. Örneğin 3K (200 tex) 200 gr/m² bezayağı gibi.

Kullanılan karbon iplikler sentetik filament iplikler gibi denye sistemi ile ifade edilmez. Diğer aramid, cam, bazalt iplikler gibi tex sistemi ile iplik numaraları kullanılır.

Kumaş konstrüksiyonunda sıklıklar çözgü ve atkı yönünde adet/cm olarak belirtilir. Ancak analiz için dokuma karbon kumaşta 10 cm'de sayılarak bulunur. Bunun nedeni çok düşük sıklıklarda oldukça kalın ipliklerle üretim yapıldığından TS

EN 1049-2 gereği 10 adet/cm'den az kumaşlarda 10 cm'deki iplik miktarı sayılır. Karbon dokuma kumaşlarda cm'de sıklıklar büyük çoğunlukla 10 adetten az bulunmaktadır.

Kumaşlarda desenler konvansiyel dokuma kumaşlarda olduğu gibi ifade edilir. Bezayağı, 2/2 dimi (twill), 4/1 saten, şeklinde desenler temel desen olarak bulunmaktadır.

Kumaş birim alan ağırlığı gr/m^2 ile ifade edilir. Kumaş birim alan ağırlığı hesaplanırken 1 m^2 alandaki iplik sayısı bulunur. İplik numarası tex cinsinden kullanıldığından toplam 1000 mt iplik uzunluğunun miktarının ağırlığı birim kumaş alan ağırlığını verecektir. Hesaplama (2.1) denklemi kullanılarak yapılır.

$$KBAA = \frac{([\text{ÇS} \times 100 \times iN] + [AS \times 100 \times iN])}{1000} \quad (2.1)$$

KBAA: Kumaş birim alan ağırlığı g/m^2

ÇS: Çözgü Sıklığı (adet/cm)

AS: Atkı sıklığı (adet/cm)

İN: İplik numarası (tex)

Örnek bir hesaplama (2.1) denklemi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

Çözgü sıklığı 5 sıklık/cm * atkı sıklığı 5 sıklık/cm

Çözgü ipliği karbon elyaf 3K(200 Tex) * Atkı ipliği 3K(200 Tex) ise

$$KBAA = \frac{([5 \times 100 \times 200] + [5 \times 100 \times 200])}{1000}$$

$KBAA = 200 \text{ gr}/m^2$ dir.

2.2.2.4 Kumaş Üretiminde Dokuma Makineleri

Karbon ipliği özelliği gereği filament yapıda, yassı kesitte bant şeklindedir. Karbon dokuma kumaşlarda kompozit ve güçlendirme alanında kumaşta ipliğin en az şekilde büküm alması istenir. Kumaş yüzeyinde yassı kesit yapısını en düzgün şekilde kumaşa yansıtması beklenir. Karbon ipliği kalın tex numaralarında ipliklerdir. Atkı transferi her iki nedenden dolayı rapier ile gerçekleştirilmektedir. Rapierler sert kancalı tip rapierlerdir. Tek rapier ya da çift rapier olabilir.

Karbon dokuma kumaşlarda çözgü yönünde ipliklerin doğrusal olması ve düz kesit yapılarının bozulmaması adına çağlıktan dokuma işlemi yapılır. Her bobin bağımsız olarak gerilimleri ayarlanır. Çözgü yolu boyunca ipliğin maruz kalacağı sürtünme minimize edilir. Binlerce filamentten oluşan karbon liflerinin sürtünme nedeniyle kırılması, lif-uçuntu tabakaları oluşturması istenmez. Kırılan liflerin oluşturduğu bu uçuntular sadece dokuma yüzeyinde dokuma hatası oluşturmamakta aynı zamanda epoksi ile oluşturulan kompozit yapıda yapısal sorunlara da yol açmaktadır.



Şekil 2.28: Dokuma makinesi (Url_16)

Dokuma makineleri genelde armürlü yapıdadır. Desenlendirme armür yardımı ile gerçekleştirilir. Az da olsa egzantrikli sistemler vardır.

Dokuma makinesi devri son modellerde maksimum 250d/dk'dır. Genelde 100-200d/dk aralığında kumaş dokunur.

2.2.3 İnşaatta Güçlendirmede Karbon Kumaş Uygulama Şekilleri

Türkiye coğrafi konumu itibariyle deprem kuşağında yer almaktadır. Son yıllarda yaşanan depremlerde büyük kayıplar vermiştir. Mevcut binaların büyük çoğunluğu eski betonarme yapılardan oluşmaktadır. Olası depremde büyük zararlar göreceği öngörülmektedir. Yıkılıp yeniden yapılması veya güçlendirilmesi gerekmektedir. Binaların yıkılıp yeniden yapılması en maliyetli yöntem olarak belirtilmektedir. Güçlendirme yapılmasında ise binaların boşaltılarak güçlendirilmesinin uygulanması kolay bir yöntem değildir. Bu noktada lifli polimer yapılar ile elde edilmiş FRP'ler en hızlı, en uygun maliyetli güçlendirme modeli olarak karşımıza çıkmaktadır (Akyıldız ve diğ. 2016). Lifli polimer ile yapılan güçlendirme malzemelerinden biri karbon elyaftan üretilmiş kumaşlardır. Çoğunlukla karbon kumaş ile epoksi reçine ile oluşturulmuş karbon fiber takviyeli plastikler (CFRP) diye isimlendirilen yapılar kullanılır.

Güçlendirme sadece betonarme binalarda yapılmaz. Bacalar, köprüler, viyadükler, tüneller, borular gibi deprem anında zarar görmesi muhtemel tüm yapılarda kullanılabilir.

Güçlendirme mevcut zayıf bir yapının mevcut durumunu iyileştirme amacıyla olabileceği gibi, bir deprem geçirmiş bir yapının yapısal hasarlarını gidermek içinde kullanılmaktadır.

Güçlendirmedeki temel amaç yapının rijitlik, yük taşıma kapasitesi, sistemin dayanımını, süneklik ve enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadırlar (Akyıldız ve diğ. 2016).

Karbon kumaşlar dikey elemanlar ve yatay elemanlarda uygulanmaktadır. Uygulamalar için yapılan hesaplamalar deprem yönetmeliğinde belirtilmiştir.

Genel olarak karbon kumaş ile yapılan güçlendirmenin avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Yapılarda kullanım altında kullanım kolaylığı
- Yüksek maliyetli ekipman ve makine gerektirmez.
- Her çeşit yapı elemanını güçlendirilmesinde kullanılır.
- Ölü yükü artırmaz, elemanın geometrisini değiştirmez.
- Esnektir, değişik formlara girer.
- Dinamik yükten gelen malzeme yorulması direncini artırır.
- Bakım gerektirmez.
- Korozyona karşı direnci vardır.
- Tasarım kolaylığı vardır.
- Yük taşıma dayanımı, eğilme dayanımını ve durabiliteyi artırır.

2.2.3.1 Dikey Elemanlarda Uygulamalar

Dikey yönde yer alan kolonlar, duvarlar, bacalar, tanklar/silolar, viyadükler ve köprü ayakları karbon kumaşlar ile dıştan uygulama ile güçlendirilir.

Kolonlarda dıştan epoksi uygulanmış kumaşlar güçlendirilecek kolonlara uygulanır. Bu uygulama kolonlarda kesme, eğilme, kayma dayanımını artırır. Darbe direnci ve uzun süreli yük taşıma kapasiteleri artar. Viyadüklerde ve köprü ayaklarında kolon benzeri yaklaşımlar daha büyük ölçekli olarak gerçekleşir.

Dikey duvarların yüzeylerine ihtiyaca göre sıva altına karbon kumaş uygulamaları ile darbe direnci artırılır. Patlamalara karşı koruma sağlar. Bacalarda rüzgâr yüküne karşı dayanım ve kesme dayanımında artış sağlanmaktadır. Silolar tanklarda çevresel gerilmelere karşı dayanım artırılır, çatlakların ilerlemesi durdurulur. Borular ve tünellerde basınç dayanımını artırmak için yapılan güçlendirmeler söz konusudur.

2.2.3.2 Yatay Elemanlarda Uygulamalar

Yatay elemanlar olarak kirişler, döşemeler ve köprü, oto yol tabliyeleridir. Kirişlerde eğilme dayanımı, kesme dayanımı artırılır. Kumaşlar kiriş altında uygulanır. Ayrıca kirişlere sargı şeklinde uygulanarak eksene dik ya da belirli bir açıda

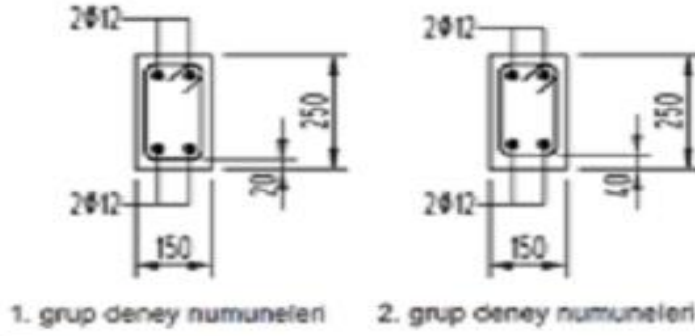
uygulanarak kesme dayanımında artış sağlanır. Kiriş uygulamaları betonarme binalar, köprüler, yol kirişlerinin tamamında uygulanır. Sadece betonarme değil aynı zamanda ahşap, çelik kirişlerde de kullanılır. Döşemelerde CFRP kullanılması ile servis yüklerinin artmasına karşı dayanım, merdiven veya asansör boşluğu açılması nedeniyle doğan ihtiyaçlarda, köprü ve yollarda artan trafik yükü nedeniyle artan ihtiyaçlarda dayanım artırılması amacıyla uygulanır.

3. LİTERATÜR BİLGİSİ

İnşaat tekstillerinin alt konusu olan güçlendirme alanında yer alan bina güçlendirme konusunda özellikle yüksek performans liflerinin kullanılmasıyla beraber çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar eğilme dayanımı, kesme dayanımı, basınç dayanımı konularında yer almaktadır. Kirişlerin eğilme ve kesme dayanımı konusunda yüksek performans lifleri ile üretilen tekstil ürünlerinin uygulama şekli, uygulama miktarı, yapıştırıcı olarak kullanılan reçinelerin etkisi ve yüksek performans lifleri arasındaki farklar araştırma konusu haline getirilmiştir. Özellikle karbon elyaftan üretilmiş tekstil ürünleri ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür.

Kaya ve diğ. (2017^a) güçlendirme yapılan beton kirişlere yapıştırıcı etkisini araştırmıştır. Bu amaçla farklı yapıştırıcı türlerinden epoksi, ms polimer ve poliüretan yapıştırıcı türlerini kullanmıştır. 100x100x500 mm ölçülerinde beton kiriş numunesi hazırlamış, hazırladığı beton numuneleri 28 günlük kürlenme süresi için havuzda bekletmiştir. Bu bekletme süresi sonucunda 0,3 ve 0,5 mm'lik iki farklı çelik sac türünü bu hazırlamış olduğu 100x100x500 mm beton kiriş numunelerine üç farklı yapıştırıcı türü ile uygulamıştır. Bir haftalık yapıştırıcıların mukavemetine ulaşması için bekleme süresi sonucunda, iki noktalı eğilme testi yapılmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda kontrol numunesine göre %14 ile %782 arasında eğilme dayanımında artış bulmuştur. Farklı yapıştırıcı türleri eğilme dayanımında aynı tip betonda farklı sonuçlar elde etmiştir. En yüksek eğilme dayanımı artışını epoksi uygulaması ile her iki sac örneğinde elde etmiştir.

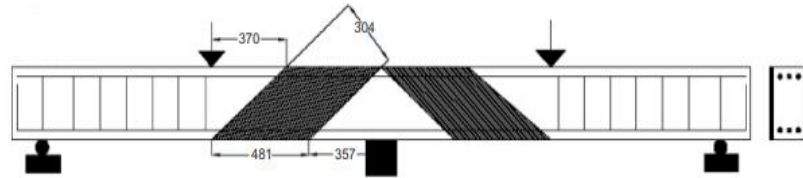
Dalyan (2019) karbon elyafı ile farklı biçimlerde güçlendirilmiş kirişler hakkında çalışmasında karbon elyaf ile dokunmuş 300gr/m² kumaş kullanmıştır. 4900 MPa çekme ve 230 GPa elastite modülüne sahiptir karbon elyaftan üretilmiş kumaşı epoksi bazlı reçine ile 150x250x2600 mm ölçülerinde kiriş numunelerinde uygulamıştır. Çalışmasında iki farklı donatı uygulaması yaparak karbon kumaş ile güçlendirme etkilerini incelemiştir. Birinci grupta net beton örtüsü 20 mm diğesinde ise 40 mm'dir.



Şekil 3.1: Dency kiriş kesiti (Dalyan 2019)

Bu iki grup beton kiriş numunelerinde üç farklı karbon kumaş güçlendirme uygulaması yapmıştır. Her iki grup için sadece alt yüzeye, alt yüzeye yan yüzeyde kısmi uygulama, kirişler için U şeklinde tüm alt yüzey ve yan yüzeylerde uygulama gerçekleştirmiştir. Yapılan deney sonucunda her iki kiriş tipinde U tipi güçlendirmenin güçlendirme uygulaması yapılmayan şahit numunelere göre en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu bulmuştur. 1. Grup için %108,2 oranında artış, 2. Grup için %115,7 olarak ölçmüştür. Her üç kiriş sarım modelinin de güçlendirme açısından eğilme dayanımında yük taşıma kapasitesini artırdığını belirtmiştir.

Bukhari ve diğ. (2010) karbon elyaftan üretilmiş kumaşlar ile güçlendirilmiş kiriş numuneleri üzerine araştırma yapmıştır. Yaptığı çalışmada farklı iki nokta testi ile 6 kiriş numunesi üzerinde 1 şahit numune olacak şekilde 5 farklı karbon güçlendirme uygulaması yapmıştır.



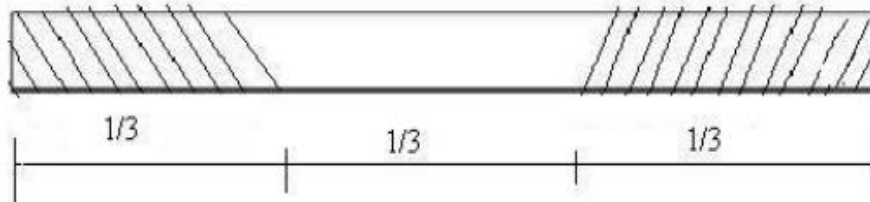
Şekil 3.2: 45° açı ile güçlendirme yapılmış kiriş numunesi (Bukhari ve diğ. 2010)



Şekil 3.3: Bukhari ve diğerleri (2010) 45°'lik açı ile CFRP uygulaması deney numunesi sonucu

Uygulama sonucunda kirişin eksenine 45° ile uygulama yapılmış güçlendirme şekli en yüksek kiriş kesme dayanımını vermiştir. Şahit numuneye göre ise tüm karbon uygulamaları yüksek dayanımla sonuçlanmıştır.

