

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**

**BAZALT VE KARBON ELYAF YÜZEYLERİNİN FARKLI
REÇİNELERLE KAPLANMASI VE BETONDA KULLANIMIN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERDEM BİBEROĞLU

DENİZLİ, OCAK - 2022

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**



**BAZALT VE KARBON ELYAF YÜZEYLERİNİN FARKLI
REÇİNELERLE KAPLANMASI VE BETONDA KULLANIMIN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERDEM BİBEROĞLU

DENİZLİ, OCAK - 2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

ERDEM BİBEROĞLU tarafından hazırlanan “**BAZALT VE KARBON ELYAF YÜZEYLERİNİN FARKLI REÇİNELERLE KAPLANMASI VE BETONDA KULLANIMIN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 26.01.2022 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Ramazan DONAT

.....

.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ

.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Kadriye Esen ERDEN

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Yusuf ÖNER

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından **Proje numarasını buraya yazınız nolu proje ile desteklenmiştir.**

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.

ERDEM BİBEROĞLU

ÖZET

**BAZALT VE KARBON ELYAF YÜZEYLERİNİN FARKLI
REÇİNELERLE KAPLANMASI VE BETONDA KULLANIMIN
İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ERDEM BİBEROĞLU
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. RAMAZAN DONAT)**

DENİZLİ, OCAK - 2022

Yapılan bu yüksek lisans tezi çalışmasının amacı mevcut elyafların betonla olan birim hacim ağırlıkları kaynaklı uygulama zorluklarını ortadan kaldırmak amacı ile sektörde kullanım payı nispeten az olan bazalt ve karbon elyaflar ile makro yapıda formlar elde ederek uygulama kolaylığı olan, ekonomik olan, yerel kaynakların ve teknolojilerin kullanılması ile üretimi yapılabilen makro yapı bir elyaf donatısı üretmek ve yapı malzemelerinde kullanılarak, eğilme dayanımı ve basınç dayanımına olan etkisini gözlemlemektir. "Karbon ve bazalt iplikleri belirlenen 115 büküm sayısı altında bileşimleri "Versiyon 1: Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf, Versiyon 2: Karbon Elyaf + Bazalt Elyaf ve Versiyon 3: Karbon Elyaf+Karbon Elyaf" olmak üzere üç farklı elyaf bileşiminde bükülmüştür. Bükülen iplikler, kimyasal bağlayıcı ve tutucu görevi gören "Bisfenol A Reçinesi" ile kaplanarak bir endüstriyel kurutma fırını içerisinde kurutulmuştur. Kimyasal kaplama ve kurutma işlemi sonrasında bir forma bürünen iplikler, farklı beton elyafı boylarının betonun özelliklerine olan etkisini gözlemlemek amacıyla 2 cm, 3 cm ve 4 cm boylarında kırılarak betonda kullanıma hazır hale getirilmiştir. Beton içerisinde farklı dozajlarda beton elyafı kullanımlarının ne gibi sonuçlar vereceğinin gözlemlenmesi amacıyla kırılmış elyaflar, beton mekanik mukavemet testi numuneleri içerisinde 2 g, 3 g ve 4 g dozajlarında kullanılmıştır. Beton numuneleri 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarının genel ortalamalarına göre bakıldığında şahit numunelere oranla; Versiyon 1'in 2, 7, 28 ve 90 günlük numunelerinin eğilme dayanımlarının %12.61, basınç dayanımlarının %8.71, versiyon 2'nin 2, 7, 28 ve 90 günlük numunelerinin eğilme dayanımlarının %7.24, basınç dayanımlarının %9.67, versiyon 3'ün 2, 7, 28 ve 90 günlük numunelerinin eğilme dayanımlarının %2.36, basınç dayanımlarının %9.35 oranlarında artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Bazalt Elyaf, Karbon Elyaf, Beton, Çimento, Yapı Malzemeleri

ABSTRACT

COATING BASALT AND CARBON FIBER SURFACES WITH DIFFERENT RESINS AND INVESTIGATION OF THEIR USE IN CONCRETE

MSC THESIS

ERDEM BİBEROĞLU

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CHEMISTRY

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. RAMAZAN DONAT)

DENİZLİ, JANUARY 2022

The aim of this master thesis study is to eliminate the application difficulties caused by the unit volume weights of existing fibers with concrete, by obtaining macro-structured forms with basalt and carbon fibers, which have a relatively low use in the sector, by using local resources and technologies that are easy to apply, economical. To produce a macro-structured fiber reinforcement that can be produced and to observe its effect on flexural strength and compressive strength by using it in building materials. "Carbon and basalt yarns were spun in three different fiber compositions under the determined number of twists of 115: "Version 1: Basalt Fiber+Basalt Fiber, Version 2: Carbon Fiber+Basalt Fiber and Version 3: Carbon Fiber+Carbon Fiber". Twisted yarns, It was coated with "Bisphenol A Resin", which acts as a chemical binder and retainer, and dried in an industrial drying oven. The yarns, which took a form after chemical coating and drying, were produced in 2 cm, 3 cm and, 4 cm lengths in order to observe the effect of different concrete fiber lengths on the concrete properties. It is made ready for use in concrete by shearing. Crimped fibers were used in concrete mechanical strength test samples at dosages of 2 g, 3 g, and 4 g in order to observe what results would be obtained by using different dosages of concrete fiber in concrete. Concrete samples were 2, 7, 28, and 90 days old. evaluated according to the curing times. The general average of the test results compared to the witness samples; The flexural strength of the 2, 7, 28, and 90-day samples of version 1 is 12.61%, the compressive strength is 8.71%, the 2, 7, 28, and 90-day samples of version 2 have a flexural strength of 7.24%, the compressive strength is 9.67%, 2, 7, 28 and 90-day samples of version 3 showed an increase of 2.36% in bending strength and 9.35% in compressive strength.

KEYWORDS: Basalt Fiber, Carbon Fiber, Concrete, Cement, Building Materials

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
RESİM LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER	6
2.1 Beton	6
2.1.1 Beton Bileşenleri ve Türleri.....	6
2.1.1.1 Bağlayıcı Bileşenler	6
2.1.2 Betonun Kullanım Alanları.....	12
2.2 Tekstil.....	13
2.2.1 Liflerin Kaynakları ve Türleri.....	14
2.2.1.1 Doğal Lifler	14
2.2.1.1.1 Selüloz Kökenli Lifler	14
2.2.1.1.2 Protein Kökenli Lifler	16
2.2.1.1.3 Mineral (madensel) Lifler	18
2.2.1.2 Kimyasal (Yapay) Lifler	19
2.2.1.2.1 Suni (Rejenere) Lifler	19
2.2.1.2.2 Sentetik Lifler	21
2.2.1.2.3 İnorganik Lifler.....	24
2.2.2 Liflerin Özellikleri Etkileyen Faktörler	28
2.2.2.1 Hammadde Özellikleri	28
2.2.2.2 Liflerin İnceliği	29
2.2.2.3 Lif Uzunluğu	30
2.2.2.4 Liflerde Uzama.....	31
2.2.2.5 Liflerde İncelik (Sertlik) Oranı	33
2.2.2.6 Liflerin Mukavemeti	34
2.2.2.7 Liflerin Temizlik Durumu.....	35
2.2.2.7.1 Bitkisel Safsızlıklar.....	36
2.2.2.7.2 Lif Safsızlıkları	36
2.2.2.7.3 Mineral Safsızlıklar.....	36
2.2.2.7.4 Diğer Safsızlıklar	36
2.2.3 Teknik Tekstil	37
2.2.4 Tekstilde Kullanılan Bazı Metotlar.....	40
2.2.4.1 Büküm İşlemi	41
2.2.4.2 Kimyasal Bağlayıcı ve Tutucular.....	48
2.2.4.3 Endüstriyel Kurutma ve Kürleme İşlemleri	53
2.2.4.4 Kırpma ve Kesme Sistemleri	55
2.3 Lif Takviyeli Betonlar	57
2.3.1 Betonda Kullanılan Bazı Lif Çeşitleri	57
3. YÖNTEM.....	59
3.1 Materyal ve Metot	59

3.1.1	Tekstil ve Kimya Elemanları	59
3.1.1.1	Kullanılan Elyaf lar	59
3.1.1.1	Kullanılan Kimyasal Bağlayıcı ve Tutucular	59
3.1.1.2	İzopropil Alkol	61
3.1.2	Beton Elemanları	61
3.1.2.1	Çimento	61
3.1.2.2	Su	61
3.1.2.3	Kum	61
3.1.3	Kullanılan Makine ve Ekipmanlar	62
3.1.3.1	Büküm Makinesi	62
3.1.3.2	Kimyasal Haznesi	64
3.1.3.3	Endüstriyel Kurutma Fırını	65
3.1.3.4	Elyaf Kırpma Makinesi	67
3.1.3.5	Terazi	68
3.1.3.6	Kantar Terazi	68
3.1.3.7	Harç Mikseri	69
3.1.3.8	Numune Kalıpları	69
3.1.3.9	Beton Eğilme ve Basınç Ölçüm Cihazı	70
3.2	Deneysel Yöntem	71
3.2.1	Büküm İşlemi	72
3.2.2	Kimyasal Bağlayıcı Reçine Kaplama	77
3.2.3	Reçine Kaplı İpliklerin Fırında Kür lenmesi	78
3.2.4	Kür lenmiş İpliklerin Kırılması	79
3.2.5	Beton Karışımının Hazırlanması	83
3.2.6	Beton Mukavemet Testleri	90
4.	BULGULAR	91
4.1	OPÇ'nin Kimyasal Analiz Sonuçları	91
4.2	Beton Testleri Sonuçları	91
4.2.1	Eğilme Dayanımı Mukavemet Testleri Sonuçları	92
4.2.1.1	2 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	93
4.2.1.2	3 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	94
4.2.1.3	4 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	95
4.2.1.4	2 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	96
4.2.1.5	3 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	97
4.2.1.6	4 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf + Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	98
4.2.1.7	2 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	99
4.2.1.8	3 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	100
4.2.1.9	4 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları	101
4.2.2	Basınç Dayanımı Mukavemet Testleri Sonuçları	102
4.2.2.1	2 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	103

4.2.2.2	3 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	104
4.2.2.3	4 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	105
4.2.2.4	2 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	106
4.2.2.5	3 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf + Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	107
4.2.2.6	4 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	108
4.2.2.7	2 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	109
4.2.2.8	3 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	110
4.2.2.9	4 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları.....	111
4.2.3	FTIR Analizi	112
4.2.4	X-Ray Difraktogramları	112
4.2.5	SEM Mikrografı	114
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	117
6.	KAYNAKLAR.....	123
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	129

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Mekanik mukavemet deneyi.....	9
Şekil 2.2: Portland çimentosu üretim prosesi.....	10
Şekil 2.3: a) İyi ve b) kötü kalitede kısa kenevir liflerini gösteren SEM görüntüleri (Ölçek çubuğu 200 µm'ye karşılıktır.) (Wretfors ve diğ. 2009).....	29
Şekil 2.4: Sık kullanılan bazı liflerin kuvvet/uzama eğrileri (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2).....	33
Şekil 2.5: Farklı uzunluk ve çaplara sahip liflerin sertlik oranları (l/d), farklı sertlik ve esneklik değerlerine sahip oldukları anlamına gelir.....	34
Şekil 2.6: S ve Z büküm iplikleri (Whewell 1999).....	42
Şekil 2.7: Farklı kalınlıklardaki iplerde liflerin (f ve f') sarılması (Klein 2008).....	43
Şekil 2.8: İnce ipliklerde bükümdeki tur sayısı (Klein 2008).....	43
Şekil 2.9: Farklı kalınlıklardaki ipliklerin büküm sayıları (Klein 2008).....	44
Şekil 2.10: UV-Kürleme reaksiyon şeması (Heraeus Holding 2021).....	54
Şekil 3.1: Büküm-makine devri grafiği.....	64
Şekil 3.2: Numune içeriği-yük (cN) grafikleri.....	72
Şekil 3.3: Numune içeriği-% uzama grafikleri.....	73
Şekil 3.4: Numune içeriği-% CV (F) grafikleri.....	73
Şekil 3.5: Numune içeriği-% CV (Uzama) grafikleri.....	74
Şekil 3.6: Numune içeriği-RKM grafikleri.....	74
Şekil 3.7: Kullanılan liflerin beton numuneleri içerisinde eşit olarak sıralanma şekli.....	83
Şekil 3.8: Elyafların numune haznelere nasıl yerleştirildiğini tasvir eden bir görsel.....	83
Şekil 4.1: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği.....	93
Şekil 4.2: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği.....	94
Şekil 4.3: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği.....	95
Şekil 4.4: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği.....	96
Şekil 4.5: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği.....	97
Şekil 4.6: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği.....	98
Şekil 4.7: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları	

grafığı	99
Şekil 4.8: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+K elyaf katkılı beton umunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafığı.....	100
Şekil 4.9: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafığı	101
Şekil 4.10: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	103
Şekil 4.11: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	104
Şekil 4.12: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	105
Şekil 4.13: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	106
Şekil 4.14: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	107
Şekil 4.15: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	108
Şekil 4.16: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	109
Şekil 4.17: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	110
Şekil 4.18: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafığı.....	111
Şekil 4.19: OPC'nin 2, 7, 28 ve 90 günlük hidrate örneklerinin FTIR spektrumları	112
Şekil 4.20: Saf hidrate OPC'nin 2 günlük X-ray difraktoğramı	113
Şekil 4.21: Saf hidrate OPC'nin 7 günlük X-ray difraktoğramı	113
Şekil 4.22: Saf hidrate OPC'nin 28 günlük X-ray difraktoğramı	114
Şekil 5.1: Eğilme dayanımları ortalaması grafığı	120
Şekil 5.2: Basınç dayanımları ortalaması grafığı	120

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Liflerin tipik özellikleri (Bentur ve Mindess 2006)	25
Tablo 2.2: Bazı cam lif türlerinin tipik özellikleri (Chawla 2016)	26
Tablo 2.3: Bazı metalik liflerin tipik özellikleri (Chawla 2016)	27
Tablo 2.4: Pamuk lifleri için uzama aralıklarını gösteren bir tablo (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2)	32
Tablo 2.5: Bazı önemli liflerin kopma mukavemetleri (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 1)	34
Tablo 2.6: Pressley ölçeği ve g/tex cinsinden değerleri (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 1)	35
Tablo 2.7: Nem ölçeğini gösteren bir tablo (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2)	35
Tablo 2.8: Pamuk liflerinin içerdiği yabancı madde miktarını değerlendirmek amacıyla kullanılan bir ölçek (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2)	37
Tablo 2.9: İngiliz iplik numaralandırma sistemine göre pamuk iplikleri için büküm faktörleri (Klein 2008)	46
Tablo 2.10: Termoset reçine özelliklerinin gösterge değerleri (Ascione ve diğ. 2016)	50
Tablo 2.11: Belli başlı termoplastik reçineleri ve işlem sıcaklıkları (Onat 2015)	52
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan elyafların özellikleri	59
Tablo 3.2: Kullanılan kimyasal bağlayıcı ve tutucuların özellikleri	60
Tablo 3.3: Makine-büküm devri tablosu	63
Tablo 3.4: Endüstriyel kurutma fırını hesap tablosu	67
Tablo 3.5: İstenen kırpma boylarına göre kırpma makinesi ayarları	67
Tablo 3.6: Üretilecek olan elyafların bileşimleri	75
Tablo 3.7: Çalışmalarda büküm işlemine tabi tutulan versiyonların üretim hesaplamaları	76
Tablo 3.8: Reçine kaplı elyafların toplam kurutma süreleri	79
Tablo 3.9: Kırpma giyotini kırpma ayarları	80
Tablo 3.10: Versiyonların farklı boylar için kırılma süreleri	81
Tablo 3.11: Üretilen kırılmış elyafların miktarı (g)	81
Tablo 3.12: Beton harç bileşimi	84
Tablo 3.13: Beton döküm şeması	89
Tablo 4.1: OPÇ 42.5 R çimentosunun kimyasal analizi	91
Tablo 4.2: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	93
Tablo 4.3: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	94
Tablo 4.4: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	95
Tablo 4.5: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	96