Önal (2009) yaptığı çalışma ile karbon elyaf ile betonarme kirişlerde güçlendirme üzerine çalışmıştır. Yaptığı çalışmada kesme ve eğilme dayanımını karbon elyaf ile üretilmiş tekstil ürünün etkilerini incelemiştir. Çalışmasında C20 sınıfı beton ile çalışmıştır. 150x250x2200 mm ölçülerinde 3 şahit numunesi, 45° açı ile güçlendirdiği 3 deney numunesi ile eğilme dayanımı ve tabanını güçlendirdiği 3 numune ile kesme dayanımı ölçmüştür. Güçlendirme amacıyla 230 gr/m² karbon elyaftan dokunmuş kumaş kullanmıştır. Uygulama sırasında yapıştırıcı olarak epoksi reçine kullanmıştır. Çalışmasında bulduğu sonuçlar göre hem eğilme dayanımı hem de kesme dayanımında %40 ile %45 oranında iyileştirmeler ölçmüştür.



Şekil 3.4: Önal (2009) güçlendirme numune örneği

Şengün (2016) karbon elyaf ile üretilen tekstil malzemesini kiriş güçlendirmesinde kullanmıştır. Güçlendirilen kirişlerin dayanımını incelemiştir. 5 farklı beton kiriş numunesi hazırlamıştır. Bu numuneleri çevrelerini sargı şeklinde karbon kumaş ile güçlendirmiştir. Kesme dayanımlarını ve eğilme dayanımlarını incelediğinde dayanımlarda artış olduğunu bulmuştur. Kullandığı karbon kumaş sargılarının genişliği arttığında dayanımlarda kendi içlerinde artış olduğunu tespit etmiştir.

Hawileh ve diğ. (2014) kirişlerin eğilme dayanımlarını artırmak amacıyla karbon ve cam elyaftan üretilmiş kumaşlar ile 120x240x1840 mm ölçülerinde betonarme kirişlerde güçlendirme uygulaması yapmıştır. Beton örtüsü 25 mm'dir. Uygulaması sırasında karbon, cam ve cam-karbon karışımı hibrit güçlendirme çalışması yapmıştır. Farklı katmanlar ile biri şahit olmak üzere 5 kirişe 4 nokta testi yapmıştır. Çalışma sonucunda eğilmeye karşı dayanımlarda %30 ile %98 arasında sağlamıştır. Güçlendirme yapılmamış kirişe göre cam kumaş %30 ve karbon kumaşa ise %57'lik dayanım artışı sağlanmıştır.

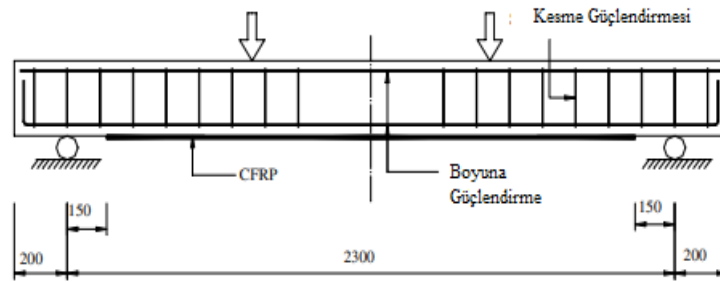


Şekil 3.5: CFRP ile güçlendirilmiş kirişin 4 nokta testi ile eğilme dayanımı ölçümü (Hawileh ve diğ. 2014)

Siddiqui (2009) kirişlerde kesme ve eğilme dayanımını ölçmek amacıyla deneysel çalışma yapmıştır. İki noktalı test yapmak için 150x300x2000 mm ölçülerinde 6 kiriş numunesi hazırlamıştır. İki grup halinde hazırladığı beton numunelerinin birinci grupta kesme dayanımı düşük eğilme dayanımı yüksek, ikinci grupta ise eğilme dayanımı yüksek kesme dayanımı yüksek olarak hazırlamıştır. 1. grup için numunelere zemine CFRP güçlendirmesi yapmıştır. 1. Grup iki numunenin içindeki iki numunenin birbirinden farklı numunelerden birinin uç kısımlarına sargı şeklinde güçlendirme yapmıştır.

2.Grup numunelerde ise kesme dayanımlarını ölçmek için ise U şeklinde ve 30° açıyla olmak üzere iki şekilde sargı ile güçlendirmiştir. Çalışma sonucunda 30° açılı sargıların kesme dayanımını en yüksek oranda arttırdığını belirtmiştir. Yük değerinde %25 iyileşme olduğunu belirtmiştir. Çatlakların ilerlemesini 30° açı ile yapılan sargılamanın daha iyi durdurduğunu belirtmiştir. Eğilme dayanımı yönünden U şeklinde uygulama yapılan 1. Grup 2. numune en yüksek eğilme dayanımını ölçtüğünü belirtmiştir. Dayanımı yükü olarak %30'a yakın iyileşme tespit etmiştir.

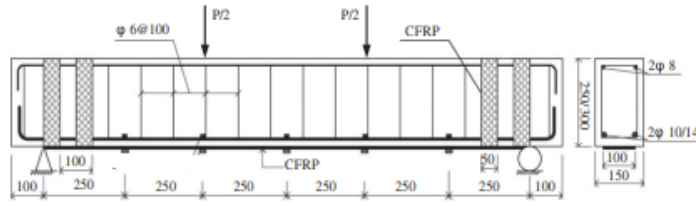
Al-Amery ve Al-Mahaidi (2006) yaptıkları deneysel çalışmada biri şahit numune olmak üzere 7 adet kiriş numunesi kullanmışlardır. 6 adet numunede kirişlerin kesme ve eğilme dayanımlarını incelemiştir. Kiriş tabanına karbon elyaftan üretilmiş tekstil ürünü ile güçlendirme yapmış, ayrıca kiriş boyuna dik gelecek şekilde belirli aralıklarla sargı şeklinde karbon elyafta üretilmiş tekstil ürünü ile güçlendirme uygulaması yapmıştır.



Şekil 3.6: Sargı olarak ve tabanda CFRP kullanımı ile güçlendirme (Al-Amery ve Al-Mahaidi 2006)

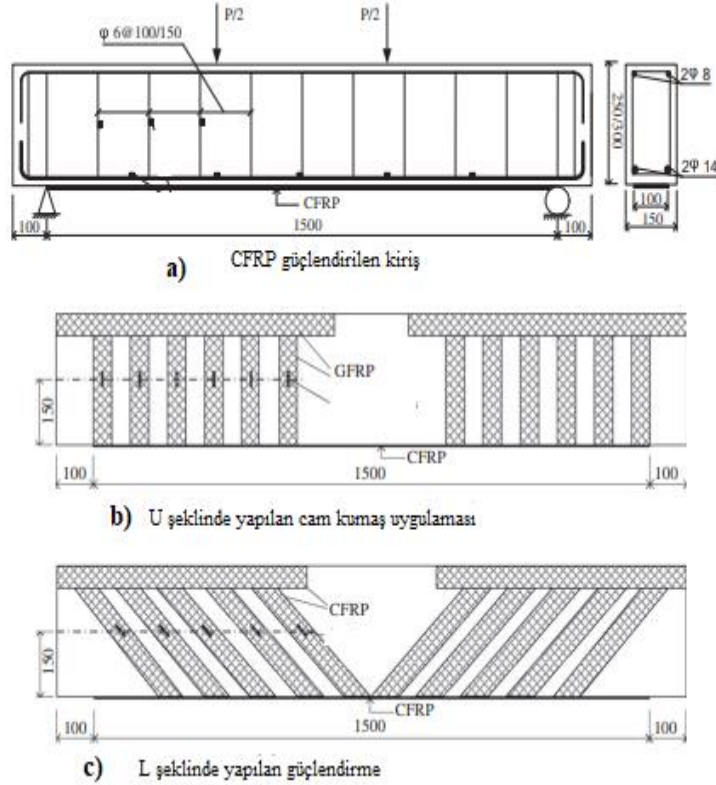
Yaptığı çalışmada sadece tabana karbon güçlendirme yaparsa eğilme dayanımına %15 oranında artış tespit etmiş, ancak sargılarla kullanırsa %95 oranında artış olduğunu belirtmiştir.

Dong ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada karbon elyaf ve cam elyaftan üretilmiş kumaşların beton kirişlere güçlendirme uygulaması yaparak eğilme dayanımı ve kesme dayanımlarını ölçmüşlerdir. Uygulama sırasında 2 grupta toplam 14 kiriş üretmişlerdir. İlk grup için tek beton sınıfına giren 7 adet numuneden 1 adedi şahit numune diğerleri ise farklı şekillerde karbon elyaftan üretilmiş tekstil ürünleri güçlendirilmiştir. Bu grup denemede taban yüzeye karbon elyaf güçlendirmesi yapmış kirişlerin her iki ucuna U şeklinde 2 şerit ekleyerek eğilme dayanımı testini yapmıştır.



Şekil 3.7: Dong ve diğ. (2012) deney grup 1

Dong ve diğ. (2012) ikinci grup deneylerinde 2 farklı beton sınıfında 7 adet numune hazırlamıştır. C20 ve C30 sınıfında hazırladığı numunelerden her iki sınıf için şahit numune ayırmış, tabanını CFRP güçlendirmesi yaptığı kirişlerin 1 tanesini cam elyaf kumaş ile U şeklinde şeritlerle; kalanları ise CFRP güçlendirmesi ile L şeklinde güçlendirilmiştir.



Şekil 3.8: Dong ve diğ. (2012) 2.grup deney numuneleri a) CFRP ile güçlendirme b)U şeklinde cam kumaş uygulaması c)L şeklinde yapılan

Dong ve diğ. (2012) yaptıkları çalışma sonucunda tüm tekstil ürünleri ile yapılan uygulamaların eğilme ve eğilme-kesme dayanımında uygulanan madde, tek kat çift kar olması ve uygulama şeklinde göre değişen miktarlarda dayanım artışı olduğunu tespit etmiştir. Eğilme dayanımında kapasite artışı CFRP’de %41 ile %125

arasında gerçekleşmiştir. Kesme dayanımında kapasite artışı GFRP ve CFRP de ise %31 ve %74 arasında bulmuştur.

Esfahani ve diğ. (2007) 150x200x200 mm ölçülerinde 25 MPa dayanıma sahip 12 kiriş numunesi üreterek eğilme dayanımları üzerinde çalışmışlardır. 9 numune farklı genişlikte ve sayıda karbon elyaf ile üretilmiş tekstil ürünü tabakalar ile güçlendirmiştir. 4 noktalı test altında bu numunelerini incelemiştir. Çıkan sonuçlara göre güçlendirme yapılan kirişlerde eğilme dayanımlarının tamamında arttığını bulmuştur. Teorik hesaplamaları ile fiziksel deney sonuçlarını karşılaştırmış, deney sonuçlarının belli grup donatı oranlarında örtüşüğünü belirtmiştir.

Norris ve diğ. (1997) eğilme ve kesme dayanımlarını ölçmek için kiriş numuneleri hazırlamışlardır. Hazırladıkları numunelerin 13 adeti 1027x203x2440 mm ölçülerinde, 6 adeti ise 127x203x2440 mm ölçülerindedir. Farklı kat sayılarında ve sargı metotlarına göre karbon elyaftan üretilmiş tekstil ürünü uygulamıştır. Ayrıca iki farklı epoksi tipi reçine ile uygulamada çeşitliliğe gitmiştir. CFRP uygulamasında kiriş eksenine paralel, dik ve 45° şekilde uygulamada bulunmuştur. Kiriş yüzeyinde göçme anına kadar yük uygulamış sonuçları matematiksel modeller ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlarda farklı uygulama biçimine bağlı olarak dayanım ve rijitlikte artış sağlandığını bulmuştur. Çatlaklara dik yerleştirilen CFRP uygulamasının dayanım ve rijitliği daha fazla miktarda artırdığını tespit etmişlerdir.

Kaya ve diğ. (2017^b) 100x100x500 ölçülerinde 9 adet beton kiriş üretmişlerdir. Beton basınç sınıfı 30MPa gelecek şekilde üretmişlerdir. Kirişlerde bir tanesi şahit numune olacak şekilde toplam 8 adedine farklı ölçülerde CFRP uygulaması yapmışlardır. Uygulama sırasında epoksi reçine kullanmışlardır. Farklı ölçülerde uygulama yapılmış ve eğilme testi ile ölçülmüş olan beton kiriş numunelerinde şahit numuneye göre eğilme dayanımında belirgin bir şekilde yüksek değerler elde etmişlerdir. Şahit numunede eğilme dayanımını 3,94 MPa ölçmüşler, eğilme dayanımının da ise en yüksek 15,88 MPa en yüksek değeri çalışmada elde etmişlerdir. Numunelerinde %11 ile %303 arasında eğilme dayanımında artış sağlamışlardır.



Şekil 3.9: Karbon kumaş uygulama şekli (Kaya ve diğ. 2017).

Köksal ve diğ. (2017) 150x250x1500 mm ölçülerinde 25 MPa basınç dayanımında kiriş numuneleri hazırlayarak deneysel çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada 1 adedi şahit numune olmak üzere 3'ü farklı güçlendirme şekline sahip olmak üzere 4 kiriş üzerinde 3 nokta testi ile ölçüm yapmışlardır. Yaptıkları ölçüm sonuçlarına göre şahit numunenin değerinin %165 miktarında yük kapasitesine güçlendirme yapılan kirişlerde ulaştıklarını belirtmişlerdir.

Al-Khafaji ve Salim (2020) yılında yaptıkları çalışmada T şeklinde 18 kiriş numunesi hazırlamışlardır. Hazırladıkları kirişlerin 6 adedi içerisine farklı etriye ve donatı sistemi, kalan 12 adedine ise farklı donatı sistemi yerleştirmişlerdir. Her iki grup için birer adet şahit numunesi bırakarak kalan numunelere farklı biçimlerde karbon kumaş uygulaması yapmışlardır. Bu uygulama sonuçlarına göre 1. grup için eğilme yönünde yük taşıma kapasitelerinde %4 ile %90, 2. Grup için ise 6 ile %46 arasında yük taşıma kapasitesinde artış sağlanmıştır.

4. MATERYAL VE METOT

Karbon elyaftan üretilmiş dokuma kumaşlara deney için hazırlanmış beton kiriş numunelerine güçlendirme yapmak amacıyla epoksi ile uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulama sonucu güçlendirilmiş kiriş numunelerinin üç nokta testi ile eğilme dayanımları incelenmiştir. Dayanımları incelerken sertleşmiş beton deneylerinden “TS-EN 12390-5 Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini” standardından yararlanılmıştır.