Tablo 4.6: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	97
Tablo 4.7: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	98
Tablo 4.8: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	99
Tablo 4.9: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	100
Tablo 4.10: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	101
Tablo 4.11: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	103
Tablo 4.12: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	104
Tablo 4.13: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm B+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	105
Tablo 4.14: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	106
Tablo 4.15: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	107
Tablo 4.16: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+B elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	108
Tablo 4.17: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	109
Tablo 4.18: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	110
Tablo 4.19: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+K elyaf katkılı beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo	111
Tablo 5.1: Eğilme ve basınç dayanımı sonuçlarının ortalamaları (kN)	118
Tablo 5.2: Eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin şahit numunelere göre artışı (%)	119
Tablo 5.3: Bulunan değerlerin toplam yüzdelerinin genel ortalaması	119

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 3.1: Çalışmada kullanılan elyaflara ait bir görsel (soldan sağa, bazalt elyaf ve karbon elyaf).....	60
Resim 3.2: Elyafların bükümünde kullanılan büküm makinesi.....	62
Resim 3.3: Ölçümleri yapılan a) sevk silindiri, b) iç silindiri.....	63
Resim 3.4: Randımsız çalışan kimyasal besleme haznesi.....	64
Resim 3.5: Plastik kap kullanılarak yapılan kimyasal haznesi a) bükümlü ham iplik girişi, b) kimyasal kaplı iplik çıkışı.....	65
Resim 3.6: Fırın içindeki taraklardan elyafların geçirilmesi.....	66
Resim 3.7: Endüstriyel kurutma fırını içerisindeki sevk silindirleri.....	66
Resim 3.8: a) Kırpma giyotini, b) kırılmış bazı elyaflar.....	68
Resim 3.9: Elyafı ve çimentoyu tartmak için kullanılan laboratuvar terazisi68	
Resim 3.10: Tartım işlemlerinde kullanılan kantar terazi.....	69
Resim 3.11: Beton harcının homojen olarak karıştırılması için kullanılan mikser.....	69
Resim 3.12: Beton numunelerinin hazırlanmasında kullanılan mekanik beton mukavemeti testi kalıbı.....	70
Resim 3.13: Testlerin yapılmasında kullanılan hidrolik basınç test makinesi sistemi.....	70
Resim 3.14: Testlerde kullanılan çeneler a) beton eğilme dayanımı çenesi b) beton basınç dayanımı çenesi.....	71
Resim 3.15: Test sonuçlarını ölçme ve kaydetme işlemi yapan bilgisayar.....	71
Resim 3.16: Elyaf bükümü yapılırken (Versiyon 1).....	76
Resim 3.17: Kimyasal reçine karışımının hazırlanması.....	77
Resim 3.18: Fırının içerisindeki tur sayıları.....	78
Resim 3.19: Kırılan elyafların bazıları a) B+B 4cm, b) K+B 4cm, c) K+K 4cm.....	79
Resim 3.20: Elyafların boylarına ve bileşimlerine göre paketlenmiş halleri....	82
Resim 3.21: Tartım işlemi tamamlanan çimentolar, harç karışımında kullanılmak üzere paketlenmiştir.....	84
Resim 3.22: Kalıpların yağlanması.....	85
Resim 3.23: Şahit numune harcının kalıplara döküm aşaması.....	85
Resim 3.24: Elyafların kat kat ve belirli bir düzene göre sıralanması a) birinci elyaf katı b) ikinci elyaf katı c) sıkıştırılmış ve temizlenmiş numune kalıbı.....	86
Resim 3.25: Harç doldurma işlemi tamamlanan kalıpların yere vurularak sıkıştırılması, a) ön tarafın 60 defa vurulması, b) arka tarafın 60 defa vurulması, c) çift taraftan tutularak 60 defa vurulması.....	86
Resim 3.26: Kalıpların düz ve ince bir spatula yardımıyla düzeltilmesi.....	87
Resim 3.27: Ön kürlenmeye bırakılmış beton kalıpları.....	87
Resim 3.28: Havuzda bekletilen 90 günlük beton numunelerine ait bir görsel	88
Resim 3.29: Bazı numunelerin beton eğilme ve basınç dayanımı testleri.....	90
Resim 4.1: Orijinal hidrate OPÇ örneklerinin 2 günlük SEM mikrografları..	115
Resim 4.2: Orijinal hidrate OPÇ örneklerinin 7 günlük SEM mikrografları..	115
Resim 4.3: Orijinal hidrate OPÇ örneklerinin 28 günlük SEM mikrografları	116

SEMBOL LİSTESİ

FRC	:	Elyaf Katkılı Beton
°C	:	Santigrat Derece
K	:	Kelvin
GPa	:	Gigapascal
MPa	:	Megapascal
µm	:	Mikrometre
cN	:	Santinewton
kgf	:	Kilog kuvvet
F	:	Kuvvet
T	:	İplikteki Büküm
sn.	:	Saniye
m	:	Kütle
V	:	Hacim
σ	:	Özkütle
A	:	Kesitin Yüzey Alanı
L	:	Uzunluk
d	:	Çap
n	:	Devir Sayısı
UV	:	Ultraviyole
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince, çalışmamda başarılı bir şekilde ilerlememde büyük bir payı olan ve her zaman pratik çözümleri ve yöntemleri ile bana yol gösteren saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Ramazan DONAT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana vakit ayıran saygı değer hocalarım, Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN, Prof. Dr. Halim CEYLAN ve Prof. Dr. Güngör DURUR'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca beton döküm aşamalarında ve testlerinde yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Hüseyin GÜVEN'e teşekkür ederim.

Çalışmamda dış hizmet alımı ve ekipman kullanımlarıyla bana destek olan "Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğine" ve "Trafik Analiz Merkezi Mühendislik & Danışmanlık San. Tic. Ltd. Şti." firmasına teşekkür ederim.

Çalışma süresince her türlü maddi ve manevi desteğiyle her zaman yanımda bulunan annem Hülya BİBEROĞLU, babam Fethi BİBEROĞLU ve ablam Özlem KIRŞALLIOBA'ya ayrıca çalışmanın çeşitli aşamalarında bana yardımcı olan arkadaşlarım Anıl KÜNTER, Ercan ETİK ve Mehmet Anıl ÖZKÖK'e teşekkür ederim.

Pamukkale Üniversitesi bünyesinde görev yapan adımı sayamadığım ve bana çalışmamda yardımcı olan bütün hocalarıma teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Elyaf katkılı betonların sağladığı avantajlar sayesinde kullanım alanları hızla artmaktadır. Elyaf katkılı beton (FRC); çimento, farklı boyutlarda agrega, kum ve su gibi temel beton bileşenlerinin kesik ve süreksiz elyaflar ile belirli oranlarda harmanlanmasıyla oluşturulan bir beton türü olarak tanımlanmaktadır. Bazalt, karbon, aramid, çelik, polipropilen ve alkaliye dayanıklı cam elyaflar betonda yaygın olarak kullanılmaktadır. Elyaf katkılı betonlarda kullanılan tüm elyafların sahip olması beklenen en önemli özelliklerden birisi de elyafların beton içinde üç boyutu bir şekilde eşit olarak dağılması ve beton karıştırıldıktan sonra bu homojenize yapıyı koruyabilmesidir. Yapılan çalışmalardan bilindiği gibi, üç boyutlu bir şekilde eşit olarak dağılmış lifler betonda çatlakları önleyerek ve betonda çatlakların gelişimini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir. Bu özelliği sayesinde elyaf katkılı betonlar çekme kopma, eğilme ve basınç dayanımı testlerinde yüksek mukavemet değerleri elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu nedenle betonarme kazıklarda, yollarda ve hava alanlarında, su borularında, büyük fabrika binaları için döşeme betonunda ve genel prefabrik yapı bileşenlerinde elyaf katkılı beton tercih edilirse daha iyi sonuçların alınacağı iyi bilinmektedir.

“Bazalt ve Karbon Elyaf ile Yapı Malzemelerinin Geliştirilmesi” adıyla yürütülen bu çalışmada kullanılan elyafların, elyaf büküm işleminden sonra belirlenen kimyasal reçine ile kaplanarak makro yapı kazandırılmasıyla elde edilen hibrit elyafların, beton numuneler içerisinde kullanılarak çekme-kopma dayanımı ve basınç dayanımı testlerinin yapılması ile sonuçlandırılmıştır.

Beton, inşaat sektöründe temel bir malzemedir. Kullanım amacına göre beton, mekanik özellikleri geliştirilerek amacına ulaşabilecek bir forma dönüştürülebilir. Kimyasal katkıları, beton yapıları iyileştirmek için en yaygın kullanılan malzemelerdir. Bu katkı maddeleri betonun birçok özelliğini, özellikle işlenebilirliğini iyileştirmektedir.

Bu alanda yerli ve yabancı birçok üretici bulunmakta olup, kimyasal katkıların davranışı net olarak tanımlanmış ve betona etkisi kontrol edilebilir durumdadır. Birçok kanun ve yönetmelikte yer alan kimyasal katkı maddelerinin kullanımı belli standartlara ulaşmıştır.

Son yıllarda endüstriyel ve teknik yapılarda nitelikli betona olan talebin artmasıyla birlikte elyaflarında beton katkı maddesi olarak kullanımı giderek ön plana çıkmış ve bu alandaki araştırma ve geliştirmeler de hız kazanmıştır.

İçinde bulunduğumuz çağda beton katkı malzemesi olarak kullanılmak amacıyla çelik ve diğer elyaflardan yapılan birçok ürün ticari olarak kullanılmaktadır. Bu ürünlerin maliyetinde ve uygulamasında bazı sorunlar mevcuttur. Elyaf, betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek, özellikle çekme-kopma ve eğilme mukavemetini artırmak ve rötre çatlaklarını önlemek için kullanılmaktadır. Fakat beton ile elyaf arasındaki birim hacim ağırlık farkı (çelik lif 7.8 g/cm^3 , sentetik lif $<1 \text{ g/cm}^3$), elyafın beton içinde eşit bir şekilde dağılmasını zorlaştırdığı gibi hem işçilikten hem de zamandan çalmaktadır. Bu durum elyaf katkılı betonun kullanımını kısıtlayarak, beklenen maliyet ve performansına ulaşılmasını engeller. Mevcut dezavantajları engellemek amacıyla gereğinden fazla hammadde, katkı maddesi kullanımı, ek işçilik ve zamana ihtiyaç duyulur. Ülkemizde yerli firmaların yanı sıra yabancı firmalar da ülkenin elyaf üretim ve satış pazarına katılmıştır. Üretimde ve ürünlerde belirli standartlar oluşturulmuş ve yaygın kullanımı gözlemlenmiştir.

Elyaf, doğal, yapay, mikro, makro vb. sınıflandırmalara tabidirler. Mikro yapılar betonda erken dönem rötre çatlaklarına karşı etkili iken makro yapılar betonun eğilme ve basınç dayanımında önemli iyileşmeler sağlamaktadırlar.

Yapılan birçok çalışmada liflerin ve betonda lif kullanımındaki diğer parametrelerin betonun eğilme ve basınç dayanımına olan etkisi vurgulanmaktadır.

Monaldo ve diğ. (2019), “Bazalt bazlı elyaf takviyeli malzemeler ve inşaat mühendisliğinde yapısal uygulamalar” adlı çalışmalarında, mevcut yapıların (hem beton hem de duvarcılık) bazalt bazlı elyaf takviyeli polimerler (BFRP) ve çimentolu matrisler (BFRCM) ile güçlendirilmesinin mümkün olduğunu ve mevcut temel kanıtları izleyerek ve perspektif yönlerini ve açık problemleri vurgulayarak, bazalt

lifleri, bazalt bazlı kompozit malzemeleri ve bunların inşaat mühendisliği alanındaki uygulamaları hakkındaki son teknolojinin sistematik bir incelemesini sunmayı amaçlamıştır.

High ve diğ. (2015), “Beton yapılar için bazalt elyaf kullanımı” adlı araştırmalarında bazalt elyaf çubukların beton elemanlar için bükülme güçlendirici olarak kullanılmasını ve doğranmış bazalt elyafların betonun mekanik özelliklerini arttırmak için katkı maddesi olarak kullanımını araştırmışlardır ve bazalt elyaf katkılı betonların bükülme modüllerinin önemli ölçüde yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Paiva ve diğ. (2019), “Petrol kuyusu uygulamaları için öğütülmüş bazalt elyaf takviyeli Portland bulamacı” adlı çalışmalarında kısa liflerin, petrol kuyusu Portland bulamaçlarına dağılması, sertleştirilmiş çimento malzemesinin basınç mukavemetini ve kırılma enerjisini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Qin ve diğ. (2018), “Bazalt lifi takviyeli magnezyum fosfat çimento kompozitlerinin mekanik özellikleri” adlı araştırmalarında bazalt liflerinin basınç dayanımı üzerindeki faydalı etkisinin; gerilme mukavemeti, bükülme mukavemeti ve kırılma tokluğunun bölünmesi elyaf hacminin artmasıyla önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca bazalt lif katkılı magnezyum fosfat çimentolarının, cam elyaf katkılı çimentolara oranla daha iyi mekanik özellikler gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Padalu ve diğ. (2018), “Güçlendirilmemiş duvarcılıkta düzlemsel olmayan bir güçlendirme için bazalt elyaf takviyeli çimento harç kompozitinin etkinliği” adlı çalışmalarında bazalt elyaf ağ takviyeli çimento harcı (BFRCM) ve kompozit kullanılarak güçlendirilmiş takviyeli duvarcılık (URM) cüzdanları üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak BFRCM kullanan güçlendirme tekniğinin, URM cüzdanlarına kıyasla, cüzdanların 4 kata kadar gücünü, 29 kata kadar deforme olma özelliğini ve 139 kata kadar enerji emme kapasitesini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Song ve diğ. (2018), yaptıkları “Ultra Yüksek Performanslı Fiber Takviyeli Beton (UHPRFC) için fiber oryantasyonunu ve dağıtımını optimize etmede temel parametreler” adlı çalışmalarında beton döküm uzunluğu, döküm yüksekliği ve

karışım viskozitesi gibi etkenleri incelemişler ve UHPFRC'deki lif dağılımı ve yönleri üzerindeki etkilerini netleştirmeye çalışmışlardır. Elde ettikleri deneysel sonuçlara göre, fiber oryantasyonunun, UHPFRC döküm uzunluğu, döküm yüksekliği ve karışım viskozitesinden güçlü bir şekilde etkilenebileceğini gözlemlemişlerdir.

Demirel ve Gönen (2007), “Karbon fiber takviyeli betonda farklı fiber boyunun kapilariteye etkisi” adlı çalışmalarında fiber boyunun karbon fiber takviyeli betonun basınç dayanımı ve kapilaritesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, fiber boylarının artmasının beton basınç dayanımını düşürdüğü ve kapilariteyi arttırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca fiber dozajının artmasıyla bu olumsuz etkilerin optimum seviyeye getirilebileceğini gözlemlemişlerdir.

Meza ve Siddique (2019), “En-boy oranı ve dozajın geri dönüştürülmüş elyafli Elyaf Katkılı Betonun (FRC) eğilme tepkisi üzerindeki etkisi” adlı çalışmalarında, parametrelerin performanslarını nasıl etkilediğini anlamak için farklı en boy oranı ve RF (parçalanmış plastik PET şişeler) dozajına sahip 15 FRC numunesinin eğilme davranışını göstermektedir. Ek olarak, işlenmemiş lifli (ticari Polipropilen) 9 FRC numunesi ve 2 kontrol numunesi (lifsiz) karşılaştırmalı elemanlar olarak kullanılmışlardır. Sonuçlar, yüksek dozajlı ve RF en-boy oranına sahip numunelerin daha iyi bir eğilme davranışı gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Döndüren ve diğ. (2006), hazırladıkları “Betonla donatı arasındaki aderans davranışının deneysel incelenmesi” adlı çalışmalarında beton ile donatı arasındaki aderans davranışını deneysel yöntemle incelemişlerdir. Hazırladıkları 16 değişik deney numunesinin 8 tanesini etriyeli olarak, diğer 8 tanesini ise etriyesiz olarak hazırlamışlardır. Sonuç olarak etriyeli numunelerin sonuçlarının, etriyesiz olan numunelerin sonuçlarına göre %33 daha yüksek dayanımlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Özel ve Öz (2016), “Lif boyu ve su/çimento oranının ultra yüksek dayanımlı fiber katkıli betonların basınç dayanımlarına etkileri” adlı çalışmalarında farklı lif boylarının (16 mm ve 30 mm) ve su/çimento oranlarının (0.21 ve 0.31) ultra yüksek dayanımlı fiber katkıli betonların basınç dayanımlarına olan etkilerin incelemişlerdir. Sonuç olarak, su/çimento oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığını ve lif

boylarındaki artışın basınç dayanımını önemli olmayacak seviyede düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmanın amacı mevcut elyafların betonla olan birim hacim ağırlıkları kaynaklı uygulama zorluklarını ortadan kaldırmak amacı ile sektörde kullanım payı nispeten az olan bazalt ve karbon elyaflar ile makro yapıda formlar elde ederek uygulama kolaylığı olan, ekonomik olan, yerel kaynakların ve teknolojilerin kullanılması ile üretimi yapılabilen makro yapı bir elyaf donatısı üretmek ve yapı malzemelerinde kullanılarak, eğilme dayanımı ve basınç dayanımına olan etkisini gözlemlemektir.

Yapılan literatür taramasının yardımıyla bu tez çalışmasında;

- Bükümlü bir formda üretilen beton elyaflarının, beton dayanımları üzerindeki etkileri,
- Kimyasal reçine ile kaplanan elyaflarının, beton dayanımları üzerindeki etkisi,
- Liflerin boylarının beton dayanımları üzerindeki etkisi,
- Liflerin beton içerisindeki kullanım dozajlarının beton dayanımları üzerindeki etkisi,
- Liflerin beton içerisindeki yönelimlerinin beton dayanımları üzerindeki etkisi,
- Betonların farklı kürlenme sürelerinin (2, 7, 28 ve 90 gün) beton dayanımları üzerindeki etkilerinin nasıl olduğunun incelenmesi amaçlanmıştır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1 Beton

Beton; çimento, agrega (ince veya kaba olmak üzere) ve suyun belirlenen oranlara göre harmanlanmasıyla elde edilen yüksek mukavemete sahip bir yapı malzemesidir. Ayrıca beton donatıları, kompozitler ve kimyasal katkıları yardımıyla sahip olduğu temel özellikleri geliştirilebilir.

Günümüzde beton birçok alanda kullanıma sahiptir. Betonun sahip olduğu mukavemet, sağladığı enerji tasarrufu, kullanılabilirlik ve sürdürülebilirlik kullanıldığı alanların sayısını arttırmaktadır. Ayrıca geliştirilebilir olması en büyük avantajlarından birisidir.

2.1.1 Beton Bileşenleri ve Türleri

Beton sahip olduğu pozitif özelliklerini, içerisinde bulunan hammaddeler ve katkı malzemelerine borçludur. Bu malzemeler su gibi ana hammaddelerden, beton akışkan artırıcı kimyasallara kadar çeşitlendirilebilir. Her bir eklentinin farklı bir amacı ve özelliği mevcuttur. Ayrıca karışım oranları da bu özelliklere etki etmektedir.

2.1.1.1 Bağlayıcı Bileşenler

Yapı malzemeleri tek başlarına birleşerek bir homojen makro yapı oluşturamazlar. Bu şekilde bir makro yapının oluşabilmesi için belirli bağlayıcı maddeler belirli oranlarda kullanılmaktadır.

- **Puzolanlar**

Kendi başlarına bağlayıcı özelliği düşük olan, kalsiyum hidroksit (CaOH) ile birleşerek bağlayıcı özellik kazanabilen silikat ve alümina içeren bir yapı malzemesidir. Kül, tüf, silis dumanı, pişmiş kil, pirinç kabuğu külü puzolanlara birkaç örnek olarak verilebilir (Erdoğan ve Erdoğan 2007).

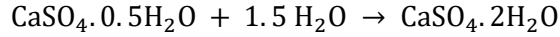
- **Alçı taşı**

Alçı taşı, kalsiyum sülfat iki hidrat olan doğal jipsin 200°C'ye kadar ısıtılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Standartlarda alçı dört ayrı grupta toplanmıştır. Bunlar; adi alçı (AA), katkılı adi alçı (KAA), susuz alçı (SA) ve katkılı susuz alçı (KSA) olarak sınıflandırılır. İnşaat sektöründe tavan plakları, duvar ve alçıpan panel vb. birçok şekilde kullanılmaktadır. Suya dayanıklı olmadığı için tam olarak bağlayıcı malzeme sayılmaz. Genellikle cam elyaf ve diğer elyaflar ile kompozit haline getirilerek kullanımını yüksektir (Gürdal ve Acun 2003). Alçının üretim aşamaları şu şekildedir:

Toz Alçı:



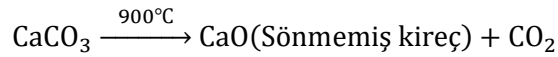
Sertleşme:



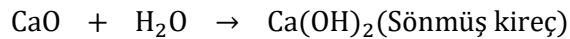
- **Kireç**

Kireç, betonda çimentonun donması için ihtiyaç duyduğu suyu koruması nedeniyle betonun priz süresinin düzenlenmesinde kullanılmaktadır. Kendi başına kullanıldığında mukavemetinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle genellikle badana ve sıva işlemlerinde kullanılmaktadır. Kireç üretim adımları aşağıdaki gibidir:

Yakma İşlemi:



Söndürme İşlemi:



Sertleşme:



- **Çimento**

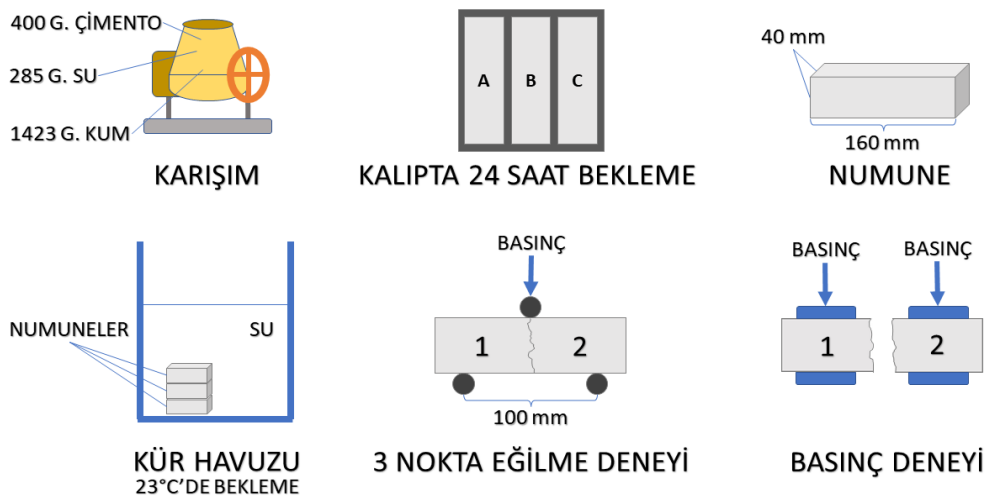
Su ile birleşerek kendiliğinden katılaştıran hidrolitik bir bağlayıcıdır. Katılma süreci tamamlandıktan sonra su ile bozulmaya uğramaz. Bu nedenle yapı malzemelerinin ana bileşeni olarak dile getirilebilir. Çimento, kullanım oranları ve katkı malzemeleri ile çeşitlendirilerek birçok türde elde edilebilir. En yaygını ve bilineni Portland Çimentosu'dur. Portland çimentosu inşaat sektöründe büyük bir kullanım alanına sahiptir.

Çimentonun Özellikleri

Çimento kullanılacağı alanlara göre bazı özelliklere ve yapıya sahip olarak üretilebilir. Çimento ve betonun istenilen özelliklerde olabilmesi amacıyla dikkat edilmesi gereken birçok etken mevcuttur.

1. Hidratasyon: Su ile çimentonun reaksiyonu sonucu çimentoda bulunan karmaoksitlerin kristal bir yapı oluşturarak prizlenmesine hidratasyon denir. Betonda prizlenme sürecinin başlamasından kısmen bitişine kadar süren bir süreçtir. Bu reaksiyon sonucu betonda silikatlar ve alüminatlar oluşur.
2. Kıvam: Betonda hidratasyonun gerçekleşebilmesi için su/çimento oranına bağlıdır. Kıvam, betonun işlenebilirliğinin bir göstergesidir. Ayrıca yeni hazırlanmış betonun karışma, yerine yerleşme ve sıkışma özelliklerini etkileyen bir kavramdır (Yetkin ve Çavdar 2003). Kıvam m³'e eklenen su miktarı olarak tanımlanabilir. Su miktarının artması mukavemetin düşmesine sebep olur. Kıvam "Vicat Aleti" olarak adlandırılan cihaz ile ölçülür.
3. Hidratasyon Isısı: Betonun katılması hidratasyona bağlı bir süreçtir. Hidratasyon ekzotermik (ısı veren) bir olaydır. Bu nedenle hidratasyon tepkimesi boyunca çimentonun iç sıcaklığı artmaktadır. Sertleşme süreci başladığında ise bu sıcaklık azalarak betonda büzülme, çatlama meydana getirebilmektedir. Bu sıcaklık değişimleri ile meydana gelen çatlaklar termik rötre olarak adlandırılır.
4. Hacim Değişimi: Betonun hidratasyon ve prizlenme süreçlerinde meydana gelen büzülme veya genleşmesi sonucunda oluşan hacim değişiklikleri olarak özetlenebilir. Bu etkiler çimentoda bulunan karma oksitlerin fazla oranda olması ile ortaya çıkmaktadır. Hacim değişimi "Le Chatelier Aleti" ile ölçülür.

5. Priz: Çimento ve su karıştırıldığında sıvı hamurumsu bir yapı oluşturur. Zamanla bu hamurumsu yapı sertleşerek yerini şekil almış ve sertleşmiş bir yapıya bırakır. Çimento hamurunun sıvı halden sert katı bir hale geçiş yapmasına “prizlenme” denir. Prizlenmenin başlangıcından son bulmasına kadar geçen bu süreç ise “prizlenme süresi” olarak adlandırılır. Prizlenme ile çimento hamuru plastik yapısını kaybederek sert bir yapıya bürünür. Prizlenme; sıcaklık, karışımdaki su oranı ve çimentonun bekleme süresi gibi etkenlerden etkilenmektedir. Sıcaklığın artması priz süresini kısaltırken, bileşime yüksek oranda su katılması ise priz süresini uzatır. Prizlenme kontrollü yapılmalıdır.
6. Mekanik Mukavemet: *RILEM-CEMBUREAU(TS819)* standardına göre betonlarda mukavemet ölçümü, 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplarda 0.5 birim su, 1 birim çimento ve 3 birim kum ile hazırlanan beton numunelerinin, 28 günlük süreyle 23°C suda bekletildikten sonra üç noktalı beton eğilme deneyine tabi tutulması ardından kırılan iki parçanın da beton basınç dayanımı deneyine tabi tutulması ile yapılır (Şekil 2.1).
7. İncelik Modülü: İncelik modülü çimentonun tanecik boyutlarına bağlıdır. Tanecik boyutu ne kadar büyükse çimento su ile o kadar az tepkimeye girerek mukavemete o kadar az etki eder. Ancak tanecik boyutu küçüldükçe su ile tepkimeye giren çimento miktarı artacağından dolayı mukavemete etkisi pozitif anlamda büyük olacaktır.



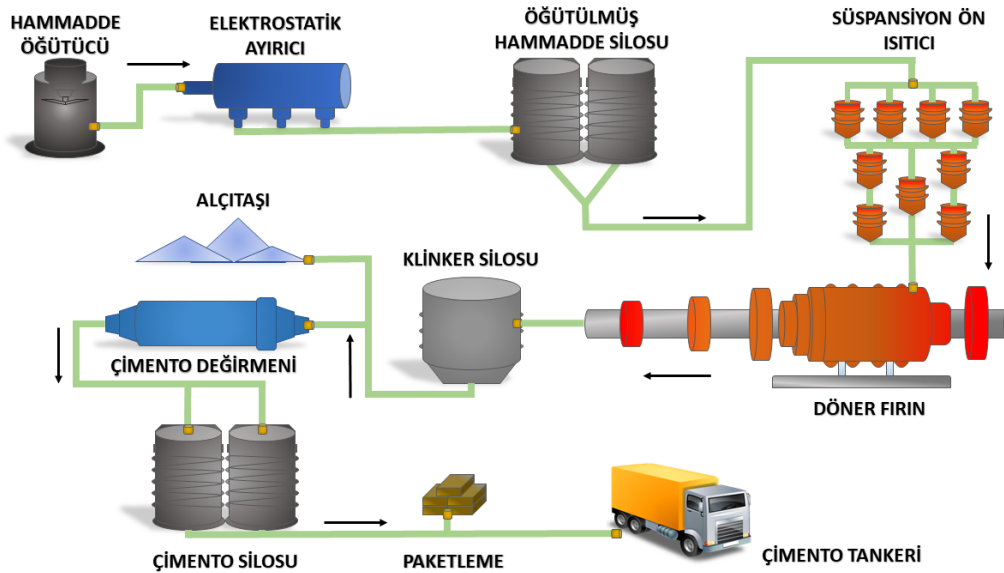
Şekil 2.1: Mekanik mukavemet deneyi.