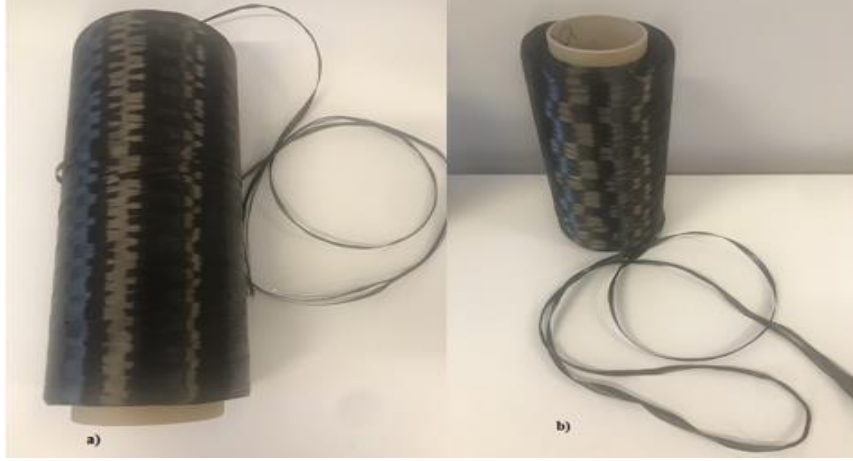
4.1 Dokuma Kumaş Aşamaları

Beton kiriş numunelerinde kullanılan dokuma kumaşların hazırlanması üç aşamada gerçekleşmiştir.

4.1.1 Dokuma Kumaşların Belirlenmesi

Deney için kullanılacak kumaşlar belirlenirken inşaat ve bina güçlendirme alanında kullanılan dokuma üretim yöntemi ile karbon elyaf hammaddesinden üretilmiş kumaşlar tercih edilmiştir. Karbon elyaftan üretilmiş dokuma kumaşların farklı konstrüksiyonda olanlarının beton kiriş numunelerinin eğilme dayanımına etkileri araştırılmıştır. Bu nedenle tek yön ve çift yön karbon kumaşlardan farklı konstrüksiyonda kumaşlar tercih edilmiştir.

Diğer bir konstrüksiyon bileşeni olan iplik numarası farkı da değerlendirilme konusu olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Bu nedenle 12K(800 tex) ve 24K (1600tex) karbon iplikten üretilmiş diğer konstrüksiyon özellikleri benzer kumaşların kiriş üzerinde eğilme dayanımına etkisi incelenmesi planlanmıştır. Kullanılan karbon ipliği PAN temelli precursor'den üretilmiştir.



Şekil 4.1: Karbon elyaf (ipliği) a) 12K b) 24 K

Aynı desende, aynı karbon iplik numarası ile üretilmiş farklı birim alan ağırlığına sahip kumaşların eğilme dayanımı özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Ayrıca konstrüksiyon bileşenlerinden olan dokuma örgü tipinin etkisinin aynı karbon ipliğinden üretilmiş, aynı sıklık ve aynı alan ağırlığına sahip kumaşlar üzerinde incelenmesi planlanmıştır.

Tüm bu parametrelerin etkilerini araştırmak amacıyla güçlendirme alanında en çok kullanılan 12K(800 tex) ve 24K(1600 tex) karbon ipliğinden üretilmiş kumaşlar deney planına alınmıştır. Deneyler için 4 farklı kategoride kumaşlar belirlenmiştir.

- Tek yön 12 K (800 tex) çözgü yönü karbon dokuma kumaşlar
- Çift yön 12 K (800 tex) atkı ve çözgü yönü karbon dokuma kumaşlar
- Tek yön 24 K (1600 tex) çözgü yönü karbon dokuma kumaşlar
- Çift yön 24 K (1600 tex) atkı ve çözgü yönü karbon dokuma kumaş

Eğilme deneyleri için hazırlanan tek yön 12K karbon kumaşlar numune Tablo 4.1'de belirtilmiştir.

Tablo 4.1: Tek yön 12 K karbon kumaşlar

Kumaş Adı	Çözüğü İpliği	Çözüğü Sıklığı (adet/cm)	Atkı İpliği	Atkı Sıklığı (adet/cm)	Desen	Alan Ağırlığı (gr/m ²) ±%5
Tek yön 230 gr/m ² karbon kumaş	12K karbon elyaf (800 tex)	2,8	53 tex E-cam	1	Bez ayağı	230 gr/m ²
Tek yön 300 gr/m ² karbon kumaş	12K karbon elyaf (800 tex)	3,65	53 tex E-cam	1	Bez ayağı	300 gr/m ²
Tek yön 430 gr/m ² karbon kumaş	12K karbon elyaf (800 tex)	5,2	53 tex E-cam	1	Bez ayağı	430 gr/m ²
Tek yön 500 gr/m ² karbon kumaş	12K karbon elyaf (800 tex)	6,4	53 tex E-cam	1	Bez ayağı	500 gr /m ²

Eğilme deneyleri için hazırlanan tek yön 24K karbon kumaşlar numune Tablo 4.2’de belirtilmiştir.

Tablo 4.2: Tek yön 24 K karbon Kumaşlar

Kumaş Adı	Çözüğü İpliği	Çözüğü Sıklığı (adet/cm)	Atkı İpliği	Atkı Sıklığı (adet/cm)	Desen	Alan Ağırlığı (gr/m ²) ±%5
Tek yön 300 gr/m ² karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	1,8	53 tex E-cam	1	Bez ayağı	300 gr/m ²
Tek yön 400 gr/m ² karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	2,5	53 tex E-cam	1	Bez ayağı	400 gr/m ²
Tek yön 500 gr/m ² karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	3,2	53 tex E-cam	1	Bez ayağı	500 gr/m ²
Tek yön 600 gr/m ² karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	3,65	53 tex E-cam	1	Bez ayağı	600 gr /m ²

Eğilme deneyleri için hazırlanan çift yön 24K karbon kumaş numune Tablo 4.3’te belirtilmiştir.

Tablo 4.3: Çift yön 24 K karbon kumaş

Kumaş Adı	Çözümlü İpliği	Çözümlü Sıklığı (adet/cm)	Atkı İpliği	Atkı Sıklığı (adet/cm)	Desen	Alan Ağırlığı (gr/m ²) ±%5
Çift yön 600 gr/m2 dimi 2x2 karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	1,9	24K karbon elyaf (1600 tex)	1,9	Dimi 2x2	600 gr/m2

Eğilme deneyleri için hazırlanan çift yön 12K karbon kumaş numune Tablo 4.4'te belirtilmiştir.

Tablo 4.4: Çift yön 12 K karbon Kumaşlar

Kumaş Adı	Çözümlü İpliği	Çözümlü Sıklığı (adet/cm)	Atkı İpliği	Atkı Sıklığı (adet/cm)	Desen	Alan Ağırlığı (gr/m ²) ±%5
Çift yön 400 gr/m2 bez ayağı karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	2,5	12 K karbon elyaf (800 tex)	2,5	Bez ayağı	400 gr/m2
Çift yön 400 gr/m2 dimi 2x2 karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	2,5	12 K karbon elyaf (800 tex)	2,5	Dimi 2x2	400 gr/m2
Çift yön 400 gr/m2 3/1 kırık dimi karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	2,5	12 K karbon elyaf (800 tex)	2,5	3/1 kırık dimi	400 gr/m2
Çift yön 500 gr/m2 dimi 2x2 karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	3,1	12 K karbon elyaf (800 tex)	3,1	2x2 dimi	500 gr/m2
Çift yön 600 gr/m2 bez ayağı karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	3,7	12 K karbon elyaf (800 tex)	3,7	Bez ayağı	600 gr /m2
Çift yön 600 gr/m2 dimi 2x2 karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	3,7	12 K karbon elyaf (800 tex)	3,7	Dimi 2x2	600 gr /m2
Çift yön 600 gr/m2 4/1 saten karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	3,7	12 K karbon elyaf (800 tex)	3,7	4/1 saten	600 gr /m2

4.1.2 Dokuma Kumaşların Üretilmesi

Deney yapılacak karbon kumaşlar Spinteks Tekstil İnşaat San. Tic. A.Ş. tarafından Denizli Organize Sanayi bölgesinde yer alan dokuma işletmesinde üretilmiştir. Üretim yapılırken dokuma makinesi kaynaklı farklılık oluşmaması için aynı tip dokuma makinesinde üretim yapılmıştır. Üretim sırasında sert kancalı tek rapierli, çağlıktan çözgü beslemeli dokuma makinesi kullanılmıştır. Üretim yapılırken 150-175 d/dk arasında dokuma makineleri çalışmıştır.

Karbon kumaşların üretimi için kullanılan karbon elyaf 12K ve 24 K iplikler için üreticilerinin verdiği iplik değerleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Numunelerde kullanılan karbon iplikler

Özellik	12 K 800 Tex Karbon Elyaf	24 K 1600 Tex Karbon Elyaf
Çekme Dayanımı (MPa)	4900	4200
Çekme Modülü (GPa)	235	240
İplik Numarası (Tex)	800	1600
İplik İçindeki Filament Sayısı (Adet)	12000	24000
İplik İçindeki Filament Çapı (μm)	7	7
Yoğunluk (gr/cm^3)	1,8	1,8
Uzama (%)	2,1	1,9
Büküm	Yok	Yok

Spinteks A. Ş'de üretilen karbon numune kumaşlar ticari olarak aşağıdaki şekilde isimlendirilmektedir. Numunelerin numaralandırılması sırasında bu isimlerden faydalanılacaktır. Tablo 4.6 'da ürünlerin isimler gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Spinteks A.Ş. tarafından üretilen numune kumaşların isimleri

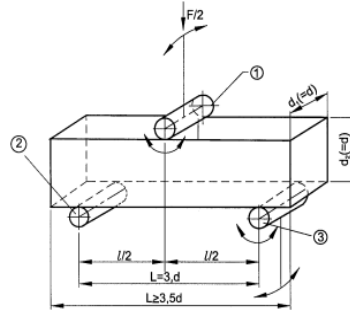
Kumaş Adı	Çözümlü İpliği	Atkı İpliği	Konstrüksiyon	Ticari İsim
Çift yön 400 gr/m2 bez ayağı karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	12 K karbon elyaf (800 tex)	Bez ayağı	Spn B 400 P
Çift yön 400 gr/m2 dimi 2x2 karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	12 K karbon elyaf (800 tex)	Dimi 2/2	Spn B 400 T
Çift yön 400 gr/m2 3/1 kırık dimi karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	12 K karbon elyaf (800 tex)	3/1 Kırık Dimi	Spn B 400 3/1BT
Çift yön 500 gr/m2 dimi 2x2 karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	12 K karbon elyaf (800 tex)	Dimi 2/2	Spn B 500 T
Çift yön 600 gr/m2 bez ayağı karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	12 K karbon elyaf (800 tex)	Bez ayağı	Spn B 600 P
Çift yön 600 gr/m2 dimi 2x2 karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	12 K karbon elyaf (800 tex)	Dimi 2/2	Spn B 600 T
Çift yön 600 gr/m2 4/1 saten karbon kumaş	12 K karbon elyaf (800 tex)	12 K karbon elyaf (800 tex)	4/1 saten	Spn B 600 5HS
Çift yön 600 gr/m2 dimi 2x2 karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	24K karbon elyaf (1600 tex)	Dimi 2/2	Spn B 600 T (24K)
Tek yön 300 gr/m2 karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	53 tex E-cam	Bezayağı	Spn U 300 (24K)
Tek yön 400 gr/m2 karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	53 tex E-cam	Bezayağı	Spn U 400 (24K)
Tek yön 500 gr/m2 karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	53 tex E-cam	Bezayağı	Spn U 500 (24K)
Tek yön 600 gr/m2 karbon kumaş	24K karbon elyaf (1600 tex)	53 tex E-cam	Bezayağı	Spn U 600 (24 K)
Tek yön 230 gr/m2 karbon kumaş	12K karbon elyaf (800 tex)	53 tex E-cam	Bezayağı	Spn U 230
Tek yön 300 gr/m2 karbon kumaş	12K karbon elyaf (800 tex)	53 tex E-cam	Bezayağı	Spn U 300
Tek yön 430 gr/m2 karbon kumaş	12K karbon elyaf (800 tex)	53 tex E-cam	Bezayağı	Spn U 430
Tek yön 500 gr/m2 karbon kumaş	12K karbon elyaf (800 tex)	53 tex E-cam	Bezayağı	Spn U 500

4.1.3 Dokuma Kumaşların Numaralandırılması

Üretilen dokuma kumaşlardan kesilecek olan deney numunelerinin numaralandırılması sırasında üretici firmanın isimlendirmesinden yararlanılmıştır. Her kumaş tipi için üç adet deney numunesi yapılması planlanmış ve buna göre beton kiriş numunesi üretimi planlanmıştır. Numune kumaşların numaralandırılması aşağıda Tablo 4.7’de verilmiştir.

4.2 Beton Numune Hazırlama Aşaması

Dokuma karbon kumaşların sertleşmiş deneylerinden eğilme testi için gerekli olan numuneler beton kiriş örneği olarak hazırlanmıştır. Standartta belirtilen ölçülere göre kiriş numunesi ölçüleri ayarlanmıştır. Kalıplar standartta belirtilen ölçülere göre hazırlanmıştır. Şekil 4.2’te standart TS-EN 12390-5’e göre istenen kalıp ölçüleri gösterilmiştir.



Açıklama :

- 1 Yükleme silindiri (dönebilen ve yana eğilebilen)
- 2 Mesnet silindiri
- 3 Mesnet silindiri (dönebilen ve yana eğilebilen)

Şekil 4.2: TS-En 12390-5’e göre 3 nokta eğilme dayanımı testinin numune ölçülendirme ölçeği

Kalıp iç ölçüleri 100mm en, 100 mm yükseklik, 400 mm uzunluk olarak ayarlanmıştır. Bu durumda beton kiriş numunesi 100x100x400 mm olarak oluşturulmuştur. Standartta yer alan $L \geq 3,5 d$ şartı yerine getirilmiştir. $400 \geq 3,5 * 100$ mm olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4-3’te numune beton kirişlerin kalıpları gösterilmiştir

Tablo 4.7: Numune kumaşların numaralandırılması

	Numune numarası	Numune Tipi Açıklaması	Kumaş Kategorisi		Numune numarası	Numune Tipi Açıklaması	Kumaş Kategorisi
1	400 P 12 K-1	400 gr/m ² bez ayağı numune 1	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	25	U 300 12 K-1	300 gr/m ² Tek yün numune 1	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
2	400 P 12 K-2	400 gr/m ² bez ayağı numune 2	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	26	U 300 12 K-2	300 gr/m ² Tek yün numune 2	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
3	400 P 12 K-3	400 gr/m ² bez ayağı numune 3	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	27	U 300 12 K-3	300 gr/m ² Tek yün numune 3	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
4	400 3/1BT 12 K-1	400 gr/m ² 3/1 kırık dimi numune 1	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	28	U 430 12 K-1	430 gr/m ² Tek yün numune 1	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
5	400 3/1BT 12 K-2	400 gr/m ² 3/1 kırık dimi numune 2	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	29	U 430 12 K-2	430 gr/m ² Tek yün numune 2	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
6	400 3/1BT 12 K-3	400 gr/m ² 3/1 kırık dimi numune 3	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	30	U 430 12 K-3	430 gr/m ² Tek yün numune 3	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
7	400 T 12 K -1	400 gr/m ² dimi 2x2 numune 1	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	31	U 500 12 K-1	500 gr/m ² Tek yün numune 1	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
8	400 T 12 K -2	400 gr/m ² dimi 2x2 numune 2	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	32	U 500 12 K-2	500 gr/m ² Tek yün numune 2	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
9	400 T 12 K -3	400 gr/m ² dimi 2x2 numune 3	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	33	U 500 12 K-3	500 gr/m ² Tek yün numune 3	12 K Tek Yön Karbon Kumaş
10	600 P 12K-1	600 gr/m ² bez ayağı numune 1	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	34	600 T 24 K -1	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 1	24 K Çift Yön Karbon Kumaş
11	600 P 12K-2	600 gr/m ² bez ayağı numune 2	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	35	600 T 24 K -2	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 2	24 K Çift Yön Karbon Kumaş
12	600 P 12K-3	600 gr/m ² bez ayağı numune 3	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	36	600 T 24 K -3	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 3	24 K Çift Yön Karbon Kumaş
13	600 T 12 K-1	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 1	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	37	U 300 24K-1	300 gr/m ² Tek yün numune 1	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
14	600 T 12 K-2	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 2	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	38	U 300 24K-2	300 gr/m ² Tek yün numune 2	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
15	600 T 12 K-3	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 3	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	39	U 300 24K-3	300 gr/m ² Tek yün numune 3	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
16	600 5 HS 12 K-1	600 gr/m ² 4/1 saten numune 1	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	40	U 400 24K-1	400 gr/m ² Tek yün numune 1	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
17	600 5 HS 12 K-2	600 gr/m ² 4/1 saten numune 2	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	41	U 400 24K-2	400 gr/m ² Tek yün numune 2	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
18	600 5 HS 12 K-3	600 gr/m ² 4/1 saten numune 3	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	42	U 400 24K-3	400 gr/m ² Tek yün numune 3	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
19	500 T 12 K-1	500 gr/m ² dimi 2x2 numune 1	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	43	U 500 24K-1	500 gr/m ² Tek yün numune 1	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
20	500 T 12 K-2	500 gr/m ² dimi 2x2 numune 2	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	44	U 500 24K-2	500 gr/m ² Tek yün numune 2	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
21	500 T 12 K-3	500 gr/m ² dimi 2x2 numune 3	12 K Çift Yön Karbon Kumaş	45	U 500 24K-3	500 gr/m ² Tek yün numune 3	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
22	U 230 12 K-1	230 gr/m ² Tek yün numune 1	12 K Tek Yön Karbon Kumaş	46	U 600 24K-1	600 gr/m ² Tek yün numune 1	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
23	U 230 12 K-2	230 gr/m ² Tek yün numune 2	12 K Tek Yön Karbon Kumaş	47	U 600 24K-2	600 gr/m ² Tek yün numune 2	24 K Tek Yön Karbon Kumaş
24	U 230 12 K-3	230 gr/m ² Tek yün numune 3	12 K Tek Yön Karbon Kumaş	48	U 600 24K-3	600 gr/m ² Tek yün numune 3	24 K Tek Yön Karbon Kumaş



Şekil 4.3: Beton kiriş numune kalıbı

18 adet numune kiriş kalıbı olduğundan bekleme zamanlarını da göz önüne alarak 4 farklı seferde beton dökülmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle her parti beton için kumaşlar dışında şahit numune olarak dokuma karbon kumaş güçlendirme uygulaması yapılmamış beton kirişler belirlenmiştir. Her parti için şahit beton numuneden 3 adet deney için ayrılmış ve numaralandırılmıştır. Tablo 4.8’de şahit kiriş numunelerinin numaralandırılması gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Şahit kiriş numuneleri

Ş.N 1.1	Şahit kiriş numunesi 1.1
Ş.N 1.2	Şahit kiriş numunesi 1.2
Ş.N 1.3	Şahit kiriş numunesi 1.3
Ş.N 2.1	Şahit kiriş numunesi 2.1
Ş.N 2.2	Şahit kiriş numunesi 2.2
Ş.N 2.3	Şahit kiriş numunesi 2.3
Ş.N 3.1	Şahit kiriş numunesi 3.1
Ş.N 3.2	Şahit kiriş numunesi 3.2
Ş.N 3.3	Şahit kiriş numunesi 3.3
Ş.N 4.1	Şahit kiriş numunesi 4.1
Ş.N 4.2	Şahit kiriş numunesi 4.2
Ş.N 4.3	Şahit kiriş numunesi 4.3

Akça Hazır Beton San. ve Tic. A.Ş. tarafından beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numunesi beton sınıflarından C12/C16 aralığındadır. Dökülen betonların karışım oranı Tablo 4.9’da betonu hazırlayan firmanın beton reçetesi

Tablo 4.9: Beton karışım oranı

Girdi Hammaddeleri	Özellikler	Miktarlar
Çimento	Denizli Çim. CEM II A-LL 42,5	220 kg/m ³
Su	Sondaj Suyu	174 kg/m ³
Kimyasal Katkı	Süper Akışkanlaştırıcı	2,2 kg/m ³
0-4mm agrega	Serinhisar kırma (kireçtaşı)	1190 kg/m ³
4-12,5mm agrega	Serinhisar kırma (kireçtaşı)	250 kg/m ³
11,2-22,5mm agrega	Serinhisar kırma (kireçtaşı)	500 kg/m ³
Taze Beton Birim Hacim Ağırlığı		2336,2 kg/m ³

Hazırlanan beton kalıplara dökülmüştür. Beton kalıplarda hava boşluğu bırakmamak için şişlenerek boşlukları giderildi. Şekil 4.4’te şişleme görüntüsü vardır.



Şekil 4.4: Beton numunesi şişleme işlemi

Daha sonraki aşamada beton kalıplara lastik çekiç ile vurarak hava boşlukları kalmaması daha homojen hale gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.5: Çekiç ile boşluk giderme

Son olarak mala ile düzeltme işlemi yapılarak beton kalıpta 24 saat bekletilip donması sağlanmıştır.



Şekil 4.6: Mala ile yüzey düzeltme

24 saat kalıpta bekletilen kiriş numuneleri daha sonra için 20°C'lik sıcaklıkta % 1-1,5 kireç barındıran su içerisinde ideal mukavemetine kavuşması için kürlenirler. 28 gün su içerisinde betonlar ideal beton dayanımına ulaşır. Sertleşmiş beton deneylerinde 28 gün ve sonrasında değerlerine bakılarak sonuçlara ulaşılır.

Hazırladığımız beton kirişleri 28 gün kürlenmesi için şartlandırılmış havuzda bekletilmiştir.



Şekil 4.7: Kür havuzunda bekletilen kiriş numuneleri

4.3 Uygulama Metodu

28 gün kür havuzunda bekleyen beton kiriş numuneleri yapısal mukavemetlerinin en üst aşamasına ulaşmıştır. Bu noktadan sonra karbon dokuma kumaşların kiriş üzerine uygulanması aşamasına geçilmiştir. Deney için uygulama üç aşamada gerçekleşmektedir.

- Kumaşların deney planına göre hazırlanması
- Epoksinin hazırlanması
- Kumaşların epoksi ile beton kiriş numunelerinin üzerine güçlendirme uygulaması olarak yapıştırılması

4.3.1 Kumaşların Hazırlanması

Kumaşlar planlanmış deney planı doğrultusunda 100mmx400mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Çözgü yönü uzunluk yönüne gelecek şekilde kesilmiştir.



Şekil 4.8: Numune kumaş kesim için ölçümü

Kesim anı Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Karbon kumaşların kesimi a) Çift yön kumaş b) Tek yön kumaş

Her bir parça uygulanacağı kiriş numunesi ile eşleştirilmiştir. Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Kumaşlar kesilip uygulanacağı numune ile eşleştirildi

4.3.2 Epoksi Uygulama Aşaması

Epoksi karbon kumaş güçlendirme uygulamalarında en çok tercih edilen reçine türü olarak kullanılmaktadır. İki komponentten oluşur. A komponenti güçlendirme amaçlı kullanılan kısım B komponenti ise sertleştirici olarak tanımlanır. Deney aşamasında Spn Ep 225 marka epoksi kullanılmıştır. Spinteks A.Ş.'nin kumaşlarının uygulaması amacıyla ürettirdiği epoksi reçinesidir.

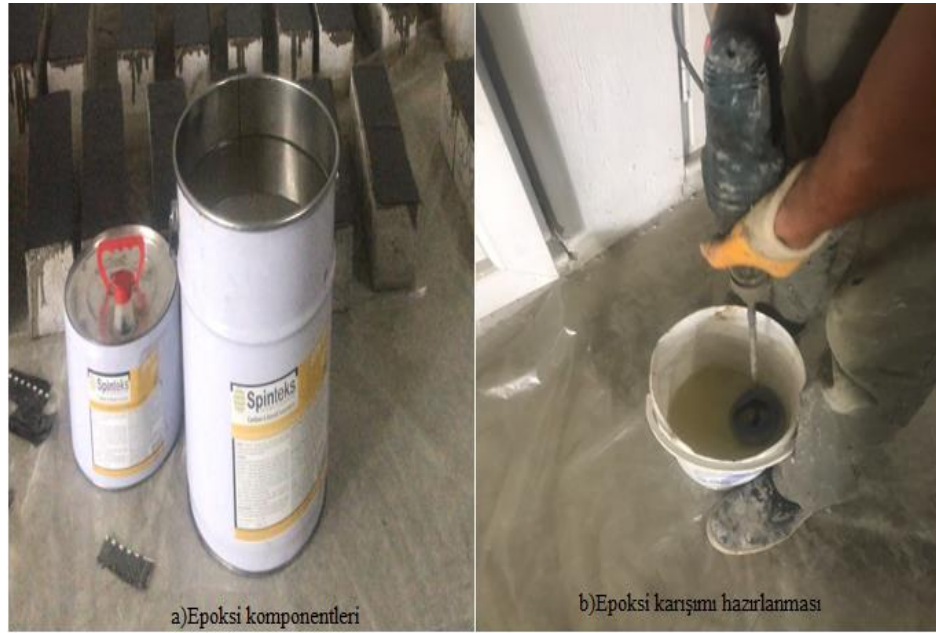
Reçine özellikleri Tablo 4.10'da belirtilmiştir.

Tablo 4.10: Tablo Spn Ep 225 epoksinin özellikleri

Özellikler	Değerler
Renk	Bulanık
Görünüm	Mat
Ağırlıkça Katı Madde	% 100
Yoğunluk	1,1 g/cm ³
Katlar Arası Bekleme	12 saat/25 °C
Yapışma Dayanımı	≥4 N/mm ²
Çekme Dayanımı	≥30 N/mm ²
Kopma Uzama	% 1
Eğilme Direnci	≥40 N/mm ²
Basınç Dayanımı	≥80 N/mm ²
Reaksiyon Sıcaklığı	80 °C
Alevleme Noktası	>25°C
Ekipman Temizliği	Epoksi Tiner
Sarfıyat	1-1,3kg/m ²
Ambalaj	18 kg A Bileşeni 4,5 kg B Bileşeni
Toplam Set	22,5 kg
Uygulama Yöntemleri	Fırça, Rulo, Mala
Karışım Ömrü	30 dakika / 25°C
Raf Ömrü	1 yıl

Epoksi üreticini belirttiği prospektüse göre 7 gün sonra maksimum mekanik değerlere ulaşacaktır. Bu nedenle uygulama sonrası en az 7 gün beklenmiştir.

Epoksi 4'e 1 oranında karıştırılarak hazırlanmıştır. Karıştırma işlemi matkap ile yapılmıştır. Şekil 4.11'de karıştırma ve epoksi komponentleri gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Epoksi hazırlama aşaması a) Epoksi Komponentleri b) Epoksi Karışımı Hazırlanması:

Epoksi karışımın hazırlandıktan 30 dakika içinde uygulamasının yapılması gerekmektedir.

4.3.3 Kumaşların Betona Uygulanması

Epoksi öncelikle uygulanacak olan beton kiriş yüzeylerine rulo ile sürülür. Sürülen yüzeye kumaş kesilen kumaş numunesi yapıştırılır. Şekil 4.12'de epoksi sürülmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.12: Epoksi kirişe uygulanması

Kirişe epoksi sürüldükten hemen sonra kumaş üzerine yapıştırılır. Uygulama elle yapılmıştır. Şekil 4.13’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13: Karbon kumaşın yapıştırılması

Yapıştırılan kumaşın üzerinden tekrar rulo ile geçilmiştir. Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14: Rulo ile düzeltme

Tüm kirişlere karbon kumaş uygulaması yapılmıştır. Mekanik dayanımın maksimum olması ve henüz ıslak iken epoksi bozulmaması için her biri tek olarak kapalı ortamda bekletilmiştir. Şekil 4.15'te uygulama yapılan tüm kiriş numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 4-15: Uygulama yapılan numuneler

4.4 Test ve Deney Aşaması

Güçlendirme uygulaması yapılmış beton kirişler 1 hafta bekledikten sonra deneyler için hazırlanmıştır. Feblab Yapı Malzemeleri Test ve Kalibrasyon Laboratuvarı San. Tic. Şti. test laboratuvarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler üç nokta eğilme dayanımı ölçen U-Test UTC-5600 model isimli bilgisayar kontrollü test cihazında yapılmıştır. Cihazın maksimum basma kapasitesi 200 kN'dur. Testlerden 4 ay önce kalibrasyonu yapılan cihazın kalibrasyon süresi 1 yıl geçerlidir. Cihaz üzerindeki sensörler ve loadcell yardımıyla kuvvet değerini, uygulama hızını, süreyi ve diğer gerekli olan değerleri ölçmektedir. Üzerindeki 3 nokta eğilme testi yazılımıyla eğilme dayanımı hesaplamaktadır.

Deney aşamasında güçlendirme yapılmış kirişler deney düzeneğine yerleştirilmeden önce 3 nokta test standardında belirtildiği şekilde işaretlenir. İşaretleme standartta Şekil 4.1'de belirtilen çizimde gösterilmiştir. Uzunluğu 400 mm olan kiriş numunemizin 100 mm olan genişlik ölçüsüne göre alt yüzeydeki iki mesnet arası 300 mm olarak ayarlanmıştır. Her güçlendirilmiş numune kiriş çizilerek işaretlenmiş daha sonra dayanım testi için cihaza yerleştirilmiştir. Şekil 4.16' da kirişi işaretlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.16: Kiriş işaretlenmesi

Test standardında belirtilene göre basma yapacak olan mesnet silindirleri ve yükleme silindiri çapları 20-40 mm arası olmalıdır. Mevcut cihazda silindir çapları 30 mm olarak ölçülmüş ve standardın gereğini yerine getirmiştir. Mesnet ve yükleme silindirleri numune genişliğinden kenarlarından 10 mm'den fazla geniş olması istenmektedir. Burada 500 mm olduğu tespit edilmiştir.