Çimento Türleri

Çimentolar amaçlarına göre ve bileşimlerindeki maddelerin çeşitliliğine göre türlere ayrılır. Ayrıca bu çimentolara eklenen puzolan katkısı ile katkıli portland çimentoları elde edilir (Şekil 2.2). Standartlara göre portland çimentolarını 5 grupta inceleyebiliriz. Bunlar CEM I, II, III, IV ve V olarak numaralandırılmıştır (Aydoğan 2021).

Portland Çimentosu (CEM I)

Portland çimentosu, kireçtaşı, kil veya şeyl karışımının yakılması ve öğütülmesiyle üretilen, genellikle gri olan, ince öğütülmüş bir toz biçimindeki bağlayıcı malzemedir (Britannica 2021). Bileşiminde birkaç farklı karmaoksit ihtiva edebilir. Portland çimentosunun bileşimini çoğunlukla CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oluşturmaktadır. Bunların haricinde türüne göre K_2O , Na_2O gibi alkali oksitler veya MgO , SO_3 bulunabilmektedir (Kapkaç 2013). Karma oksitler, betona mukavemet kazandırır. Su ile tepkimeye girerek kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) bileşimlerinin oluşmasını sağlar ve betonun kimyasal etkilerle dayanımını artırır.



Şekil 2.2: Portland çimentosu üretim süreci.

Portland çimentosu Türk standartlarına göre CEM I olarak sınıflandırılmıştır. İnşaat sektöründe kullanılan çimentoların büyük çoğunluğunun portland çimentosu

olduğu bilindir. Mukavemetleri, incelik modülü ve C_3S ve C_3A miktarlarına göre değişmektedir. Portland çimentolarının dayanımlarına göre türleri aşağıdaki gibidir.

- 32.5 N,
- 32.5 R,
- 42.5 N,
- 42.5 R,
- 52.5 N ve
- 52.5 R.

Portland Kompoze Çimento (CEM II)

CEM II portland çimentoları, içeriğinde bulunan klinker haricinde birçok katkı maddesi içerebilir. Bu çimentolar bu katkı maddelerine göre adlandırılır.

1. Portland Cürufllu Çimento: Çimentoya klinker haricinde yüksek fırın cürufu eklenmesi ile elde edilen çimento türüdür.
2. Portland-Puzolanlı Çimento: Çimentoya klinker ile doğal ve kalsine edilmiş puzolan eklenmesi ile elde edilir.
3. Portland-Silis Dumanlı Çimento: Çimentoya klinker ile silis dumanı eklendiğinde elde edilen çimento türüdür.
4. Portland Pişmiş Şistli Çimento: Pişmiş şeyl ile klinker içeren çimento türleri bu başlık altında toplanabilir.
5. Portland-Uçucu Külü Çimento: Çimento bileşiminde klinker haricinde kireçli veya silisli uçucu kül içeren çimento türüdür.
6. Portland Kompoze Çimento: Çimentonun klinkeri haricinde içerisine farklı oranlarda puzolan, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, kalker, silis ve şeyl eklenerek karıştırılan çimento türlerine portland kompoze çimento denir.

Yüksek Fırın Cürufllu Çimentosu (CEM III)

Bileşimindeki fırın cürufu oranı klinkere oranla yüzde olarak daha yüksektir. CEM II'deki fırın cürufllu çimentodan ana farkı budur. CEM II–fırın cürufllu çimentoda klinker oranı fırın cürufuna oranla yüzde olarak daha fazladır. Çoğunlukla tuzlu suya ve zararlı suya maruz kalan betonlarda kullanılmaktadır.

Puzolanlı Çimento (CEM IV)

Puzolanlı çimentolara, priz süresinin ayarlanması amacıyla klinker ve puzolan eklentisi haricinde ekstradan alçı taşı eklenerek öğütülür. Bu çimento türü kendi arasında puzolan miktarına göre ikiye ayrılır.

- A Grubu: Kütlece %11-35 arasında puzolan içeren çimentolardır,
- B Grubu: Kütlece %36-55 arasında puzolan içeren çimentolardır.

Kompoze Çimento (CEM V)

Klinkere ek olarak fırın cürufu, puzolan ve az miktarda alçı taşı eklenerek öğütülen çimento türlerine verilen addır. Hidratasyon ısılarının düşük olması nedeniyle kompoze çimentolar, genel olarak yüksek kütleli betonların üretiminde tercih edilmektedir.

2.1.2 Betonun Kullanım Alanları

- **Baraj İnşasında Kullanım**

Barajlar, içerisinde bulundurduğu yüksek miktarlardaki su sebebiyle çok yüksek miktarda basınç ve aşındırma uygular. Sahip olduğu ağırlık ve yüksek mukavemet betonun, baraj gibi hidrolik yapılarda kullanımını arttırmıştır.

- **Havaalanı ve Liman Kaplamalarında Kullanım**

Havaalanları ve ticari limanlarda aşırı yük, yüksek tesirli çarpmalar, sürtünme veya ısıya bağlı etkenler ve dalgaların sebep olduğu zararlı etkenler ön plandadır. Bütün bu etkenlere dayanabilen ve uzun ömürlü kullanım sağlayan betonlarda üretilebilmektedir. Bu tarz betonlar yüksek dayanımlı betonlar olarak bilinmektedir.

- **Endüstriyel Yapılarda Zemin Malzemesi Olarak Kullanım**

Depo, hangar, üretim tesisleri ve fabrika gibi endüstriyel amaçla kullanılan sahalarda zemin birim alan başına yüksek basınçta, darbelere sürtünmelere ve kimyasal

etkenlere maruz kalmaktadır. Endüstriyel zeminlerde bu şekilde zararlı etkenlere karşı beton zeminler kullanılarak daha dayanıklı yapılar elde edilmektedir.

- **Yol Yapımında ve Yol Kaplamalarında Kullanım**

Araçların sıkça kullandığı yollar ağır yük taşıma ve sürekli sürtünme nedeniyle çekme, aşınma ve basınç dayanımına ihtiyaç duyar. Betonun çekme, aşınma ve basınç mukavemeti oldukça yüksektir. Bu nedenle araçların kullandığı yollarda da beton kullanımı yüksektir.

- **Betonarme Altyapı Malzemelerinde Kullanım**

Beton sağladığı sızdırmazlık, kimyasal etkenlere karşı dayanıklılık, mukavemet ve uzun ömür gibi özellikleri sayesinde kanalizasyon, logar inşası, atık depoları ve betonarme borularının üretiminde kullanılmaktadır.

- **Konutlarda ve Ticari Yapılarda Kullanım**

Yerleşik hayata geçilmesinden bu yana konut inşası birçok gelişmeye şahit olmuştur. Başlarda dal ve yaprakların balçık yardımıyla birleştirilmesiyle inşa edilen küçük sığınaklar, teknolojinin gelişmesiyle yerini beton ile yapılan yüksek yapılara bırakmıştır. Beton sağladığı ısı yalıtımı, dayanıklılık ve güvenlik sayesinde konut inşasının vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir.

2.2 Tekstil

Tekstiller, doğal, sentetik veya bunların bir kombinasyonu olan liflerden, ince ipliklerden veya filamentlerden yapılan malzemelerini ifade eder. Tekstiller, bu ipliklerin belirli desenlerde birbirine kenetlenmesiyle oluşturulur ve sonuçta bir kumaş uzunluğu elde edilir.

Lifler, iplik haline getirilir ve daha sonra dokuma, örme, keçeleme gibi farklı yöntemlerle kumaş haline getirilerek bir giysinin yapı taşı oluşturur. Kullanılan elyafın tipi, ipliğin ölçüsü, büküm, dokuma türü, nasıl işlendiği ve bittiği gibi elyafın pek çok özelliği nihai ürünü belirler (Sarına 2017).

2.2.1 Liflerin Kaynakları ve Türleri

Belirli oranda boy ve çapa sahip eğirme ve büküm işlemlerinde kullanılan, tekstilin en küçük yapı taşına “lif” adı verilir. Lifler kimyasal kökenlerine göre doğal ve kimyasal (yapay) olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.1.1 Doğal Lifler

Doğal lifler doğada lif halinde bulunurlar. Doğal lifler bitkilerden, hayvanlardan ve doğadan toplanarak mineral formunda elde edilen lifleri içerir.

Bitkilerden elde edilen lifler selüloz kökenli olarak sınıflandırılır ve bitkinin kaynağına göre çeşitlendirilebilir. Bitkilerin yapraklarından, gövde kısımlarından ve tohumlarından elde edilebilirler.

Hayvansal kaynaklardan elde edilen lifler ise protein kökenli lifler olarak sınıflandırılır. Hayvanlardan direkt olarak elde edilebilir veya hayvanların oluşturduğu koza veya ağlardan üretilebilirler.

Mineral(madensel) lifler ise doğada bulunan minerallerin işlenmesi ile elde edilen lif türleridir. Genel olarak topraktan veya volkanik bölgelerden çıkarılarak elde edilebilir.

Doğal lifler, ipek lifi haricinde, kısa ve kesikli lifler olarak elde edilir. Çünkü ipek sürekli filamenttir. İpek lifinin ortalama uzunluğu 700-1200 metre arasında değişmektedir (T for textile 2017).

2.2.1.1.1 Selüloz Kökenli Lifler

Selüloz kökenli lifler, sak, yaprak ve tohum-kıl liflerini içerir. Keten, kenevir, jüt ve rami içeren sak lifleri bitkinin gövdesinde bulunur. Manila ve sisal, bitkinin yapraklarının sıyırılması ile elde edilen yaprak liflerinde mevcuttur. Pamuk ve kapok ise tohumlardan toplanan tohum-kıl liflerinde bulunurlar.

a) Keten

Keten kumaş üretimi için kullanılan keten bitkisinin sak lifidir. Bitkiler belirli bir düzene göre üretilir. Bitkilerin gövdeleri uzun ve ince olmalıdır. Bitkiler olgunluğa ulaştığında işlenmek üzere topraktan ayrılır. Bitkinin sap kısmı (lifsiz kısım) çürüme sürecinde çürür. Geriye kalan lifli kısım yıkanır ve kurutulur. Elyafın tamamen ayrışması için “Kazıma” işlemi uygulanır. Kazıma işleminin ardından “Hackling” işlemi uygulanarak uzun ve kısa lifler birbirinden ayrılır. Bu işlemlerden sonra eğirme ve S-büküm işlemleri uygulanarak keten ipliği elde edilir.

b) Kenevir

“*Cannabis Sativa*” bitkisinden elde edilen dayanıklı ve kaba bir sak lifidir. Keten gibi işlenebilir. Sicim, kord ve ip üretimlerinde kullanımı gözlenir.

c) Jüt

“*Corchorus Olitorius L.*” bitkisinin köklerinden elde edilen ve keten ile aynı şekilde işlenebilen bir sak lifidir. Torbalama, çuval bezi, sicim ve püsküllü halılarda kullanılır.

d) Rami

Rami bitkisinin (*Boehmeria Nivea*) sapından elde edilen bir sak lifidir. Bitki olgunluğa erişmesinin ardından yılda birkaç kez kesilebilen bir çalıdır. Bitkinin sapsarı kesildikten sonra odunsu kısımların ayrıştırılması için soyulur ve çürümeye bırakılır. “Degumming” işlemi ile pektinlerinden ve balmumundan arındırılır. Ardından ağartma, nötralize etme, yıkama ve kurutma işlemleri yapılır. Elde edilen lif ketene benzer bir yapıdadır. Fakat ketene göre daha kırılıgandır. Rami tek başına ya da diğer lifler (özellikle pamuk) ile eğirme işlemine tabi tutulabilir.

e) Manila

Abaka bitkisinin (*Musa Textilis*) yapraklarının sapsarından elde edilen bir lif türüdür. Sap kısmının etli kısmından lifler ayrılır. Kurutulur ve yıkanır. Daha sonra çırpma işlemi ile demetlerine ayrılır. Parlak ve sağlam bir lif elde edilir. Manila, su

emciliği nedeniyle genellikle gemicilikte yelken bezi ve halatları yapımında kullanılır.

f) Sisal

Sert koşulları seven ve kenevire benzeyen “*Agave Sisalana*” bitkisinin yapraklarından elde edilen bir lif türüdür. Bitki olgunluğa eriştiğinde yaprakları kesilir ve lifler yaprağın etli kısmından ayrılır. Dokumada ve gemicilikte kullanımı yaygındır.

g) Pamuk

“*Malvaceae*” familyasının “*Gossypium*” cinsi pamuk bitkisinin tohumundan elde edilen pamuk, neredeyse tamamen saf selülozik bir yapıya sahip olan kabarık bir lif türüdür. Pamuk, kimyasal formülü $(C_6H_{10}O_5)_n$ olarak temsil edilen bir polisakkarit veya polimer şekerdir. Dayanıklılığı, konforu, ısı direnci ve yalıtımı gibi özellikleri sayesinde tekstil sektörünün vazgeçilmez hammaddesidir.

h) Kapok

Java Kapok ağacının (*Ceiba Pentandra*) tohum kabuklarından elde edilen bir liftir. Tohumun kabuğu pamuk kozasına benzemektedir. Kurutulmuş lifler tohumdan silkelenerek kolaylıkla ayrılabilir. Kapok lifleri suda ıslanmaz. Ayrıca nem ve su çekme özellikleri yoktur. Bu nedenle su yüzeyinde çok iyi yüzer. Sahip olduğu bu özellik sayesinde can yeleklerinde kullanılır. İplik halinde büküm işlemi yapılamaz (T for textile 2017).

2.2.1.1.2 Protein Kökenli Lifler

Hayvan kılı lifleri, protein kökenli liflerin en bilinenleri arasındadır. Hayvan kılı lifleri 2.5 ila 10 inç arasında uzunluğa sahip olabilir. İpek, ipek böceği tarafından üretilen sürekli filament liftir. İpek lifi, doğal bir protein lifidir. Uzunluğu 700 metre üzerinde olabilir (T for textile 2017).

a) Yün

Yün koyunların kıllarından elde edilen bir lif türüdür. İnce yapılı bir liftir. Ankara keçisi, Kaşmir keçisi, deve, alpaka, lama ve vikunya gibi yapağı hayvanlarından elde edilen lifler bu başlık altında toplanır.

Yün, yapağı hayvanlarının derilerinden kırılarak veya kesimden sonra derilerinden çekilerek elde edilir. Kırma yöntemi, deriden çekme yöntemine göre daha iyi sonuç verir. Ayrıca “bakire yün” adı verilen bir yün türü de vardır. Bu yün türü, 8 aylıktan küçük olan yapağı hayvanlarının ilk kez kırılması sonucuyla elde edilen bir yün türüdür. En değerli yün olarak değerlendirilir (T for textile 2017).

- Alpaka Yünü

Alpakalar, Güney Amerika kökenli develerin akrabası olarak bilinir. Bu hayvanlardan kırılan yün uzun, ince lifli bir yapıdadır. Her iki yılda bir hayvandan kırılarak elde edilir. İnce astar tekstilinde kullanılır.