Deney sırasında yükleme hızı, 0,04-0,06 MPa/s sabit gerilme artış hızı sağlanacak şekilde gerektiği standartta belirtilmiştir. 0,05 MPa/s olarak ayarlanmıştır.

Yükleme hızı (3.1) denklemi kullanılarak belirlenir.

$$R = \frac{2.s.d_1.d_2^2}{3.L} \quad (3.1)$$

R: Gerekli yükleme hızı N/s, deney makinesi tarafından uygulanması gereken yükleme hızı

s: Gerilme artış hızı, MPa/s (N/mm² /s),

d1 ve d2 :Numunenin en kesit boyutları, mm,

L: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm

Belirtilen veriler (3.1) denklemi yardımıyla aşağıda hesaplanmıştır.

$$R = \frac{2.0,05.100.100^2}{3.300}$$

$$R = 0,11 \text{ kN/s}$$

Deney standardında belirtilen eğilme dayanımı ise (3.2) denklemi kullanılarak hesaplanır.

$$f_{cf} = \frac{3.F.L}{3.d_1.d_2^2} \quad (3.2)$$

f_{cf} : Eğilme dayanımı, MPa (N/mm²),

F: En büyük yük, N,

L: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm

d1, d2: Numunenin en kesit boyutları, mm,

Tüm numuneler için eğilme dayanımı (3.2) denklemi kullanılarak teorik olarak hesaplaması yapılmıştır. Deney için test numuneleri deney düzeneğine yerleştirilip test yapılır. Şekil 4.17'e numune yerleştirilip test aşaması gösterilmiştir.



Şekil 4.17: Numune yerleşim

5. BULGULAR

Yapılan eğilme dayanımı sonucu bulgular numunelerin kategorisine göre belirtilmiştir. Yapılan deney sonuçlarının değer sonuçları ile teorik hesaplamalar örtüşmüştür.

5.1 Şahit Numunelerde Bulgular

Beton kalıpları 18 adet olduğundan betonlar 4 seferde dökülmüştür. Dolayısıyla her bir parti döküm tarihine göre numaralandırılmıştır. Numune kirişlerin uygulandığı partilerinde benzer beton grubunda olduğu belirlenmesi için uygulama yapılmamış kirişler eğilme testine şahit numune olarak sokulmuştur. Sonuçlar Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Şahit numune eğilme test sonuçları

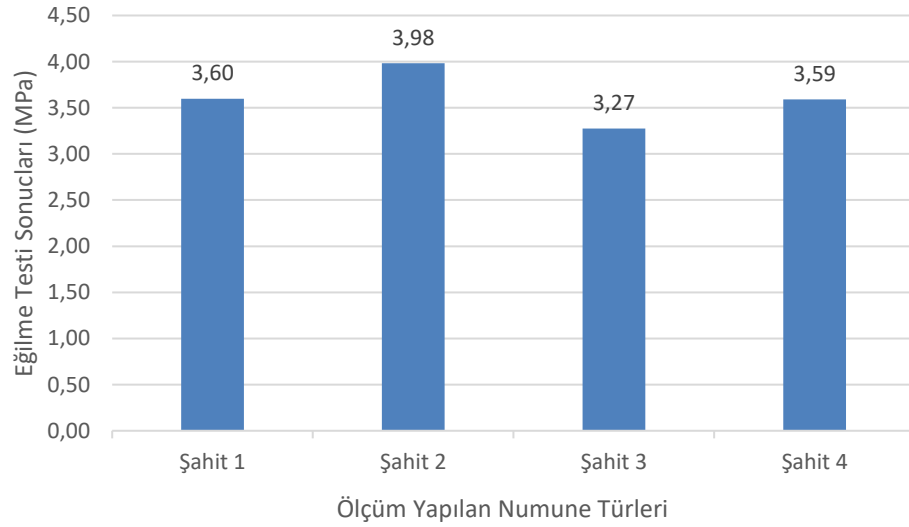
Numune adı	Numune açıklama	Deney sonucu eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) f _{cf}	Ortalama	Teorik eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) f _{cf}	Ölçülen F kırılma yükü (N)	Ölçülen R=yüklem e hızı kN/s "R"	Teorik R=yüklem e hızı kN/s	Teorik s Gerilme artış hızı MPa/s(N/mm ² .s) "S"	L mesnetler arası açıklık (mm)	D1 En kesit boyutları (mm)	D2 En kesit boyutları (mm)
Ş.N 1.1	Şahit numune 1.1	3,96 MPa	3,60 MPa	3,96 MPa	8790,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 1.2	Şahit numune 1.2	3,51 MPa		3,51 MPa	7800,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 1.3	Şahit numune 1.3	3,32 MPa		3,32 MPa	7380,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 2.1	Şahit numune 2.1	4,25 MPa	3,98 MPa	4,25 MPa	9440,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 2.2	Şahit numune 2.2	3,94 MPa		3,94 MPa	8760,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 2.3	Şahit numune 2.3	3,76 MPa		3,76 MPa	8360,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 3.1	Şahit numune 3.1	3,16 MPa	3,27 MPa	3,16 MPa	7020,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 3.2	Şahit numune 3.2	3,22 MPa		3,22 MPa	7150,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 3.3	Şahit numune 3.3	3,44 MPa		3,44 MPa	7650,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 4.1	Şahit numune 4.1	3,64 MPa	3,59 MPa	3,64 MPa	8080,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 4.2	Şahit numune 4.2	3,84 MPa		3,84 MPa	8530,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
Ş.N 4.3	Şahit numune 4.3	3,30 MPa		3,30 MPa	7340,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm

Şahit numunelerin cihazda kırılma hali ve kırılmış numune Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Şahit numune eğilme testi a) Eğilme testi sonucu kırılmış şahit numune örneği b) şahit numune eğilme testi

Deney sonucu 4 partide dökülen tüm beton kiriş şahit numunelerinin eğilme testi sonuçları Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Şahit numunelerin partilere göre ortalama eğilme testi sonuçları

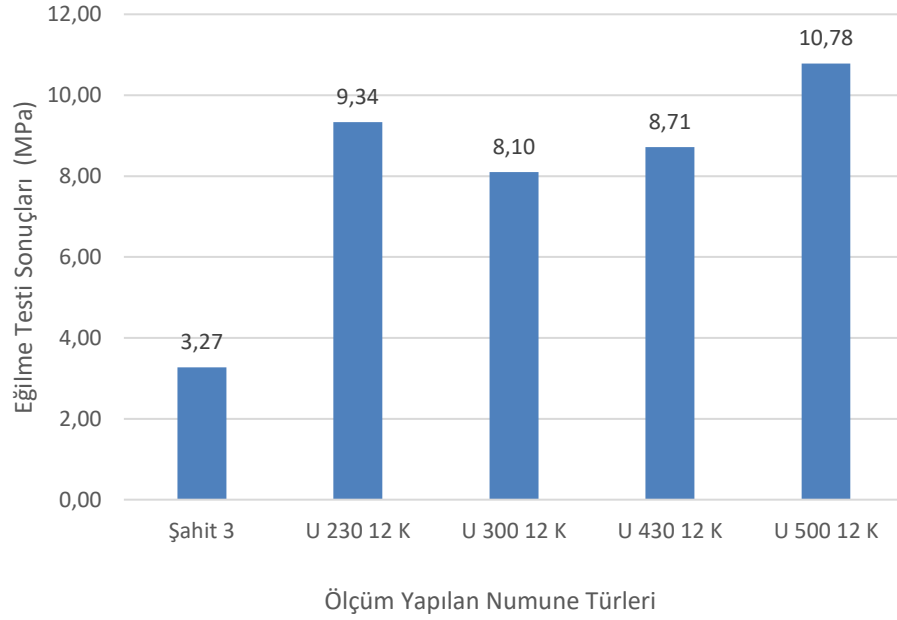
5.2 Tek Yön 12 K Kumaşlarda Bulgular

Tek yön 12K dokuma karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirilmiş kirişlerin eğilme dayanım deney sonuçları Tablo5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Tek yön 12 K dokuma karbon kumaş ile yapılan güçlendirme eğilme dayanım sonuçları

Numune adı	Numune açıklama	Deney sonucu eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) f_{cf}	Ortalama	Teorik eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) f_{cf}	Ölçülen F kırılma yükü (N)	Ölçülen R=yüklenme hızı kN/s "R"	Teorik R=yüklenme hızı kN/s	Teorik s Gerilme artış hızı MPa/s (N/mm ² .s) "S"	L mesnetler arası açıklık (mm)	D1 En kesit boyutları (mm)	D2 En kesit boyutları (mm)
U 230 12 K-1	230 gr/m ² Tek yön numune 1	9,99 MPa	9,34 MPa	9,99 MPa	22200,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 230 12 K-2	230 gr/m ² Tek yön numune 2	11,52 MPa		11,52 MPa	25590,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 230 12 K-3	230 gr/m ² Tek yön numune 3	6,50 MPa		6,50 MPa	14450,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 300 12 K-1	300 gr/m ² Tek yön numune 1	7,08 MPa	8,10 MPa	7,08 MPa	15740,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 300 12 K-2	300 gr/m ² Tek yön numune 2	9,11 MPa		9,11 MPa	20240,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 300 12 K-3	300 gr/m ² Tek yön numune 3	8,11 MPa		8,11 MPa	18030,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 430 12 K-1	430 gr/m ² Tek yön numune 1	8,38 MPa	8,71 MPa	8,38 MPa	18620,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 430 12 K-2	430 gr/m ² Tek yön numune 2	9,60 MPa		9,60 MPa	21340,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 430 12 K-3	430 gr/m ² Tek yön numune 3	8,16 MPa		8,15 MPa	18120,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 500 12 K-1	500 gr/m ² Tek yön numune 1	11,83 MPa	10,78 MPa	11,83 MPa	26280,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 500 12 K-2	500 gr/m ² Tek yön numune 2	10,71 MPa		10,71 MPa	23810,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 500 12 K-3	500 gr/m ² Tek yön numune 3	9,81 MPa		9,81 MPa	21810,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm

12 K tek yön karbon kumaşlarla güçlendirme yapılan numunelerin eğilme dayanım sonuçlarının grafiği Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Şahit numune sonucu da grafiğe eklenmiştir.



Şekil 5.3: 12 K Tek yön karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme numuneleri eğilme test sonuçları

Şekil 5.4'te 12K tek yön karbon dokuma kumaşla yapılan numunelerinden test örneğine ait fotoğraf gösterilmiştir.

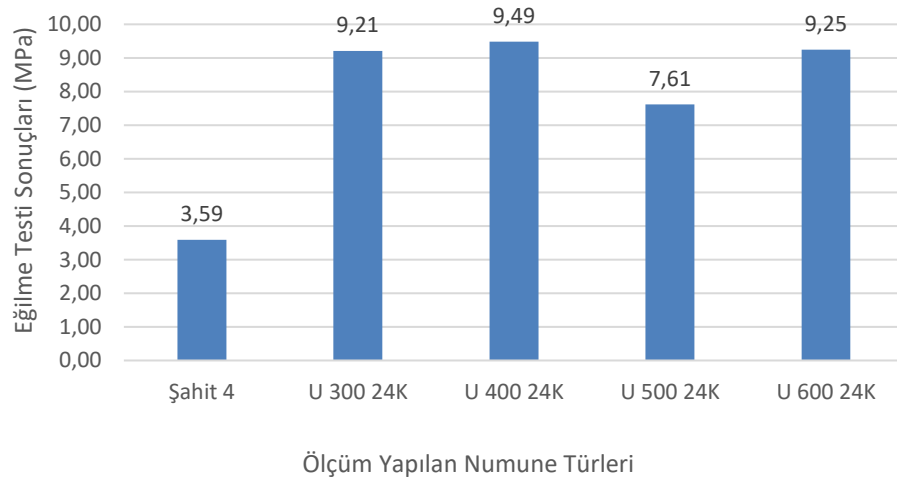


Şekil 5.4: 12K Tek yön kumaş numunesi testi a) Kırılma anı b) Kırılmış numune

5.3 Tek Yön 24 K Kumaşlarda Bulgular

Tek yön 24 K karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme sonucu kirişlerin eğilme dayanım sonuçları Tablo 5.3'te gösterilmiştir. Tek yön 24 K 400 gr/m² deney numunelerinden bir adedi deney sırasında değer alınmıştır.

24 K tek yön karbon kumaşlarla güçlendirme yapılan numunelerin eğilme dayanım sonuçlarının grafiği Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Şahit numune sonucu da grafiğe eklenmiştir.