- Angora Yünü

Ankara tavşanında elde edilen uzun, ince saç lifi olarak bilinir. Ankara keçisinden elde edilen tiftik ile karıştırılmamalıdır. Her üç ayda bir tavşanın kürkü kırılır. Tekstil sektöründe elbiselik kumaş, bebekler için kıyafet, eldiven, fötr şapka ve örgü ipliği olarak kullanılır.

Baktriya devesinden, deve tüyü elde edilir. Deve başına 2.7 kilo lif elde edilir. Kaba dış kıllar boya fırçası ve giyim dışı alanlarda kullanılır, alt kıllar ise tekstilde kullanılır.

- Kaşmir Yünü

Kaşmir keçisinden elde edilen zayıf ve ince bir liftir. Hayvanın taranması ile hasat edilir. Tek bir keçiden yılda sadece 114 g lif elde edilir. Bu nedenle kaşmir yünü çok değerli ve lüks bir lif türüdür. Halı ve kazak harici kışlık tekstil alanında kullanılır.

- Tiftik Yünü

Ankara keçisinden hasat edilen tiftik lifleri hayvanın, yılda 2 kez kırılması ile elde edilir. Uzun, düz ve ince yapılı bir lif türüdür. Kışlık tekstil alanında ve alev dayanıklılığı sayesinde dekorasyon kumaşı olarak kullanılır.

- **Vikunya Yünü**

Vikunya, lama benzeri küçük bir hayvandan elde edilen kıl lifidir. Bu lif yapığı hayvanlarından elde edilen lifler arasındaki en yumuşak lifdir. Yılda 2 kez hasat edilen hayvandan 250 g lif elde edilir. Bu nedenle bu lif türü de lükse girmektedir. Çoğunlukla giyim sektöründe kullanılır (T for textile 2017).

b) İpek

İpek böceklerinin larvalarının, bir koza oluşturmak amacıyla salgıladığı protein bazlı filamentler ipek olarak adlandırılır. İşleme esnasında ipekte bulunan “serisin” proteini çıkarılır, “fibroin” proteini ise bırakılır. Çok kontrollü çevre koşulları ve diyet koşulları ile üretilir. İpek tek filament halinde hasat edilir. Bu nedenle uzun yapılı ve dayanıklı bir lif türüdür. Yabani ipek yaban ipek böceğinden elde edilir. Tekstilde halı, kumaş ve giyim sektöründe kullanılmaktadır (T for textile 2017).

2.2.1.1.3 Mineral (madensel) Lifler

Doğada maden olarak bulunan organik olmayan lif türleridir. Bu lifler çeşitli işlemlerden geçerek lif haline getirilir.

a) Kaya Lifleri (Asbest)

“Serpantin (yılan taşı)” ve “Hornblend” adı verilen kaya türlerinden elde edilir. Kayaların içerisinde enine veya boyuna damarlar halinde bulunan bir lif türüdür. Bu damarlar kayadan belirli işlemler sonucunda ayrılır ve işlenerek lif haline getirilir. Dayanıklılığı yüksektir. Fakat elastikiyeti düşüktür. Pürüzsüz bir yüzeye sahiptir.

Kanserojen bir madde olduğu keşfedildiğinde kullanımı sınırlandırılmıştır. Ateşe ve asitlerin etkilerine karşı dayanıklı olması nedeniyle döküm ve kimya fabrikalarında çalışanların kullandığı koruyucu giysilerde kullanılmaktadır.

b) Bazalt Lifleri

Gezegemimizin volkanik bölümlerinde ve okyanus tabanlarında bulunan, magmatik bir kayaç türü olan bazalt kayasının gerekli işlemlerle işlenmesi sonucunda üretilen liflere “bazalt lifleri” adı verilir. Çoğunlukla plajiyoklaz, piroksen ve olivin minerallerinden oluşur. Bazalt kayacı, yıkama ve ezilme işlemlerinden sonra 1500°C’de eritilir. Daha sonra erimiş kaya, sürekli bazalt lifi üretmek için çok küçük deliklerden püskürtülür. Cam lifi üretimine göre daha çevreci bir üretim prosesine sahiptir.

Cam ve karbon lifleriyle benzer karakteristik özelliklere sahiptir. Bazı özellikleri bakımından cam liflerinden üstün olmakla beraber karbon liflerine göre çok ucuzdur. Bazalt kayacı yeryüzü katmanının üçte birini oluşturduğu için birçok alanda alternatif olarak kullanılabilir. Bazalt lifler; otomotiv ve havacılık endüstrisinde, ateşe dayanıklı tekstil ürünlerinde ve inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılır.

2.2.1.2 Kimyasal (Yapay) Lifler

Liflerin ana maddesi polimerlerdir. Lif polimerleri, kimyasal maddeler kullanılarak veya doğal kaynakların işlenmesi sonucu polimer bileşikleri olarak elde edilebilir. Oluşan bu yapılar kimyasal (yapay) lif adını alırlar.

Yapay lifler suni (rejenere) ve sentetik olarak iki başlık altında incelenebilir. Yapay lifler kuru çekme, yaş çekme ve eriyik çekme yöntemleri ile sağlanmaktadır.

2.2.1.2.1 Suni (Rejenere) Lifler

Bitki liflerinin selüloz bölgelerinin kimyasallarda çözülerek tekrar bir lif haline getirilmesiyle “suni (rejenere) lifler” üretilir. Başlangıç maddesi olarak selüloz veya protein kullanılır (Tekstil sayfası 2010, Rejenere (Suni) Lifler Tanımı, Sınıflandırılması ve Elde Edilme Yöntemleri).

a) Selüloz Esaslı Lifler

Temel doğal polimer olarak selülozun kullanıldığı lif türleri bu başlık altında toplanır. Rejenere selülozik elyaf adı da verilebilir. En kaliteli selülozik lif linterden elde edilir. Selülozik liflerin en önemlileri şöyle sıralanabilir:

- Viskoz lifleri,
- Modal lifleri,
- Asetat lifleri,
- Triasetat lifleri,
- High Wet Modulus Rayonu (HWM),
- Nitrat lifleri,
- Bakır rayonu.

Modifiyeli viskoz ve viskoz liflerinin üretimi günümüzde çok önemli bir yere sahiptir. Viskozlar, filament halinde ve şapnel halinde üretilmektedir. Triasetat ve asetat lifleri su itici özelliğe sahiptir. Selüloz kaynakları linter ve ağaç selülozudur. Nitrat lifleri ve bakır rayonları günümüzde kullanılmamaktadır.

b) Protein Esaslı Lifler

Doğal protein maddelerinin hammaddesinden ayrılan proteinin, işlemlere tabi tutularak bir filament haline getirilmesiyle elde edilen lif türlerine “protein esaslı lifler” denir. Hammadde olarak hayvansal protein ve bitkisel protein kullanılmaktadır.

Bitkisel Proteinli Suni Lifler

- Soya Fasulyesi (Silkool)

Soya fasulyesi, yağı ayrıldıktan sonra gerekli işlemler sonucunda kıvrımlı bir elyafa dönüştürülür. Soya fasulyesi %30-35 oranlarında bitkisel kökenli protein içerir. Üst giyim amacıyla üretilen kumaşların üretiminde kullanılır.

- Yer Fıstığı Lifleri (Ardil)

Yer fıstığı, yağı alındıktan sonra proteini gerekli işlemlerle işlenerek filament haline getirilir. Esnek ve kıvrımlı bir yapıya sahip olması nedeniyle yünle benzerlik gösterir. Üst giyim amacıyla üretilen kumaşların yapımında kullanılır.

- Zein (Vicara)

Zein mısırın yapısında bulunan bir proteinin ismidir. Bitkiden sarı toz halinde ayrıştırılır. Gerekli işlemler ile filament ya da şapel halinde üretilebilir. Bebek giysileri, triko, jarse ve battaniye üretiminde kullanılır.

Hayvansal Proteinli Suni Lifler

- Kazein

Kazein yağsız süttten üretilen bir hayvansal protein elyafıdır. Kimyasal yöntemlerle süttten ayrılan proteinli yapının, yaş çekim yöntemiyle filament haline getirilmesiyle elde edilir. Şişme ve esneklik özellikleri yüksektir. Suyu dayanıklılığı düşüktür. Bu nedenle kullanım alanı azdır. Trikotaj kumaşı yapımında kullanılır (Tekstil sayfası 2010, Rejenere (Sunı) Lifler Tanımı, Sınıflandırılması ve Elde Edilme Yöntemleri).

2.2.1.2.2 Sentetik Lifler

Elyafın temel maddesi olan polimerlerin, kimyasal maddeler kullanılarak sentezlenmesi ile elde edilen liflere sentetik lif adı verilir. Sentezlenen polimerler tekstilde kimyasal lif çekim yöntemine tabi tutularak lif haline getirilir. Üç farklı elde etme yöntemi mevcuttur.

Bunlar;

- Kuru eğirme,
- Yumuşak eğirme,
- Yaş eğirmedir.

a) Poliamid Lifleri (Naylon PA)

İlk üretilen sentetik lif olarak bilinir. En çok kullanılan türleri Naylon 6.6 ve Naylon 6'dır.

Naylon 6.6 adipik asit ve heksametilen diaminden üretilir. Bu iki maddenin 6'şar karbonu bulunmaktadır. Giyim, döşemelik kumaşlar ve endüstriyel kullanım gibi birçok alanda kullanılabilir.

Naylon 6 ise 6 karbonlu aminokaproik asitten üretilir. Erime noktası ve yumuşaklık bakımından naylon 6.6'ya göre biraz daha farklıdır. Kullanım alanları naylon 6.6'ya göre biraz farklılık gösterebilir. Genel kullanım alanları giyim, endüstriyel tekstil ve ev tekstilidir.

- **Aramid**

Aramid poliamid sınıfına giren sentetik bir lifdir. Yüksek ısılara dayanıklıdır. "Aramid" adı, "aromatik poliamid" kelimelerinin bir birleşimi sonucu elde edilmiştir. Aramid diğer naylonlara göre çok daha dayanıklı ve yüksek özelliklere sahip bir naylon türüdür. Yüksek elastisite modülüne sahiptir. Bu özelliği sayesinde beton katkı malzemesi olarak kullanımı yaygındır. Ayrıca uzay gereçleri, balistik araştırmalar, kurşun geçirmez giysiler ve bisiklet tekerlerinde kullanımı yaygındır. Dezavantajı ise diğer türlere oranla oldukça maliyetli olmasıdır (Wikipedia 2021, Aramid).

b) Polyester Lifleri (PES)

Günümüzde oldukça fazla yaygın kullanım alanına sahip bir sentetik lif türüdür. Laboratuvarlarda geliştirilen polyesterler, bir asit ve bir alkolün kimyasal reaksiyonu sonucu oluşur. Bu reaksiyon sonucunda iki veya daha fazla molekül birleşerek uzun bir yapı oluşturur. Üç gruba ayrılabilir, bunlar; modifiye polyester lifleri, PET lifleri (polietilen tetra ftalat) ve PCDT lifleridir.

Polyesterler birçok farklı boyda üretilebilir. Filament halinde üretilebileceği gibi kesikli formda da üretilebilir. Ev tekstili, giyim ve endüstriyel alanlarda çokça kullanılır.

c) Polivinil Lifleri

Poliakrilonitril lifleri (PAN), akrilik lifler, modakrilik lifleri ve diğer polivinil lifler gibi başlıklar altında gruplandırılabilir.

- **Akrilik Lifler**

Akrilonitril polimerleri ile bazı monomerin karışımı sonucu elde edilen bir lif türüdür. Genellikle giyim ve ev tekstilinde kullanımı söz konusudur.

- **Modakrilik Lifler**

%30-85 arasında akrilonitril içeriğine sahip lif türlerine verilen addır. Güneş ışığına, ateşe ve kimyasallara karşı dayanımı iyidir. Nem çekme özelliği düşüktür.

- **Diğer Polivinil Lifleri**

Polivinilklorür Lifleri: Tuzdan elde edilen klor ve yağdan elde edilen etilenin birleştirilmesiyle oluşturulan etilen klorür monomerinin, polimerize edilerek polivinil klorür haline getirilmesiyle polivinilklorür lifleri elde edilir.

Vinilklorür kopolimerleri: %88 vinil klorür ve %12 vinil asetat bilemişine sahiptir. Bu yapıların dayanımları ve kimyasal dirençleri yüksektir. Ayrıca geç tutuşurlar. Bu nedenle özel filtreler ve ağ örgülerinde kullanımı yaygındır.

Modifiye Polivinil Klorür Lifleri: Polivinil klorürün içeriğinde bulunan klor miktarının artırılmasıyla elde edilen lif türüdür. Termoplastik bir yapıdadır. 80°C üzerinde yumuşama gösterir. Yanmaya karşı dayanıklı ve kimyasallara karşı dayanıklıdır. Tekstilde dolgu maddesi, çadır, yelken bezi ve koruyucu elbiseler gibi alanlarda kullanılır.

Poliviniliden Klorür: Viniliden klorürün kopolimerizasyon sonucu elde edilen ürünüdür. Yanmazlık derecesi iyidir.

Polivinilalkol Lifleri: Genellikle filtrelerde, balıkçılıkta kullanılan ağların yapımında spor giysilerinde kullanılır. Ayrıca betona ikincil katkı olarak katılabilir.

d) Poliolefin Lifleri

Poliolefin lifler, doymamış hidrokarbonların polimerleştirilmesi yöntemiyle elde edilir. Üç gruba ayrılır; Polietilen Lifleri, politetrafloroetilen lifleri (teflon) ve polipropilen lifleri.

- Polietilen Lifleri

Polietilen gazının polimerizasyonu ile elde edilen lif türüdür. Polipropilen liflerine benzerler fakat erime noktası ve uzama miktarı düşüktür. Bu nedenle tekstilde pek fazla kullanım alanı yoktur. Genellikle ambalaj ve plastik üretiminde kullanılır.

- Polipropilen Lifleri

Petrolden elde edilen propilen hammaddesinin, çeşitli katalizörler ile 100°C’de polimerizasyonu ile elde edilir. Giyim, ev tekstili ve endüstriyel tekstil alanlarında kullanımı yaygındır.

- Politetrafloroetilen Lifleri (Teflon)

Tetrafloroetilen gazının basınç beraberinde su ile reaksiyonu sonucu polimerleştirilmesiyle elde edilen lif türüdür. Güneşe dayanıklılığı, yanmazlık ve kimyasal direnci nedeniyle filtrelerde, tıbbi malzemelerde, nakliye bantlarında ve uzay giysilerinde kullanılmaktadır.

e) Elastomer Lifleri

Yüksek uzama oranına sahip ve koptuğu zaman hızla toparlanan bir lif çeşididir. Yüksek elastikiyetin ihtiyaç duyulduğu tekstil uygulamalarında kullanımı yaygındır. En önemlilerinden birisi poliüretan liflerdir. Poliüretan lifler, molekül zincirleri üretan gruplarının tekrarlanarak sıralanmasıyla oluşan bir elastomer lif çeşididir.

Spandex lifler, diizosiyanatın, polieterler veya polyesterler ile reaksiyonu sonucu poliüretanların çapraz bağlanmasıyla oluşan bileşiminde en az %85 oranında poliüretan bulunan elastomerik liflerdir. Kauçukla benzer özellik gösterirler. Ancak güneş ışığına, ısıya, aşınmaya, oksidasyona, yağlara ve kimyasallara karşı dirençleri kauçuğa göre yüksektir (Tekstil Sayfası 2010, Sentetik Lifler Çeşitleri, Özellikleri ve Kullanım Alanları).

2.2.1.2.3 İnorganik Lifler

Endüstriyel ve teknik tekstilde cam, seramik, metal ve karbon gibi birçok lif türü bulunmaktadır. İnorganik lifler, kendilerine has özellikleri ile birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Bu lifler özelliklerine göre farklı alanlarda ve farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Tablo 2.1’de bazı endüstride kullanılan bazı lif türlerinin tipik özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.1: Liflerin tipik özellikleri (Bentur ve Mindess 2006)

Lif Türleri	Çap (µm)	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (GPa)	Nihai Uzama (%)
Çelik	5-500	7.84	200	0.5-2.0	0.5-3.5
Cam	9-15	2.6	70-80	2-4	2-3.5
Asbest Krosidolit	0.02-0.4	3.4	196	3.5	2.0-3.0
Asbest Krizolit	0.02-0.4	2.6	164	3.1	2.0-3.0
Polipropilen	20-400	0.9-0.95	3.5-10	0.45-0.76	15-25
Aramid (Kevlar)	10-12	1.44	63-120	2.3-3.5	2-4.5
Karbon (Yüksek Dayanımlı)	8-9	1.6-1.7	230-380	2.5-4.0	0.5-1.5
Naylon	23-400	1.14	4.1-5.2	0.75-1.0	16.0-20.0
Selüloz	-	1.2	10	0.3-0.5	-
Akrilik	18	1.18	14-19.5	0.4-1.0	3
Polietilen	25-1000	0.92-0.96	5	0.08-0.60	3-100
Odun Lifi	-	1.5	71.0	0.9	-
Sisal Lifi	10-50	1.5	-	0.8	3.0
Çimento Matrisi (Karşılaştırma için)	-	1.5-2.5	10-45	0.003-0.007	0.02

a) Cam Lifleri

Kum, kil, kireçtaşı, soda, borik asit ve birçok metal oksitlerinin birlikte bir karışım halinde yaklaşık 1500-1600°C’deki fırınlarda eritildikten sonra sıcakken 0.75-2 mm arasında değişen deliklerden hızlı bir şekilde çekilerek soğutulmasıyla 3-35 µm çapında cam lifleri elde edilir. Soğutma esnasında lifler çeşitli kimyasal koruyucu ve bağlayıcılar ile kaplanır. Bunun amacı liflerin sürtünme sonucu hasar görmesini engellemek ve reçine ile kaplama işlemini kolaylaştırmaktır. Bazı cam elyaf liflerinin özellikleri Tablo 2.2’deki gibidir.

Tablo 2.2: Bazı cam lif türlerinin tipik özellikleri (Chawla 2016)

Cam Lif Tipi	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2.54	1.7-3.5	69-72
S	2.48	2.0-4.5	85
C	2.48	1.7-2.8	70
Cem-fil	2.70	-	80

Lifler hazırlandıktan sonra birçok lifin birleştirilmesi sonucunda cam elyafı elde edilir. En büyük özellikleri yanmamasıdır. Bu nedenle dekorasyon alanında ve toplu taşımalarda perde, dekor, koltuk gibi eşyalarda kullanılır. Kolaylıkla su ile temizlenebilir, çekme yapmaz, leke tutmaz ve güve ve bakterilerinden etkilenmezler. Ayrıca elektriği iletmez.

Öte yandan yüksek mukavemet, yorulma dayanımı, balistik koruma avantajları gibi özellikleri sayesinde cam lifleri, deniz mühendisliğinde, gemi mühendisliğinde, savunma sanayiinde ve alkali dayanımlı versiyonları ise beton endüstrisinde beton katkı malzemesi olarak kullanım alanı bulmuştur (Üsküdar.biz 2013)

b) Seramik Lifleri

Temel olarak silika, zirkonyum ve alümina malzemelerinin yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması sonucu elde edilen ve kırılma bir yapıda olması nedeniyle genellikle yalıtım malzemesi ve kompozit destek materyali olarak kullanımı yaygın olan bir lif türüdür. Yüksek elastiklik modülü ve basınç dayanımına sahip olması yüksek sıcaklıklarda işlenebilmesine olanak sağlar. Bu özelliği sayesinde birçok kompozit malzemede destek materyali olarak kullanılabilir (Tekstil sayfası 2010, Seramik Lifi Nedir, Seramik Lifi Özellikleri).

Seramik liflerin en önemli özelliği, birçok seramik lifi türünün yüksek ısılara karşı dayanıklı olmasıdır. Bu özellikleri sayesinde diğer birçok organik lif türlerinden üstün özellik gösterirler. Fiziksel ve kimyasal özelliklerini 1300-1400°C'ye kadar koruyabilir. Oksidasyona karşı direnci oldukça yüksektir. Derişik asit ve baz ortamları haricinde kimyasal direnci yüksektir (Ravaber 2021).

c) Metalik Lifler

Metal lifleri, tekstil ürünlerinde, gözenekli ortamlarda, plastik kaplı metallerde, metal kaplı plastiklerde vb. kullanılmak amacıyla, saf metallere veya metal alaşımlarından üretilen lif türleridir. En bilindik üretim yöntemi “demet çekme” yöntemidir. Binlerce metal filament, asitte eriyen bir tüp içerisinden geçirilerek çapını azaltmak için bir kalıptan geçirilir. Kalıptan geçirilerek çapı azaltılan kompozit asitten geçirilerek kaplama tüpünün asitte çözülmesi sağlanır. Serbest kalan metal lifler istenilen uzunluğa ve çapa göre çekilir. Bu işlem, uzunlukları birkaç kilometreye varan metal liflerin üretimine olanak sağlar (Bekaert 2021).

Eski çağlarda, altın ve gümüş gibi değerli metaller dövüldükten sonra ince tabakalar halinde kesilip lif haline getirilerek halılar, süslemeler ve değerli giysiler yapımında kullanılmıştır. Günümüzde, alüminyum, titanyum, bakır, gümüş, altın ve nikel gibi metallere elde edilen metal lifleri, diğer tekstil lifleri ile kombine edilerek iplikler, şeritler, çeşitli süslemeler, mayo, triko, perdeler, döşemeler ve masa örtüleri gibi tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca yapı malzemeleri teknolojisinde kullanımları yaygınlaşmıştır. Bazı metal liflerin özellikleri Tablo 2.3’te verildiği gibidir.

Tablo 2.3: Bazı metalik liflerin tipik özellikleri (Chawla 2016)

Metal	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Erime Noktası (°C)	Termal Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Al	2.7	660	24	70	300
Be	1.8	1350	12	310	1100
Cu	8.9	1083	16	125	450
W	19.3	3410	4.5	350	2890(250µm) 3150(<125µm) 3850(<25 µm)
Mo	10.2	2625	6.0	330	2200
%0.9 Karbon Çeliği (0.1 mm çapında)	7.9	1300	11.8	210	4000
Paslanmaz Çelik (0.05 mm çapında)	7.8	1535	9.0	198	2400

Bir diğer metalik lif türü olan çelik liflerin en önemli özellikleri, yüksek çekme dayanımı gösterirken düşük uzama özelliğine sahip olmalarıdır. Çelik lifler eriyik çekim yöntemiyle veya şerit biçiminde kesilerek üretilir. Yapı malzemeleri sektöründe en çok kullanılan metal lif türüdür. Çelik liflerin sertlikleri ve bükülmeye karşı dayanımları narinlik oranı ile ifade edilir. Bu oran, metal lifin boyunun, lif çapına bölünmesiyle (l/d) elde edilir. Çelik liflerin “l/d” oranı 20-250 aralığında bulunan bir değerdir.

d) Karbon Lifleri

Karbon lifleri, çapları 10 mikrometreyi geçmeyen ve çoğunlukla karbon atomlarından oluşan lif türleridir. Yüksek sertlik, gerilme kuvveti, düşük ağırlık, kimyasallara karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmaları gibi birçok avantajları mevcuttur. Bu özellikleri sayesinde havacılık, inşaat sektörü, motor sporları gibi birçok alanda kullanımının artmasına olanak sağlamıştır. Karbon, diğeryaf türlerine oranla pahalı konumdadır.

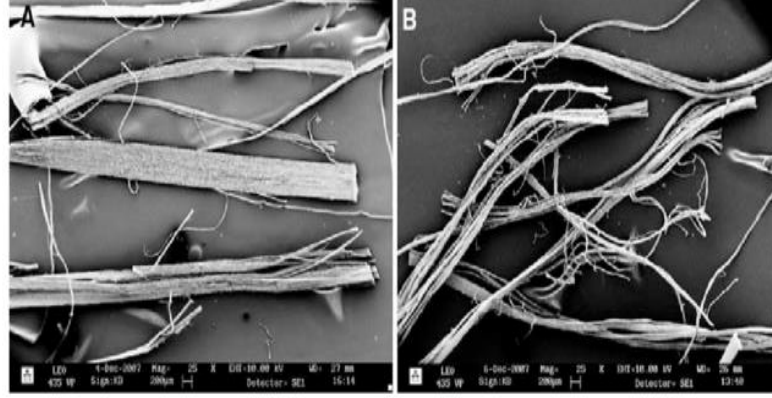
Karbon elyaflar son derece güçlü türde elyaflardır. Karbon elyafların özellikleri elik ve plastiklerle benzerlik gösterir. Mukavemet açısından çelikten kuvvetlidir. Bunun yanında plastik gibi hafif özelliğedir. Bu özellikleri sayesinde ağırlık-mukavemet ve ağırlık-sertlik oranları açısından mühendislik alanlarında sıkça avantajlı konumdadır (Bhatt ve Alka 2017).

2.2.2 Liflerin Özellikleri Etkileyen Faktörler

Tekstilde kullanılan iplik ve elyaf türlerinin kalitesi ve özellikleri birçok farklı faktör sonucu değışim gösterebilir. Yüksek kalitede ve istenen şartlara uygun ürünler elde edebilmek için liflerin özellikleri ve liflerin kalitesini etkileyen faktörlerin iyi kavranması gerekmektedir.

2.2.2.1 Hammadde Özellikleri

Elyaf üretim sektöründe, üretim maliyetinin yarısından çoğı, hammaddenin kalitesine göre değışmektedir. Bu durum elyaf üretiminde hammadde kalitesinin ne kadar önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. İyi ve kötü kalitedeki kenevir liflerinin “Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)” görüntüleri arasındaki fark Şekil 2.3’te daha iyi görülebilir.



Şekil 2.3: a) İyi ve b) kötü kalitede kısa kenevir liflerini gösteren SEM görüntüleri (Ölçek çubuğu 200 µm'ye karşılıktır.) (Wretfors ve diğ. 2009)

Kalitesiz hammadde işletmenin maliyetlerini azaltmak yerine daha çok sorun çıkartabilir ve normalden daha fazla zarara sebebiyet verebilir. Kaliteli hammadde kullanımı bir iplik üreticisi için yüksek maliyetle sonuçlanır, bu nedenle sayılı iplik üreticileri bu maliyeti karşılayabilir konumda yer alır. Bu maliyete ve karşılaşılabilecek zorluklara karşı önlem almak ve kullanılan materyalin özelliklerini iyi bilmek gerekmektedir. Çoğunlukla en uygun sonuçlar kullanılan hammaddenin diğer hammaddelere oranla avantajları sayesinde sağlanmaktadır (Klein 2008).

2.2.2.2 Liflerin İnceliği

Liflerde incelik, ipliklerin veya elyafların enine kesitlerinde ne kadar lif bulunduğunu belirlemek için kullanılan bir yöntemidir. Enine kesitte bulunan ekstra lifler, ipliğe daha iyi mukavemet ve düzgünlük katmaktadır. Eğirme yöntemleri için enine kesitte bulunan lif sayısının alt sınır değeri “100” olarak belirlenmiştir. İncelik; ipliğin mukavemeti, düzgünlüğü, eğirme sınırı ve üretim verimi başta olmak üzere birçok faktörü etkilemektedir.

Liflerde incelik çelik liflerdeki gibi çoğunlukla çapa oranla belirlenemez. Çünkü enine kesit her zaman yuvarlak değildir. Ölçümü bu nedenle kolay değildir. İncelik ipliklerde ve liflerde kütle/uzunluk oranı yardımıyla belirlenir.

$$\text{tex} = \frac{\text{Kütle (g)}}{\text{Uzunluk (km)}}$$

$$\text{dtex} = \frac{\text{Kütle (dg)}}{\text{Uzunluk (km)}}$$

Tex, bir kilometre uzunluğundaki ipliğin kaç g geldiğini ifade eder. Decitex (Dtex) ise 10000 m uzunluğundaki ipliğin g cinsinden ağırlık değeri olarak tanımlanır. Sentetik lifler için genellikle tex ve dtex ölçüm birimi kullanılmaktadır (Klein 2008).

Olgunluk, liflerin hücre çeperinin kalınlaşma derecesini ifade eden bir lif özelliğidir. Birincil ve ikincil duvar kalınlığı ölçüsü olarak özetlenebilir. Genellikle istenen oranlardan daha büyük olgunluk içeren liflerin olgunluğunu bulmak üzere birkaç test sonucunda tahmin edilir. Liflerin olgun olmaması mukavemet ve sertliğin de düşük olmasına neden olur.

Olgunluğa etki eden bazı faktörler şöyle sıralanabilir:

- 1) Hava Durumu: Bitkileri kötü etkileyecek bir hava durumu liflerin olgunluğunu da düşürür.
- 2) Toprak Çeşidi: Toprak olgunlaşmada önemli bir faktördür. Bitkinin iyi beslenmesi buna bağlıdır. Bazı ülkelerde toprak verimliliği fazla iken bazı ülkelerde ise azdır. Toprak verimliliğinin yüksek olduğu yerlerde olgunlaşmada yüksek olur.
- 3) Bitki Hastalıkları: Lif bitkileri, bitki hastalıklarına karşı korunmalıdır. Gerekli özen gösterilmediği zaman bitkiler çeşitli hastalıklar sebebiyle zarar görebilir. Bu durum liflerin de kötü etkilenecek olgunlaşmasının önüne geçer.
- 4) Zararlılar: Bitkiler için iki türde organizma mevcuttur. Bunlardan ilki bitkiyi iyi yönde etkilerken diğerleri bitkiyi kötü yönde etkiler. Bu tarz durumlarda bitkiye ve bitkiye faydalı organizmalara zarar vermemek için kullanılacak olan pestisitlerin özenle seçilmesi önemli bir konudur.
- 5) Ölü Lifler: Ölü liflerin olgunlaşmamış olması doğal bir durumdur (Textextile 2017).