Şekil 5.5: 24 K Tek yön karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme numuneleri eğilme test sonuçları

Şekil 5.6'da 24K tek yön karbon dokuma kumaşla yapılan numunelerinden test örneğine ait fotoğraf gösterilmiştir

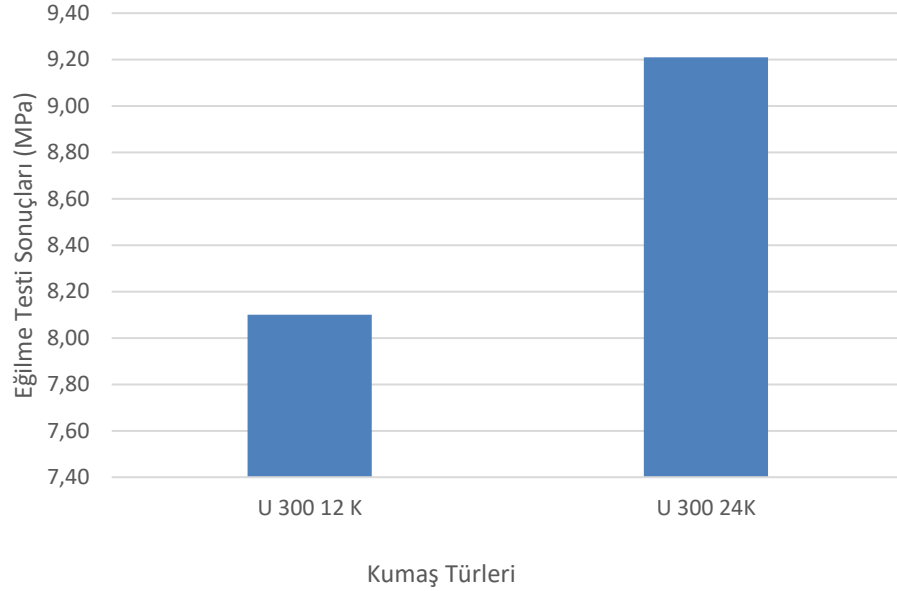


Şekil 5.6: 24 K Tek yön kumaş numunesi testi a) Kırılma anı b) Kırılmış numune

Tablo 5.3: Tek yön 24 K karbon dokuma kumaş ile yapılan güçlendirme için kirişlerin eğilme dayanımı sonuçları

Numune adı	Numune açıklama	Deney sonucu eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) f_{cf}	Ortalama	Teorik eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) f_{cf}	Ölçülen F kırılma yükü (N)	Ölçülen R=yükleme hızı kN/s "R"	Teorik R=yükleme hızı kN/s	Teorik s Gerilme artış hızı MPa/s(N/mm ² .s) "S"	L mesnetler arası açıklık (mm)	D1 En kesit boyutları (mm)	D2 En kesit boyutları (mm)
U 300 24K-1	300 gr/m ² Tek yön numune 1	8,42 MPa	9,21 MPa	8,42 MPa	18720,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 300 24K-2	300 gr/m ² Tek yön numune 2	11,59 MPa		11,59 MPa	25760,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 300 24K-3	300 gr/m ² Tek yön numune 3	7,62 MPa		7,62 MPa	16930,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 400 24K-1	400 gr/m ² Tek yön numune 1	10,78 MPa	9,48 MPa	10,78 MPa	23950,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 400 24K-2	400 gr/m ² Tek yön numune 2	8,19 MPa		8,19 MPa	18190,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 400 24K-3	400 gr/m ² Tek yön numune 3			Uygulamada yaşanan sorundan dolayı deney numunesi yoktur.							
U 500 24K-1	500 gr/m ² Tek yön numune 1	6,73 MPa	7,61 MPa	6,73 MPa	14950,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 500 24K-2	500 gr/m ² Tek yön numune 2	8,03 MPa		8,03 MPa	17840,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 500 24K-3	500 gr/m ² Tek yön numune 3	8,08 MPa		8,08 MPa	17960,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 600 24K-1	600 gr/m ² Tek yön numune 1	10,91 MPa	9,25 MPa	10,91 MPa	24250,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 600 24K-2	600 gr/m ² Tek yön numune 2	9,00 MPa		9,00 MPa	20000,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
U 600 24K-3	600 gr/m ² Tek yön numune 3	7,84 MPa		7,84 MPa	17430,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm

Tek yön kumaşlarda 300 gr/m² 12 K ve 24 K kumaşlarla yapılan güçlendirme numunelerinin eğilme dayanımlarının sonuçlarını karşılaştırdığımız grafik Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7: 300gr/m² tek yön karbon kumaşların eğilme testi sonuçları

Çift yön kumaşların güçlendirme yapıldığı kiriş numunelerinin deney sonuçları Tablo 5.4’te gösterilmiştir. 12 K kumaşlarda yapılacak olan değerlendirme aynı birim alan ağırlığına sahip kumaşlarda farklı desenlerde karbon dokuma kumaşların eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. 400 gr/m² karbon dokuma kumaş için bez ayağı, 2x2 dimi, 3/1 kırık dimi desenlerin eğilme dayanımları ölçülmüş, 600 gr/m² kumaşlar da ise bezayağı, 2/2 dimi ve 3/1 kırık dimi desenin eğilme dayanımına etkileri incelenmiştir

Tablo 5.4: Çift yön 12 K karbon kumaş ile güçlendirilmiş kiriş test sonuçları

Numune adı	Numune açıklama	Deney sonucu eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) f_{cf}	Ortalama	Teorik eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) f_{cf}	Ölçülen F kırılma yükü (N)	Ölçülen R=yükleme hızı kN/s "R"	Teorik R=yükleme hızı kN/s	Teorik s Gerilme artış hızı MPa/s(N/mm ² .s) "S"	L mesnetler arası açıklık (mm)	D1 En kesit boyutları (mm)	D2 En kesit boyutları (mm)
400 P 12 K-1	400 gr/m ² bez ayağı numune 1	6,85 MPa	7,36 MPa	6,85 MPa	15220,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
400 P 12 K-2	400 gr/m ² bez ayağı numune 2	8,25 MPa		8,25 MPa	18340,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
400 P 12 K-3	400 gr/m ² bez ayağı numune 3	6,98 MPa		6,98 MPa	15520,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
400 3/1BT 12 K-1	400 gr/m ² 3/1 kırık dimi numune 1	6,78 MPa	6,76 MPa	6,78 MPa	15070,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
400 3/1BT 12 K-2	400 gr/m ² 3/1 kırık dimi numune 2	5,80 MPa		5,81 MPa	12900,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
400 3/1BT 12 K-3	400 gr/m ² 3/1 kırık dimi numune 3	7,69 MPa		7,69 MPa	17080,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
400 T 12 K -1	400 gr/m ² dimi 2x2 numune 1	8,23 MPa	8,21 MPa	8,23 MPa	18290,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
400 T 12 K -2	400 gr/m ² dimi 2x2 numune 2	9,00 MPa		9,00 MPa	19990,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
400 T 12 K -3	400 gr/m ² dimi 2x2 numune 3	7,40 MPa		7,40 MPa	16450,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 p 12K-1	600 gr/m ² bez ayağı numune 1	5,52 MPa	5,33 MPa	5,52 MPa	12270,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 p 12K-2	600 gr/m ² bez ayağı numune 2	5,21 MPa		5,21 MPa	11580,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 p 12K-3	600 gr/m ² bez ayağı numune 3	5,26 MPa		5,27 MPa	11700,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 t 12 K-1	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 1	6,27 MPa	5,47 MPa	6,27 MPa	13940,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 t 12 K-2	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 2	5,09 MPa		5,09 MPa	11310,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 t 12 K-3	600 gr/m ² dimi 2x2 numune 3	5,06 MPa		5,06 MPa	11250,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 5 hs 12 K-1	600 gr/m ² 4/1saten numune 1	6,78 MPa	7,45 MPa	6,78 MPa	15070,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 5 hs 12 K-2	600 gr/m ² 4/1saten numune 2	8,44 MPa		8,44 MPa	18750,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 5 hs 12 K-3	600gr/m ² 4/1saten numune 3	7,12 MPa		7,12 MPa	15820,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
500 t 12 K-1	500 gr/m ² dimi 2x2 numune 1	7,63 MPa	6,90 MPa	7,63 MPa	16960,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
500 t 12 K-2	500 gr/m ² dimi 2x2 numune 2	7,25 MPa		7,25 MPa	16100,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
500 t 12 K-3	500 gr/m ² dimi 2x2 numune 3	5,81 MPa		5,81 MPa	12920,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm

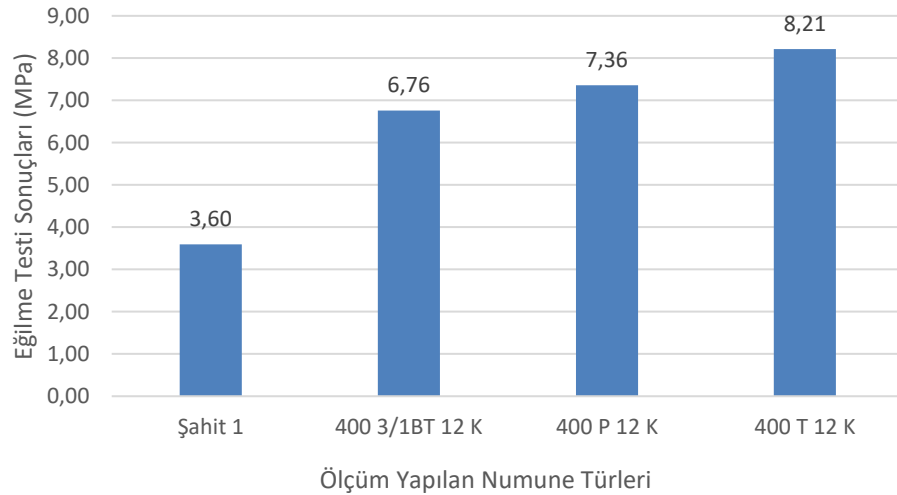
Ayrıca aynı dimi 2x2 desen de 400 gr/m², 500 gr/m², 600 gr/m² kumaşın alan ağırlığına göre eğilme dayanımlarına etkisi de incelenmiştir.

12 K çift yön kumaşlar ile güçlendirilmiş numune kirişlerin test sırası ve sonrasına ait fotoğraflara ait örnek Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



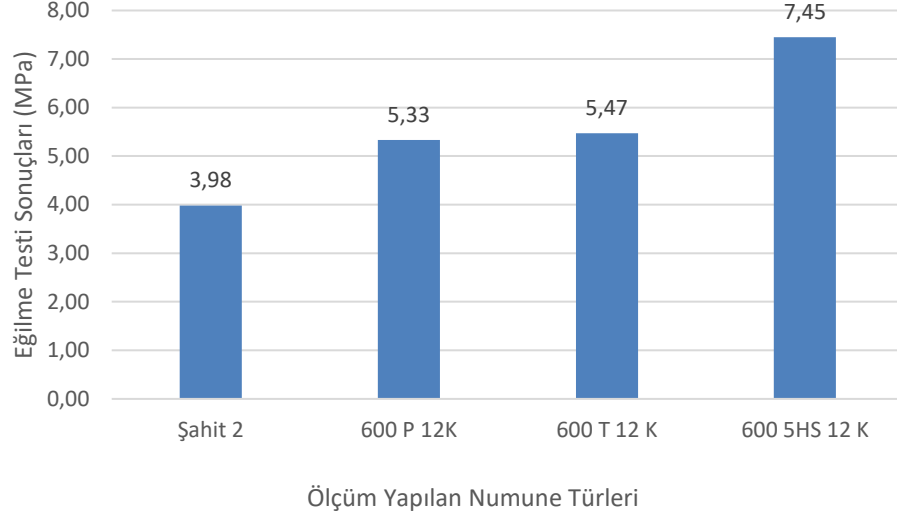
Şekil 5.8 12 K Çift yön numune testi a) Kırılma anı b) Kırılmış numune

12K karbon elyaftan üretilmiş 400 gr/m² farklı desene sahip kumaşlar ile yapılan güçlendirme numunelerinin eğilme test sonuçlarının grafiği Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Aynı grafikte şahit numune betonun test sonuçları da gösterilmiştir.



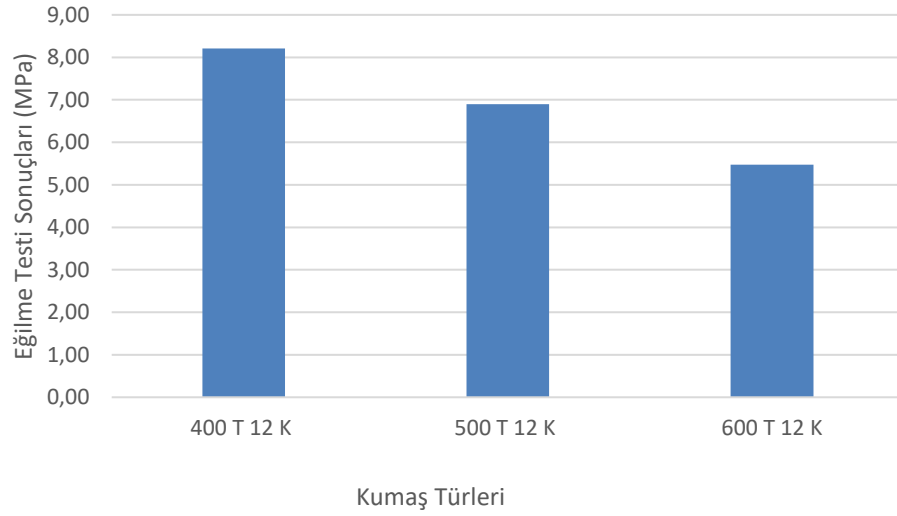
Şekil 5.9: 400 gr/m² 12 K çift karbon dokuma kumaşların eğilme test sonuçları

12K karbon elyaftan üretilmiş 600 gr/m² farklı desene sahip kumaşlar ile yapılan güçlendirme numunelerinin eğilme test sonuçlarının grafiği Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Aynı grafikte şahit numune betonun test sonuçları da gösterilmiştir.



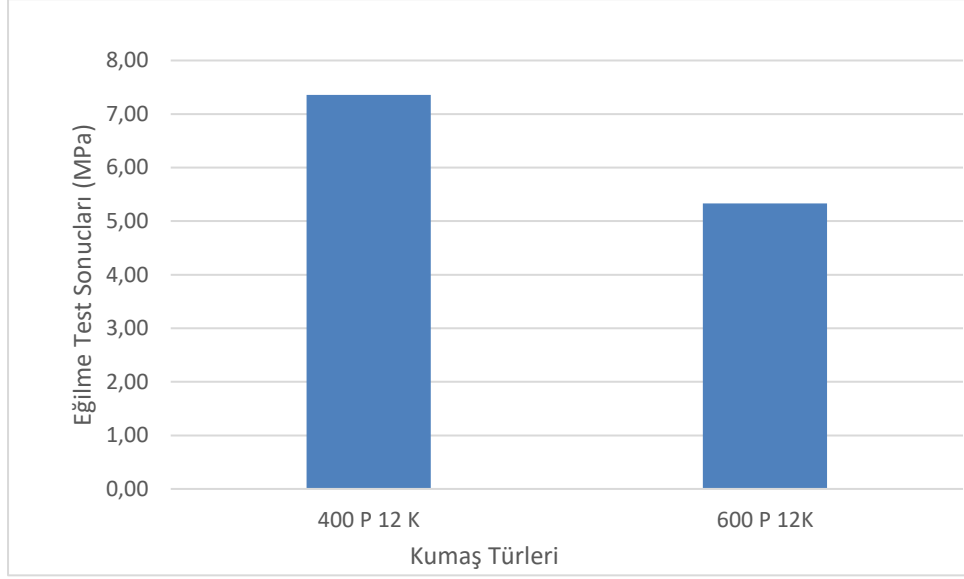
Şekil 5.10: 600 gr/m² 12 K çift karbon dokuma kumaşların eğilme test sonuçları

12K karbon elyaftan üretilmiş 2/2 dimi desene sahip farklı birim alan ağırlığına sahip kumaşlar ile yapılan güçlendirme numunelerinin eğilme test sonuçlarının grafiği Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Bu test için dimi 2x2 400 gr/m², 500 gr/m², 600 gr/m² kumaşların uygulama yapıldığı numuneler değerlendirilmiştir.