2.2.2.3 Lif Uzunluğu

İncelikten sonra liflerin en önemli özelliklerinden birisi de uzunluk özelliğidir. Uzunluk, lif mukavemetinin, iplik mukavemetine çevrilmesinde önemli bir ölçüttür. Liflerin ve ipliklerin uzunlukları büküm ve eğirme performanslarına doğrudan etki

etmektedir. Genel olarak daha avantajlı olduğu için uzun lif tercih edilmektedir. Uzun liflerin işlenmesi daha kolaydır ve uzun liflerde daha az lif ucu olduğu için daha üstün düzgünlük sağlarlar. Ayrıca büküm seviyesinde kısa iplerden daha üstün bir mukavemet performansı sağlamaktadırlar. Bugün endüstride hem kısa hem uzun ip dağılımları kullanılmaktadır. Hangi değerlerle çalışılacağını önceden bilmek önemli bir husustur. Uzama, tüylülük oranı, mukavemet ve düzgünlük liflerin uzunlukları ile doğrudan ilgilidir.

Elyaf uzunluğunu ölçmek için iki ana yöntem türü vardır: esas olarak araştırma amaçları için tek bir elyafın doğrudan ölçümü ve birbirine paralel olarak düzenlenmiş bir küme veya elyaf demeti hazırlamayı içeren küme yöntemleri. Wira fiber uzunluk makinesi, doğrudan ölçüm için tasarlanmıştır. Tek lif ölçüm sürecini otomatikleştirme girişimidir ve esas olarak yün lifini ölçmek için tasarlanmıştır. Tarak ayırıcı, pamuk ve yün ölçümü için kullanılır. Kenetlenmiş tutam yöntemi, Wira elyaf diyag makinesi ve Almeter yün elyaf ölçümü içindir, Fibrograf ise bir pamuk örneğinin elyaf uzunluğunu ölçmek için otomatik bir yöntemdir. Fiber uzunluğu ölçümü için bazı görüntü tabanlı yöntemler de geliştirilmiştir. Fiber Kalite Analizörü (FQA), uzunluk dahil olmak üzere çeşitli fiber özelliklerini araştırmak için bir görüntü işleme sistemidir (Li ve Dai 2006).

2.2.2.4 Liflerde Uzama

Liflerin, işlem altında başlangıç halinden itibaren uzunluklarının ve genişliklerinin değişimine “uzama” adı verilir. Yüzde cinsinden ifade edilir. Birbirinden farklı üç uzama türü mevcuttur;

- İşleme tabi tutulan liflerin, gerilme işlemi sonrasında başlangıç haline geri dönmediği uzama kısmına “kalıcı uzama” adı verilir,
- Gerilme işlemi sonrasında liflerin, başlangıç haline geri döndüğü uzama kısmı “elastik uzama” olarak adlandırılır,
- Liflerin kopma anında ulaşmış olduğu en yüksek uzama değeri ise “kopma uzaması” olarak tanımlanır. Kopma uzaması bir diğer anlamda, elastik ve kalıcı uzamanın toplamına eşittir.

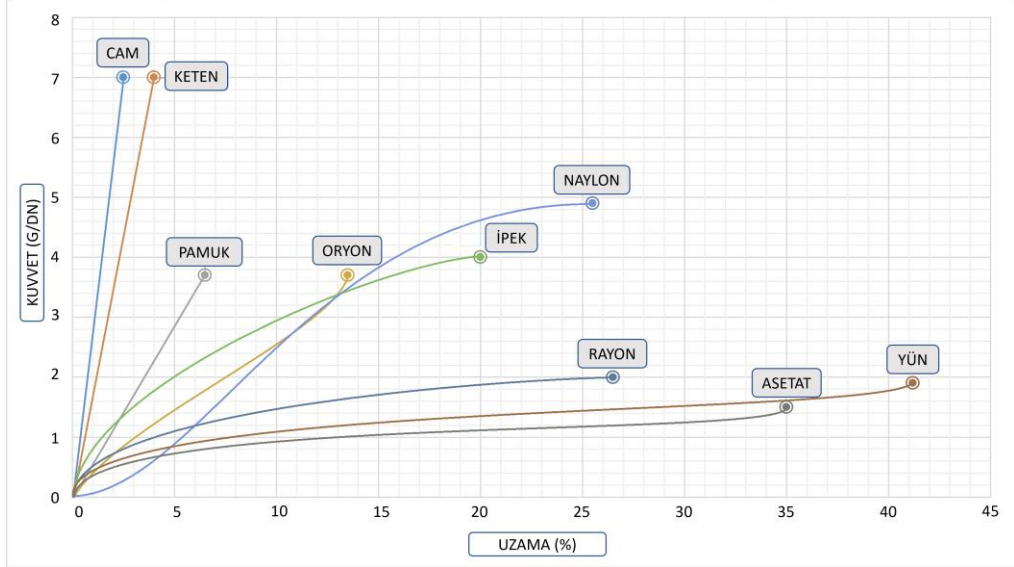
Tekstilde elastiklik önemli bir unsurdur. Elastikiyet, kullanılacak olan tekstil ürünün bir kuvvet etkisi altında kalıcı olmayan bir uzama eğilimi göstermesidir. Kuvvet ortadan kaldırıldığında ürün, belirli sınırlar dahilinde tekrar başlangıç haline dönme eğilimi gösterecektir. Bu özellik tekstilde kullanılan iplik ve kumaşların birçok kuvvete karşı dayanımını arttırmaktadır. Pamuk liflerine ait kopma uzaması aralıkları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4: Pamuk lifleri için uzama aralıklarını gösteren bir tablo (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2)

Kopma Uzaması	Tanım
<5.0	Çok Düşük
5.0-5.8	Düşük
5.9-6.7	Ortalama
6.8-7.6	Yüksek
>7.7	Çok Yüksek

Liflerde uzama oranı en az %1-2 (cam lifi) olmalıdır. Düşük uzama oranına sahip lifler bazı durumlarda (örneğin dirsek ve dizlerde kullanım) işlevsiz kalabilirler. Bu durumu en iyi açıklayacak örnek, pamuk ve yün liflerinin buruşma dirençlerinin farklı olmasıdır. Yün, pamuğa göre daha yüksek buruşma direncine sahiptir. Bu fark pamuk ve yün liflerinin sahip olduğu uzama yüzdelerinin birbirlerinden bir hayli farklı olması sebebiyle açıklanabilir (Pamuk %5-10, Yün %25-45). Uzama oranını optimum düzeyde tutmak oldukça önemli bir kavramdır. Çok fazla uzama eğilimine sahip olan lifler normal tekstil ürünlerinin üretiminde soruna neden olurlar. Yüksek uzama eğiliminde olan lifler genellikle spor giyim ve streç ürünlerinde kullanılır.

Bir lif çekme kuvvetine maruz bırakıldığında kuvvet ve uzama faktörleri için içine dahil olur. Bu nedenle kuvvet ve uzama değerleri birbirleri ile bir ilişki içerisindedir. Her lif türü, kendisine özgü bir kuvvet/uzama eğrisine sahiptir (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2). Endüstride kullanım alanları yüksek olan bazı liflerin, kuvvet/uzama eğrileri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



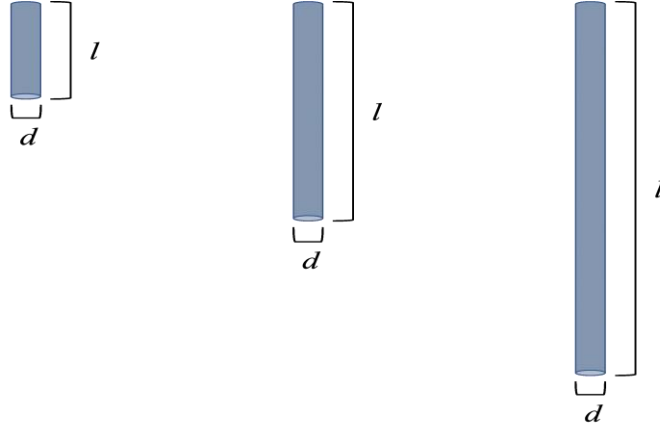
Şekil 2.4: Sık kullanılan bazı liflerin kuvvet/uzama eğrileri (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2).

2.2.2.5 Liflerde İncelik (Sertlik) Oranı

Bir lifi en iyi tanımlayan özelliklerden birisi de lifin uzunluğunun lif çapına bölünmesiyle elde edilen uzunluk/çap (l/d) oranıdır. Bu orana “liflerin incelik (sertlik) oranı” adı verilir. “l/d” oranı genellikle 1’den büyük bir sayı olarak ifade edilir. Liflerin incelik oranı, liflerin esneklik oranını doğrudan etkilemektedir. “l/d” arttıkça liflerin esnekliği de artmaktadır (Şekil 2.5).

$$\text{İncelik (Sertlik) Oranı} = \frac{\text{Lif Uzunluğu (l)}}{\text{Lif Çapı (d)}}$$

İncelik oranı, tekstilde liflerin işlenmesinde çok önemli bir rol oynar. İncelik oranı düşük olan liflerin büküm, sarım ve döndürme gibi işlemlere olan uyumluluğu da düşük olmaktadır. Bunun sebebi düşük incelik oranına sahip olan lifler aynı zamanda düşük esnekliğe sahiptir. Düşük esneklik bu tür işlemlerde tüy oluşumuna, kopmaya ve lif düzgünlüğünün bozulmasına sebep olabilir.



Şekil 2.5: Farklı uzunluk ve çaplara sahip liflerin sertlik oranları (l/d), farklı sertlik ve esneklik değerlerine sahip oldukları anlamına gelir

İncelik oranı çok yüksek olan lifler ise neps oluşumuna sebep olabilir. Bu şekilde olan lifler yeterli yaylanma özelliğine sahip olmadığı için, bir kuvvete maruz bırakıldıktan sonra eski hallerine dönemezler ve kopmaya karşı yeterli dirence sahip olamazlar (Klein 2008).

2.2.2.6 Liflerin Mukavemeti

Lif mukavemeti liflerin özellikleri ve kullanım alanları için çok önemli bir unsurdur. Liflerin mukavemeti ne kadar yüksek değerler verirse bu liflerden üretilen iplik ve kumaş o kadar yüksek mukavemete sahip olur. Düşük mukavemetli lifler kopma ve bozulma yaparak kısa lifler oluşmasına neden olur. Oluşan kısa lifler iğnin düzgünlüğü ve bütünlüğünü bozarak mukavemetini ve kalitesini düşürür. Belirlenen ölçütlerden yola çıkılarak bir tekstil lifinin en az 6 cN mukavemete sahip olması gerekmektedir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5: Bazı önemli liflerin kopma mukavemetleri (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 1)

Yün	12-18 cN/Tex
Pamuk	15-40 cN/Tex
Polyester	35-60 cN/Tex

Lif mukavemeti, “Pressley Cihazı” yardımıyla pamuk liflerinin mukavemet değerlerinin belirlenmesiyle ölçülmüştür. Bu değerlere “Pressley Değerleri” adı verilmiştir. Bu değerler kullanılarak mukavemet aralıklarını daha iyi belirlemek amacıyla “Pressley Ölçeği” oluşturulmuştur. Bu ölçek g/tex cinsinden karşılıklarıyla birlikte Tablo 2.6’da gösterilmiştir.

Tablo 2.6: Pressley ölçeği ve g/tex cinsinden değerleri (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 1)

Pressley Değeri	Tanım	G/Tex	Tanım
<70	Zayıf	<21	Çok Zayıf
70-74	Vasat	22-24	Zayıf
75-80	Orta	25-27	Orta
81-86	Güçlü	28-30	Güçlü
>87	Çok güçlü	>31	Çok Güçlü

Nem, testi yapılacak olan numunenin ihtiva ettiği su miktarıdır. Yüzde olarak belirtilir. Polipropilen ve polyester lifleri hariç olmak üzere diğer bütün liflerin mukavemeti nem oranı ile ilişkilidir. Nem oranı ortam, çalışma ortamında bulunma süresi ve iklim gibi etkenlere bağlıdır. Pamuk ve keten gibi ürünlerin mukavemeti nem oranı arttıkça artmaktadır. Yün, viskon vb. ürünlerde nem oranı arttıkça mukavemet düşmektedir. Test sonuçlarının tutarlı olabilmesi için nemin sabit tutulması çok önemlidir. Yüksek kesinlik ve doğruluk oranları %6,5–%8 aralığında elde edilmektedir (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2). Liflerin nem ölçekleri Tablo 2.7’de verildiği gibidir.

Tablo 2.7: Nem ölçeğini gösteren bir tablo (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2)

Nem	Tanım
<4.5	Çok Düşük
4.5-6.5	Düşük
6.5-8.0	Ortalama
8.0-10.0	Yüksek
>10.0	Çok Yüksek

2.2.2.7 Liflerin Temizlik Durumu

Liflerin temizliği, herhangi bir şekilde kir, toz, çöp veya diğer safsızlıkları içermeyen lifleri ifade eden bir terimdir. Bu terim tekstilde kullanılan yöntemlerde önemli bir konuma sahiptir. Pamuk liflerinin temizliği çırçır, açma ve taraklama işlemlerinin temizleme derecesine bağlıdır. Taraklama işleminin lif temizliği açısından büyük önemi vardır. Taraklama ile nihai ürün için homojenlik sağlama, kusurları önleme ve temizleme açısından büyük avantaj sağlar. Pamuk lifleri penye silindirinde hasar görebilir. Aşırı hızlardaki penye silindirleri pamuk liflerinin uçlarında kırılmaya sebep olabilir. Pamuk lifleri birçok istenmeyen safsızlık türü içerebilir;

2.2.2.7.1 Bitkisel Safsızlıklar

Bitkisel kaynaklı safsızlıklar, iplik kopmasına, iplik kalitesinin düşmesine, çekme sorunlarına ve tarak ekipmanlarının zarar görmesine sebep olabilmektedir.

- Tohumlar ve tohum parçacıkları
- Yaprak parçaları
- Gövde ve kabuk parçacıkları
- Odun ve kıymık parçaları (Kiron 2014).

2.2.2.7.2 Lif Safsızlıkları

Toz içeriğinin büyük bir kısmını lif parçacıkları ve lif tozları oluşturmaktadır. Bu safsızlıklar hammaddeye tutunarak üretimde sorunlara ve nihai ürünün kalitesinin düşmesine sebep olur.

- Toplama ve taşıma sırasında toz haline gelmiş veya parçalanmış halde hammaddeye yapışan lif parçacıkları.

2.2.2.7.3 Mineral Safsızlıklar

Mineral safsızlıklar, tortu oluşumu ve topaklanma yaparak, üretimde kullanılan makine ve makine ekipmanlarında çok çabuk yıpranmaya ve zarar görmeye neden olabilirler.

- Kaya ve taş parçaları
- Kum ve toprak
- Taşıma esnasında alınan toz ve diğer mineral maddeler

2.2.2.7.4 Diğer Safsızlıklar

Metal parçaları, makine aksamlarına, tarak ve diğer ekipmanlara hasar verebilir. Ayrıca metal parçaları yangına sebep olabilir. Ambalaj ve kumaş parçaları

ise, liflerde ve ipliklerde yabancı madde oluşumuna sebep olarak nihai ürünün kalitesinin düşmesine neden olabilir. Yapışkan özellikte olan salgılar genellikle “ballık” adı altında toplanır. Bu yapışkan maddeler; böcek salgıları, sentetik tarım ilaçları, yağlar, mantar, bakteri ve bitki salgıları olarak sınıflandırılabilir.