Şekil 5.11: 12 K 2/2 dimi karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme numuneleri eğilme test sonuçları

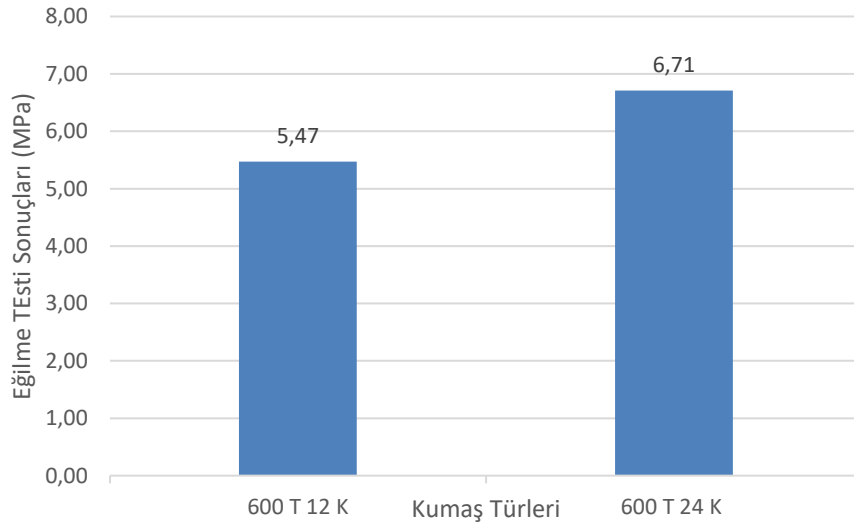
12 K çift yön dokuma karbon kumaşların bezayağı desenlerinde 400 gr /m² ve 600 gr/m² olan numunelerin güçlendirme uygulamasının yapıldığı kirişlerin eğilme test sonuçlarının bulguları Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12: 12 K Bezayağı karbon kumaşlar ile yapılan güçlendirme numuneleri eğilme test sonuçları

5.4 Çift Yön 24 K Kumaşlarda Bulgular

Çift yön 24K dimi 2x2 karbon dokuma kumaş ile kiriş numunesi güçlendirilerek eğilme deneyi yapılmıştır. Tablo 5.5'te çift yön 24 K ile yapılan güçlendirme numunelerinin eğilme dayanım sonuçları gösterilmiştir. 24 K Aynı alan ağırlığına sahip aynı desenden üretilmiş 12 K dimi 2x2 çift yön kumaş ile deney sonucu değerlendirilecektir. Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13: 600 gr/m² 2/2 dimi kumaşların eğilme test sonuçları

Tablo 5.5: Çift yön 24 K güçlendirme yapılmış kumaş eğilme dayanımı sonuçları

Numune adı	Numune açıklama	Deney sonucu eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) _{f_{ef}}	Ortalama	Teorik eğilme dayanımı Mpa (N/mm ²) _{f_{ef}}	Ölçülen F kırılma yükü (N)	Ölçülen R=yükleme hızı kN/s "R"	Teorik R=yükleme hızı kN/s	Teorik s Gerilme artış hızı MPa/s(N/mm ² .s) "S"	L mesnetler arası açıklık (mm)	D1 En kesit boyutları (mm)	D2 En kesit boyutları (mm)
600 T 24 K -1	600 gr/m ² dimi numune 1	6,24 MPa	6,71 MPa	6,24 MPa	13860,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 T 24 K -2	600 gr/m ² dimi numune 2	7,17 MPa		7,17 MPa	15930,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm
600 T 24 K -3	600 gr/m ² dimi numune 3	6,71 MPa		6,71 MPa	14910,00 N	0,11kN/s	0,11 kN/s	0,05 MPa/s	300,00 mm	100,00 mm	100,00 mm

6. DEĞERLENDİRME

Şahit numunelerin eğilme dayanımları 4 parti betonda ortalaması 3,61 MPa ölçülmüştür. Tüm karbon dokuma kumaşların güçlendirme uygulamasının yapıldığı kiriş numunelerini eğilme dayanım ortalaması 7,24 MPa ölçülmüştür. Bu tez çalışmasında en önemli bulgu eğilme dayanımında ortalama %101'lik artış tespit edilmesidir.

Tek yön 12 K karbon dokuma kumaşların güçlendirme uygulamasında şahit (3) numune ortalama eğilme dayanımı değeri 3,27 MPa iken, kumaş güçlendirme uygulaması sonrası kirişlerin ortalama eğilme dayanımı 9,23 MPa olarak ölçülmüştür. Oransal bazda bakıldığında %182 artış olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile çıplak haldeki kirişin dayanımını önemli oranda artırmıştır. Şekil 5.3 incelendiğinde 230 gr/m² tek yön 12K dokuma kumaş uygulanmış kiriş numunesinin eğilme dayanımı ile 500 gr/m² tek yön 12K dokuma kumaş uygulanmış kiriş numunesinin eğilme dayanımı yer alan 300 gr/m² ve 400 gr/m² uygulamaları nispeten artış eğiliminden düşük ölçülmüştür. Bunun nedeni kumaştaki lif yapısı ve iplikten kaynaklı olabildiği gibi, epoksi ile kumaş arasındaki emilme durumu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Tek yön 24 K karbon dokuma kumaşların güçlendirme uygulamasında kullanılan şahit (4) numune ortalama eğilme dayanımı değeri 3,59 MPa iken, kumaş güçlendirme uygulama sonrası kiriş numune ortalama eğilme dayanımı 8,89 MPa olarak ölçülmüştür. Oransal bazda bakıldığında %147 artış olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile çıplak haldeki kirişin dayanımını önemli oranda artırmıştır. Şekil 5.5 incelendiğinde 500 gr/m² tek yön 24K dokuma kumaş güçlendirme uygulaması sonrası kiriş numunesinin eğilme dayanımı sonucu beklenenden düşük ölçülmüştür. Bunun nedeni kumaştaki lif yapısı ve iplikten kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca epoksi kumaş arasındaki emilme ilişkisi buna neden olduğu düşünülebilir. Diğer tek yön 24K dokuma kumaş güçlendirme uygulaması sonrası kiriş numunesi eğilme dayanımı sonuçlarında 300 gr/m² ve 400 gr/m² beklendiği gibi alan ağırlığında artışa göre düşük bir oranda artış gözlenmiştir. 600gr/m²'de ise diğer kumaşlarla benzer sonuçlar ölçülmüştür.

Tek yön 12K ve 24K karbon kumaşlarda 300 gr/m² güçlendirme uygulaması sonrası kiriş numunesinin eğilme testi deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.7’de gösterilen grafiğe göre 24 K kumaşların güçlendirme uygulaması sonrası kiriş numunesinin eğilme dayanımı 9,21 MPa ölçülmüştür. 12 K kumaşların güçlendirme uygulaması sonrası kiriş numunesinin eğilme dayanımı ise 8,1 MPa’dır. 300 gr/m² dokuma kumaşlarda 24K iplikten üretilmiş kumaşların epoksi ile daha güçlü bir matris yapısı oluşturduğu düşünülmektedir.

Çift yön 24 K karbon 600 gr/m² 2/2 dimi dokuma kumaşların güçlendirme uygulamasında kullanılan şahit (1) numune ortalama eğilme dayanımı değeri 3,6 MPa iken, kumaşların güçlendirme uygulaması sonrası kiriş numunesinin eğilme dayanımı ise 6,71 MPa olarak ölçülmüştür. Oransal bazda bakıldığında %85 artış olduğu görülmektedir. Aynı birim alan ağırlığı ve desene sahip çift yön 12 K 600 gr/m² 2/2 dimi ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.13’te sonuçlar grafik olarak gösterilmiştir. Çift yön 12K 600 gr/m² 2/2 dimi güçlendirme uygulaması sonrası kiriş numunesinin eğilme dayanımı ise 5,47 MPa ölçülmüştür. Çift yön 24 K 2/2 dimi güçlendirme uygulaması sonrası kiriş numunesinin eğilme dayanımı. Çift yön 12 K 2x2’nın sonuçlarına göre %22,5 daha fazladır. Bu kumaş türünde 24 K iplikten üretilmiş kumaşların epoksi ile daha güçlü bir matris yapısı oluşturduğu düşünülmektedir.

Çift yön 12 K 400 gr/m² karbon dokuma kumaşların güçlendirme uygulamasında şahit (1) numune ortalama eğilme dayanımı değeri 3,6 MPa iken, kumaş güçlendirme uygulama sonrası kiriş numune ortalama eğilme dayanımı 7,45 MPa olarak ölçülmüştür. Oransal bazda bakıldığında %106’lık bir artış görülmektedir. En yüksek ölçüm değeri (8,21 MPa) çift yön 12 K 400 gr/m² kumaşlarda 2/2 dimi kumaşlar ile yapılan güçlendirme uygulaması sonucunda elde edilmiştir. Şekil 5.9’da 400 gr/m² 12 K karbon kumaş güçlendirme uygulama sonrası kiriş numune ortalama eğilme dayanımı sonuçları grafiği gösterilmiştir.

Çift yön 12 K 600 gr/m² karbon dokuma kumaşların güçlendirme uygulamasında şahit (2) numune ortalama eğilme dayanımı değeri 3,98 MPa iken, kumaş güçlendirme uygulama sonrası kiriş numune ortalama eğilme dayanımı 6,08 MPa olarak ölçülmüştür. Oransal bazda bakıldığında %52’lik bir artış görülmektedir. En yüksek ölçüm değeri çift yön 12 K 600 gr/m² kumaşlarda 4/1 saten kumaşlar ile yapılan güçlendirme uygulaması sonucunda elde edilmiştir. Şekil 5.10 600 gr/m² 12 K

karbon kumaş güçlendirme uygulama sonrası kiriş numune ortalama eğilme dayanımı sonuçları grafiği gösterilmiştir.

Çift yön 12 K kumaşlarda 2/2 dimi ayrıca 500 gr/m² kumaş ile güçlendirme uygulaması yapılmıştır. Kumaş güçlendirme uygulama sonrası kiriş numune ortalama eğilme dayanımı 6,90 MPa olarak ölçülmüştür. Çift yön 12K 400 gr/m², 500 gr/m² ve 600 gr/m² 2/2 dimi kumaşlarla yapılmış güçlendirme uygulama sonuçları Şekil 5.11’de grafik olarak değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarına göre çift yön 12 K kumaşlarda 2/2 dimi birim alan ağırlığı artıkça eğilme dayanımı azalmıştır. Çift yön kumaşlarda sıklık ve birim alan ağırlığı artıkça epoksinin kumaş tarafından yeterince emilmediği düşünülmektedir.

Çift yön 12 K kumaşlarda 400 gr/m² ve 600 gr/m² kumaş ile bez ayağı desenlerin sonuçları Şekil 5.12’de grafik olarak değerlendirilmiştir. 2/2 dimi desenlerdeki gibi bezayağı desenler ile yapılan güçlendirme uygulamalarının eğilme dayanımı deney sonucu da sıklık ve birim alan ağırlığı artıkça azalmıştır. Çift yön kumaşlarda sıklık ve birim alan ağırlığı artıkça epoksinin kumaş tarafından yeterince emilmediği düşünülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Karbon elyaf dokuma kumaşlar ile kiriş eğilme dayanımı için güçlendirme çalışmalarında tüm kumaş tiplerinin eğilme dayanımı ortalaması %101'lik artış sağlamıştır. Kumaş tiplerine göre eğilme dayanımı artışları %25 ile %229 aralığında gerçekleşmiştir. Farklı beton türlerinde bu değer değişmekle beraber deprem ülkesi olan ülkelerde güçlendirme çalışmalarına dokuma karbon kumaş ile yapılan güçlendirmenin katkısı olacaktır.

Çift yön kumaşları ile yapılan eğilme dayanımı değerlerinin tek yön kumaşlara göre genel olarak düşük olmasının sebebi epoksi ile gerçekleştirdiği termoset plastik yapının durumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Dokuma kumaşlarda epoksi emilimi ölçülememiştir ancak epoksi alımının etkileri ayrı bir çalışma konusu olarak değerlendirilmelidir. Çok fazla epoksi emilimi gerçekleştirilip gevrek bir yapıya bürünüp bürünmedikleri ya da sık dokuma yapısında olmaları nedeniyle yeterli epoksi emilimi olup olmadığı tespit edilmemiştir. Bu nedenle başka bir çalışma konusu olarak araştırılması tavsiye edilmektedir.

Karbon lif ve iplik ilişkisi kapsamında ileride yapılacak olan çalışmalarda lif ve ipliğin özelliklerinin detaylı bir şekilde dikkate alınması, karbon dokuma kumaşın beton güçlendirme üzerine etkileri konusunda çalışma yapılması gerekmektedir. Bu şekilde değerlendirme kısmında sunulan etkilerin nedenleri ortaya konulabilecektir.

Bu çalışma sonuçları göstermiştir ki tek yönlü kumaşların eğilme dayanımı daha yüksek ölçüldüğünden dolayı, çözümlü yönü kiriş aksi yönünde olacak şekilde güçlendirme uygulamalarında tavsiye edilmektedir.

Bu çalışma sırasında uygulamada karşılaşılabilecek hatalar olduğu gözlenmiştir. Özellikle güçlendirme konusunda uygulayıcıların çözgü ve atkı yönündeki iplikleri ve sıklıkları farklı kumaşları uygularken kumaş yönüne dikkat etmesi hususu önem arz etmektedir. Belirlenmiş uygulama yönü dışında kumaş uygulanırsa dayanım sonucu farklı çıkabilir. Diğer bir hususta reçine uygulaması konusunda gerçekleşebilir. Reçine karışım oranı ve reçine uygulama süresi konusunda reçine üreticisinin belirlediği yönerge dışında olması durumunda kumaş ile reçinenin

oluşturduğu matris yeterli dayanıma ulaşamayabilir. Uygulanan beton yzey ile yeterli aderansa sahip olmayabilir. Bu tip uygulama hatalarına karşı dikkatli olunması tavsiye edilmektedir.

Tek yon kumaşların eğilme dayanımına etkisinin çift yon kumaşların eğilme dayanımına etkisine göre fazla olduğu llmştr. Tek yon kumaşların, eş değeri aks yönünde karbon ipliği barındıran çift yon kumaşlar göre toplamda daha az karbon ipliği ile üretilmesi sebebiyle daha az maliyetli olacağı bellidir. Bu nedenle eğilme dayanımına etkisi açısından tek yon kumaşların daha az maliyetli olacağı söylenbilir.

Ekonomik açıdan güçlendirme ihtiyaı olan yapıların farklı güçlendirme tipleri ile yapılan güçlendirme uygulamalarının maliyetleri, yeniden binanın yapımının maliyetleri ile karşılaştırılması ayrı bir çalışma konusu olarak araştırılması tavsiye edilmektedir.

8. KAYNAKLAR

Ağır, İ., “Kıvrımsız Dikişli Cam Elyaf Kumaşlardan Üretilen Kompozit Plakların Darbe Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2012).

Akyıldız, A. ve Ağırhan A.Ö., “Karbon Elyaf ile Sargılanmış Betonların Dayanımın İncelenmesi”, *Electronic Journal of Vocational Colleges*,6(3), 99-107, (2016).

Al-Khafaji, A. and Salim, A., “Flexural Strengthening of RC Continuous T-Beams Using CFRP”, *Fibers*, 8(41),1-18, (2020).

Al-Amery, R., and Al-Mahaidi, R., “Coupled flexural- shear retrofitting of RC beams using CFRP straps”, *Composites Structure*, 75,457-464, (2006).

Arslan, K.(ed.), *Teknik Tekstiller Genel ve Güncel Bilgiler*, Bursa: Müsiad, (2009).

Artem, L., “Applying Carbon Fiber in Building Structures”, Bachelor Thesis, *Saimaa University of Applied Sciences Faculty of Technology Double Degree Programme in Civil and Construction Engineering*, Lappeenranta, (2010).

Bakırcılar, Ş., “Betonarme Kenar Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).

Bukhari, I.A., Vollum, R.L., Ahmad, S., and Sagaseta, J., “Shear strengthening of concrete beams with CFRP”, *Magazine of Concrete Research*, 62(1), 65-77, (2010).

Burhan, V., ve Soyaslan, İ.İ., “Jeotekstillerin Uygulama Alanları ve Fonksiyonları”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı*, 1, 70-77, (2016).

Byrne, C., “Technical textiles market-an overview”, (eds. A.R. Horrocks an S.C. Anand), *Handbook of Technical Textiles*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 1-23, (2000).

Çağar, K.P., “Endüstriyel Ürünlerin Tasarımında Yaygın Yer Edinen Polimer Matrisli Malzemelerin Özellikleri”, *Turkish Journal of Fashion Design and Management*, 3(2), 79-88, (2021).

Çelikkanat, A.B., “Teknik Tekstiller” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2002).

Chung, D. D. L., *Carbon Fiber Composites*, U.S.A. :Butterworth-Heinemann, 1-129, (1994).

Çütçü., İ., ve Babalık, E., “Yenilikçi Tekstil Ürünlerinin İhracat Potansiyeli: Türkiye Uygulaması”, (Eds., S. Erdoğan, D.Ç. Yıldırım, A. Gedikli), *Uluslararası Yönetim, Ekonomi ve Politika Kongresi*, İstanbul, 556-567, (2016).

Dalyan, İ., “Lifli Polimerlerle Farklı Biçimlerde Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Performanslarının Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2019).

Değirmenci, Ç.Ö., Aydoğan, İ., Aras, M., ve Çerçevik, A., “Ankrajlarda Epoksi Kullanımı”, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 69-74, (2015).

Demirel, A., “Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).

Dong, J., Wang., Q., and Guan, Z., “Structural behavior of RC beams with external flexural and flexural shear strengthening FRP sheets”, *Composites Part B*, 44, 604-612, (2013).

Dumanlı, A.G, and Windle, A.H., “Carbon fibres from cellulosic precursors; a review, *Journal Material Science*, 47(10), 4236-4250, (2012).

Durur, G., ve Varan, N., “İnşaat Tekstilleri ve Yeni Uygulamalar”, *Tekstil Mühendis*, 68, 13-19, (2007).

Eren, A. ve Soyaslan, D.D., “Tekstil Malzemelerinin İnşaat Mühendisliği Uygulamaları”, *Mehmet Akif Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı 1, 29-34, (2016).

Erkan, İ., H., Aksoylu, C., Alshlash, S., ve Arslan, M.H., “Eğilmeye Çalışan Betonarme Kirişlerde CFRP ile Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin

deneysel Olarak İrdelenmesi”, (Eds., T. Yücehan, U., Saray), *4.Uluslararası Bilimsel Mesleki Çalışmalar Kongresi*, Ankara, (2019).

Ersoy, M.S., “Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, (2005).

Esfahani, M.R., Kianoush., M.R., and Tajari, A.R., “Flexural behaviour of reinforced concrete beams strengthened by CFRP sheets”, *Engineering Structures*, 29, 2428-2444, (2007).

Fares, K., “Karbon Lif Takviyeli Polimer (CFRP) Levhalarla Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Kesme Davranışının Sayısal Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2020).

Gencer, T., “Endüstriyel Tekstillerde Kullanılan Poliüretan ve Polivinilklorür Esaslı Kaplama Yüzeylerin Performans Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2019).

Gülcan, E., “Karbon Dokuma Kumaş Takviyeli Kompozit Malzemelerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2019).

Hawileh, R.A., Hayder, A., Rasheed, A., Jamal, A.A., and Al-Tamimi, A.K., “Behavior of reinforced concrete beams strengthened with externally bonded hybrid reinforced polymer systems”, *Material and Design*, 53, 972-982, (2014).

Hearle, J.W.S., “Introduction”, (ed. J.W.S. Hearle), *High Performance Fibers*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1-21, (2001).

Jamshaid, H. ve Mishra, R., “A green material from rock: basalt fiber—a review”, *The Journal of The Tekstile Institute*, 107(7), 923-937, (2015).

Jassal, M. and Ghosh., S., “Aramid fibres-An overview”, *Indian Journal of Fibre & Tekstile Research*, 27, 290-306, (2002).

Jongvivatsakul, P., Thi., C.N., Tanapornraweekit G., and Bui, L.V.H., “Mechanical properties of aramid fiber-reinforced composites and performance on repairing concrete beams damaged by corrosion”, *Songklanakarın Journal Science Technology*, 42(3), 637-644, (2020).

Jones, F.R., “Glass Fibres”, (ed. J.W.S. Hearle), *High Performance Fibers*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 191-237, (2001).

Kaya, T., Aras, M., ve Çalışkan, Ö., “Güçlendirilen Beton Kirişlerde Eğilme Davranışlarına Yapıştırıcının Etkisi”, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), (2017^a).

Kaya, T., Aras, M., ve Çalışkan, Ö., “Beton Basınç ve Eğilme Dayanımlarına CFRP’nin Etkisi”, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), (2017^b).

Kaner, S., “Plastik Malzemelerin Yapıştırılmasında Yüzey İşlemleri ve Yaşlandırma Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2017).

Keleş, M., “Betonarme Kirişlerde Açılı CFRP Şeritlerin Kesmeye Katkısı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2005).

Keskin, E., “Betonarme Yapılan Onarımı, Güçlendirilmesi ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2005).

Kılıç, A., “Hızlandırılmış Oksidasyon Aşamasının Poliakrilonitril (PAN), Esaslı Karbon Lif Üretimi Sırasında Değerlendirilmesi ve Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (2015).

Kılınçkale, F., “Betonda Dayanıklılık”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 427(5), (2003).

King, M.F.L., Srinivasan.V. and Purushothaman, “Basalt Fiber: An Ancient Material for Innovative and Modern Application”, *Middle East Journal of Scientific Research*, 22(2), 308-312, (2014).

Köksal, O.H., Altınsoy, F., Aktan., S., Karahan ve Ş. Çankaya, R., “Üç Noktalı Eğilme Altında Betonarme Kirişlerde Karbon Lifli Polimerin Etkin ve Ekonomik Kullanımı”, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2),1-16, (2017).

Kumbhar, V. P., “An Overview: Basalt Rock Fibers-New Construction Material”, *Acta Engineering International*, 2(1), 11-18, (2014).

Lavin, J.G., “Carbon Fiberse”, (ed. J.W.S. Hearle), *High Performance Fibers*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 156-190, (2001).

Lomov, S., V., “Manufacturing of non-crimp fabric composites”, (ed.S.V.Lomov), “*Non-crimp fabric composites*”, Oxford, Cambridge, Philadelphia, New Delhi: Woodhead Publishing Limited ,115-261, (2011).

Mammadzada, V., “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 Işığında Polimer Liflerle güçlendirilen Yapıların Analiz ve Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Samsun, (2021).

Mallick, P.K., *Reinforced Composites Materials Manufacturing and Design*, U.S.A.: CRC Press Taylor Francis Group, 3-126, (2007).

Maslow, A.H., “A Theory of Human Motivation” *Psychological Review*, 50, 370-396, (1943).

Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T., ve Tarakçıoğlu, I., “Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları (Bölüm 1)”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17 (2), 80-82, (2007).

Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T., ve Tarakçıoğlu, I., “Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları (Bölüm 2)”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17 (3), 156-161, (2007).

Meşeli, H., “Alifatik Naylon Liflerinin Karbon Lif Üretiminde Hammadde Olarak Değerlendirilmesi ve Karakterize Edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (2015).

Militky, J. ve Kovacic, V., “Ultimate mechanical properties of basalt filaments”, *Tekstile Research Journal*, 66(4), 225-229, (1996).

Mukhopadhyay, S., K., “High-performance fibres”, *Tekstile Progress*, 25, 1–85, (1993).

Norris, T., Saadatmanesh, H., and Ehsani, M.R., “Shear And Stregthening Of R/C Beams With Carbon Fiber Sheets”, *Journal of Structural Engineering*, 123,903-911, (1997).

Önal, M.M., “Reinforcement of beams by using carbon fiber reinforced polimer in concrete buildings”, *Scientific Research and Essay*, 4(10), 1136-1145, (2009).

Özdemir, D., Mecit, H. D., Seventekin, N., ve Öktem, T., “Glass Fibres”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(1), 281-287, (2006).

Özhan, V.K., “Farklı Beton Sınıfına Bağlı Betonarme Kirişlerin eğilme Kapasitelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, (2012).

Park, S., *Carbon Fiber*, Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer, 1-63, (2015).

Prashanth, S., Subbaya, K.M., Nithin, K. and Sachhidananda, S., “Fiber Reinforced Composites-Review”, *Journal of Material Science & Engineering*, 6(3), 1-6,(2017).

Rebouillat S., “Aramids”, (ed. J.W.S. Hearle), *High Performance Fibers*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 23-61, (2001).

Sarı, M., “Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).

Savage, G., *Carbon-Carbon Composites*, United Kingdom: Chapman&Hall, 1-219, (1993).

Sathisikumar, T.P., Satheeshkumar, S. and Naveen, J., “Glass fiber- reinforced polymer composites- a review”, *Journal fo Reinforced Plastics and Composites*, (33) 13, 1258-1275, (2014).

Schnabel A. and Gries, T., “Production of non-crimp fabrics for composites”, (ed.S.V.Lomov), *Non-crimp fabric composites*, Oxford, Cambridge, Philadelphia, New Delhi: Woodhead Publishing Limited ,1-114, (2011).

Sevinç, T., “Betonarme Kirişlerin CFRP Çelik ve Betonarme Levhalarla Taşıma Gücünün Artırılmasının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, (2008).

Siddiqui, N.A., “Experimantel investigation of RC beams strengthened with externally bonded FRP composites”, *Latin American Journal of Solids and Structure*, 6,343-362, (2009).

Şengün, K., “CFRP ile Güçlendirilen Çelik Lifli Betonarme Kirişlerde Dayanım Artışlarının İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2016).

Teke, Ş. (Ed.), *Teknik Tekstile Geçişte Model Uygulamalar*, Bursa: Uludağ İhracatçı Birlikleri Bursa Tekstil ve Konfeksiyon, Teknoloji, Eğitim,

Araştırma, Danışmanlık ve Enerji Verimliliği Hizmetleri Limited Şirketi, (2014).

Tokgöz, H., ve Dünder, B., “Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP ile Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(2), 87-97, (2014).

Topçu, A., Tarihçe: Çimento/Beton/Betonarme/Betonarme Yapılar/İnşaat Mühendisliği, www.academia.edu/23879976/Tarihçe_Çimento_Beton_Betonarme_Betonarme_Yapılar_İnşaat_Mühendisliği [online], (2014).

Tugan, A., “Hibrit Dokuma Kumaşların Performans Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2021).

Türk Standartları, TS EN 206:2013+A1-Beton-özellik, performans, imalat ve uygunluk, 2017.

Türk Standartları, TS 250 EN 1049-2, Tekstil dokunmuş kumaşlar-Yapı analiz metotları-Kısım 2-Birim uzunluktaki iplik sayısının tayini, 1996.

Türk Standartları, TS 12390-5, Beton-sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 5: deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, .2010.

URL_1, en.wikiarquitectura.com/building/millennium-dome-o2-arena/[online], (Kasım 2021).

URL_2, www.ascadir.com/urunlerimiz/buyuk-fuar-cadirlari/[online], (Kasım 2021).

URL_3, www.stringfixer.com/tr/Leachates[online], (Kasım 2021).

URL_4, www.asyapielemanlari.com.tr/urunlerimiz/insaat-guvenlik-ve-emniyet-sistemleri/insaat-guvenlik-agi-sistemleri/[online], (Kasım 2021).

URL_5, www.dekorizon.com/su-yalitim-malzemeleri-nelerdir-uygulama-yontemleri/[online], (Kasım 2021).

URL_6, www.dekorizon.com/isi-yalitim-malzemeleri-nelerdir/[online], (Kasım 2021).

URL_7, <https://www.slideshare.net/pranoydebnath/non-woven-ppt>[online], (Kasım 2021).

URL_8, www.gumustas.com.tr/Hazir-Beton/Urunler/Lifli-Beton[online], (Kasım 2021).

URL_9, www.tezkon.com.tr/yapisal-guclendirme-nedir-binam-saglam-mi[online], (Kasım 2021).

URL_10, www.insaport.com/haberler/beton-nedir-ve-bilesenleri-nelerdir-ts-13515[online], (Kasım 2021).

URL_11, www.sudaglass.com [online], (Kasım 2021).

URL_12, www.betoncu.com.tr/tr-tr/alt-sayfalar/153/betonun-tarihcesi [online], (Kasım 2021).

URL_13, www.simbeton.com.tr/p25-betonun-tarihi [online], (Kasım 2021).

URL_14, www.simbeton.com.tr/p25-betonun-tarihi [online], (Kasım 2021).

URL_15, www.karlmayer.com/en/products/technical-textiles/composite-machines[online], (Kasım 2021).

URL_16, <https://www.lindauerdornier.com/en/composite-systems-eng/roving-weaving-machine-p2>[online], (Kasım 2021).

Ünal, O., ve Yurtçu, Ş., “Betona Hazır Yapılarda Hazır Beton Kullanımı”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1),51-64, (2007).

Walsh, P.J., “Carbon Fibers”, (eds. D.B.Miracle and S.L.Donaldson), *Composites*,21, U.S.A.:ASM, 92-107, (2001).

Wallenberger, F.T., Watson, J.C and Hong, L., “Glass Fibers”, (eds. D.B.Miracle and S.L.Donaldson), *Composites*,21, U.S.A.:ASM, 77-91, (2001).

Yaman, N., ve Öktem, T., Seventekin, N., “Karbon Liflerinin Üretimi”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(3), 164-173, (2006).

Yaman, N., ve Öktem, T., Seventekin, N., “Karbon Liflerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(2), 90-95, (2007).

Yılmaz, B., “Epoksi Bazlı Yapıştırıcılarla Birleştirilen Metallerin Mekanik Özelliklerine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2020).

Young, R.J., Lu, D., and Day, R.J., “Relationship between structure and mechanical properties for aramid fibres”, *Journal of Material Science*, 27, 5431-5440, (1992).