- Ambalaj parçaları
- Metal parçaları
- Kumaş parçaları
- Yağ
- Yapışkan özellikte salgılar

Yabancı madde miktarı, liflerin içerdiği safsızlıkları belirlemek amacıyla kullanılan bir derecelendirme ölçütüdür (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2). Pamuk liflerinin içerdiği yabancı madde miktarlarının değerlendirildiği bir ölçek Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8: Pamuk liflerinin içerdiği yabancı madde miktarını değerlendirmek amacıyla kullanılan bir ölçek (Demir 2020, Major Parameters of Fibers Part 2)

Yabancı Madde Miktarı (%)	Tanım
<1.2	Çok Temiz
1.2-2.0	Temiz
2.0-4.0	Orta
4.0-7.0	Kirli
>7.0	Çok Kirli

Safsızlıklar üretim esnasında problemlere yol açar. Modern tekstilde işlemler safsızlıklara karşı çok hassastır. Bu nedenle safsızlıklar büyük sorunlara yol açabilmektedir. İplik eğirme işlemlerinde yaşanan kopma, dağılma ve topaklanma sorunlarının %30-35’i liflerden gelen safsızlıklar nedeniyle yaşanmaktadır (Kiron 2014).

2.2.3 Teknik Tekstil

Tekstil endüstrisi, çağdaş toplumun oluşumunda ve gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda insan rahatına da hizmet eder. İnsanların kaliteli giyim

ve konfeksiyon ihtiyaçları tekstil elyaflarının ve tekstil üretim tekniklerinin gelişmesine yol açmıştır. Tekstil üretimi, karmaşık bir prosedüre sahip kapsamlı bir endüstri alanıdır. Üretim süreci temelde hammaddenin elde edilmesi ile başlayıp nihai ürüne doğru sonuçlanan bir prosestir (Textile Informedia 2020).

“The Textile Institute” tarafından yayınlanan “Textile Terms and Definitions” adlı yayında teknik tekstiller, estetik veya dekoratif özelliklerinden ziyade teknik ve performans özellikleri için üretilen tekstil malzemeleri ve ürünleri olarak tanımlanmaktadır (Horrocks ve Anand 2000). Teknik tekstil sektörü çok hızlı gelişmekte olan bir sektördür. Teknik tekstilin küresel büyüme oranı her yıl %1 oranında artış göstermektedir ayrıca giyim ve ev tekstillerinin büyüme oranından yaklaşık olarak %4 fazladır.

Teknik tekstiller için önde gelen uluslararası ticaret fuarı “Techtextil” (1980'lerin sonundan beri Almanya'da Messe Frankfurt tarafından ve Japonya'da Osaka'da iki yılda bir düzenlenen), 12 ana uygulama alanını tanımlar (endüstriyel uygulamalar için tekstiller yalnızca bir grubu temsil eder) (Horrocks ve Anand 2000).

- **Giyim Tekstili (Clothtech):** Giyim sektöründe kullanılmak amacıyla üretilen ve kumaşın daha iyi işlenebilmesini destekleyen teknik tekstil türüdür. Genellikle polyester (PES), naylon, viskoz ve modalin karışımları kullanılmaktadır. Bu tarz teknik tekstil ürünlerine; fermuarlar, ayakkabı malzemeleri, esnek dar kumaşlar, etiketler ve şemsiye bezleri örnek olarak verilebilir.
- **Ev Tekstili (Homotech):** Çoğunlukla ev ortamlarında kullanılan tekstil ürünlerinin geliştirilmesi amacıyla üretilen teknik tekstil ürünlerinin genel adıdır. Bu başlık altında; mobilya ve dekorasyon, güneşe karşı dayanıklılık, yanmazlık, duvar ve zemin kaplamaları örnek olarak verilebilir.
- **Spor Tekstili (Sporttech):** Spor tekstilleri esas olarak sporda kullanılan malzemelerin üretiminde kullanılan bir teknik tekstil dalıdır. Genellikle sentetik lif ve kaplamaların kullanıldığı bir tekstil türüdür. Sporttech tekstil alanında, spor ayakkabıları, spor kıyafetleri, bisiklet ekipmanları ve ekstrem spor malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır.

- Koruyucu Ekipman Tekstili (Protech): Koruyucu ekipman tekstilinin temel amacı, sağlık açısından tehlikeli çalışma alanlarında çalışan personellerin iş güvenliğini sağlamaktır. Dünya çapında standartlar üreten kuruluşlar (ASTM, ISO gibi), koruyucu ekipmanların, güvenlik açısından sahip olması gereken özellikleri ve şartları oluşturarak denetlemektedir. Koruyucu ekipmanlar; sağlığa zararlı maddelere karşı yüz maskeleri, kimyasallara karşı koruyucu ekipmanlar, ısı ve alevlere karşı koruyucular, darbelere karşı koruyucular, çelik yelek ve emniyet kemerleri olarak örneklendirilebilir.
- Medikal Tekstil (Medtech): Medikal pazarlarda, sağlık ve hijyen uygulamalarında tıbbi iplik ve kumaş türleri kullanılır. Bu iplik ve kumaş türleri medikal tekstil alanına girer. Tıbbi dikiş iplikleri, bandajlar, yara örtüleri, steril önlükler, steril bezler gibi ürünler Medtech başlığı altında toplanabilir.
- Ekolojik Tekstil (Ekotech): Tekstiller çevre koruma anlamında birçok kullanım alanına sahiptir. Dolgu malzemeleri, erozyon önleme amacıyla kullanılan materyaller, su temizleme, atık giderme, hava temizleme ve sızıntı önleyici ekipmanlar gibi birçok alanda kullanımı mevcuttur.
- Ziraî Tekstil (Agrotech): Ziraî tekstiller, “agro tekstiller” olarak adlandırılır. Agro tekstiller, tarımsal faaliyetlerde ürünlerin zarar görmesini önlemek amacıyla ve gübreleme işlemlerinde kullanılır. Agro tekstillerde aranan genel özellikler; güneşe karşı dayanıklılık, sertlik, biyolojik bozunma olarak sıralanabilir. Bu malzemeler tarımda, örtme, sarma, paketleme ve koruma amacıyla kullanılırlar.
- İnşaat Tekstili (Buildtech): Aynı zamanda tekstil mimarisi olarak adlandırılan bu alanda üretilen tekstil ürünleri; cephe besleme ekipmanları, iç ve dış yalıtım ve iklimlendirme ekipmanları, çatı ekipmanları, güneşe karşı koruma, düşük ölçekli ve yüksek ölçekli betonlarda donatı olarak kullanılabilir. Çelik elyaflar, alkali dayanımlı cam elyaflar, karbon elyaflar, bazalt elyaflar, poliamid elyaflar, polietilen elyaflar, aramid, kevlar ve polipropilen elyaflar gibi tekstil alanında önemli yerlere sahip sentetik ve mineral elyaflar kullanılabilmektedir.
- Jeolojik Tekstil (Geotech): Set ve inşaat işlerinde yapıların güçlendirilerek istenen özelliklere getirilmesini amaçlayan bir teknik tekstil dalıdır. İnşaat sektörü, yol ve yapı çalışmalarında, baraj, drenaj ve sızdırmaz yapı alanlarında

kullanılmaktadır. Düşük nem emme oranı, mukavemet ve yeterli kalınlığa sahip tekstil ürünleri tercih edilmektedir. Beton yapı malzemelerinde cam elyaf, polipropilen elyaf ve akrilik çatlak önleme amacıyla, polipropilen ve polyester gibi materyaller jeotekstillerde ve kuru/sıvı filtrasyon işlemlerinde kullanılabilir.

- Endüstriyel Tekstil (Indutech): Çekme ve kaldırma işlemlerinde kullanılan ekipmanlar, filtrasyon ekipmanları, aşındırıcı temizlik ekipmanları ve elektronik malzemelerde kullanım alanlarına sahiptir. Ayrıca makine mühendisliği alanında geniş kullanım alanları mevcuttur.
- Taşıtlarda Kullanılan Tekstil (Mobiltech): Bu teknik tekstil dalında ulaşım birimi altında; uçaklar, demiryolları, gemiler, otomobil ve uzay araçlarının üretiminde kullanılmaktadır. Genel olarak emniyet kemeri, hava yastığı, kayış ve hortumlar, izolasyon ekipmanları, araç iç ve dış kaplamaları, filtreler ve branda ekipmanları gibi örnekler verilebilir (Mohan 2015).
- Ambalaj Tekstili (Packtech): Endüstriyel, tarımsal ve diğer türde çeşitli malzemelerin koruma, taşıma ve biriktirme amacıyla paketlenmesinde kullanılan ambalaj malzemeleri bu teknik tekstil dalına girmektedir. Sarma kumaşları, jüt çuvallar, çay poşetleri, dokuma çuvalları ve bagajlarda kullanılan yumuşak ambalajlama ürünleri ambalaj tekstili sınıfına girmektedir (Islam ve Saurav 2019).

2.2.4 Tekstilde Kullanılan Bazı Metotlar

Liflerin, ham halden bir tekstil ürününe dönüşmesine kadar geçen süreçte birçok etken söz konusudur. Nihai ürünlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen bu etkenler haricinde, liflerin işlenmesinde kullanılan yöntemlerin de etkisi çok yüksektir. Bu işlemler liflerin ham haldeki özelliklerini iyileştirerek son ürünün istenen özelliklerde ve daha kaliteli olmasını sağlar.

Tekstil proseslerinde genel olarak lif üretimi, iplik üretimi, örme, dokuma, dokusuz yüzey eldesi, boyama, baskı ve apre gibi işlemler kullanılır (Keser 2020, Tekstilin Önemi). Uygulanan işlemler pazar ihtiyaçlarına ve üretilecek ürünün hangi özelliklerde istendiğine göre değişiklik göstermektedir (Keser 2019, Tekstil).

Kullanılan diğer yöntemlere örnek olarak; büküm, kimyasal reçine ile kaplama, doğudan ısı veya UV ışınları ile kurutma ve elyaf kırpma gibi işlemler gösterilebilir.

2.2.4.1 Büküm İşlemi

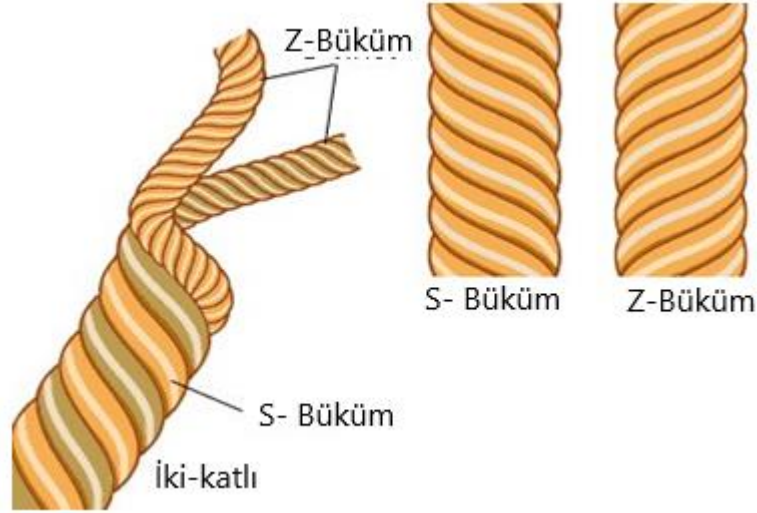
Büküm, bir veya birden fazla lifin ya da ipliğin bir eksen etrafında birbirleri üzerinde döndürülmesiyle oluşturulan yapıdır. Bu işlem aynı zamanda lifleri ve iplikleri birbirine bağlayarak bir sürekli iplik yapısı oluşturmaktadır. Büküm işlemi ile üretilmiş olan bükümlü ürünler, maruz kalacağı kuvvetlere karşı mukavemet ve esneklik kazanarak dayanıklılıklarını arttırır. Ayrıca büküm işlemi, doğru uygulandığında ipliğe düzgünlük katarak kopma ihtimalini azaltır.

Büküm Yönleri

İplikteki spiral yapı oluşumunun yönüne göre büküm yn, “S büküm” veya “Z büküm” olarak değerlendirilir. Büküm makinesindeki iğlerin dönüş yönlerine göre değişiklik göstermektedir. İğler saat yönünün tersine dönüyorsa “S Büküm (sol büküm)”, saat yönüne doğru dönüyorsa “Z Büküm (saç büküm)” olarak adlandırılır. Tek katlı ipliklerde S ve Z olarak sınıflandırılan büküm yönleri kullanılır. Katlı iplikleri, SZ, ZS, SS veya ZZ büküm yönlerinde, kablo ipliklerini ise ZSZ ve ZZS büküm yönlerinde bükmek mümkündür (şekil 2.6).

S Büküm: Dik tutularak kontrol edilen ipliğin sarmalları “S” harfinin kesitlerine denk geliyorsa ve büküm, iplik saat yönünün tersine doğru çevrildiğinde çözülüyor ve mukavemet kaybediyorsa “S büküm” olarak adlandırılır.

Z Büküm: İplik dik tutularak kontrolü sağlandığında, sarmallar “Z” harfinin kesitlerine denk geliyorsa ve büküm, iplik saat yönüne doğru çevrildiğinde çözülüyor ve mukavemet kaybediyorsa “Z büküm” olarak adlandırılır.



Şekil 2.6: S ve Z büküm iplikleri (Whewell 1999)

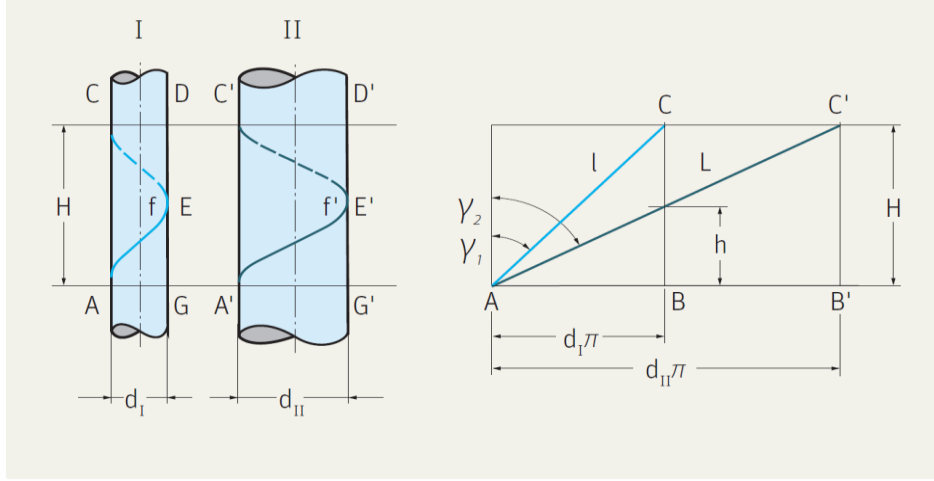
Büküm Sayısı

Büküm, bir ipliğin birim uzunluğundaki tur sayısı olarak ifade edilebilir. Büküm elyaflara bir görünüm kazandırır. Aynı zamanda temas yüzeylerini arttırarak liflerin bir arada kalmasını kolaylaştırır. Elyafın birim uzunlukta yaptığı spiral sayısı büküm sayısı değerini verir. Büküm sayısı ipliğin mukavemetini, esnekliğini, hacmini, geçirgenliğini ve düzgünlüğünü etkiler (Keser 2015, İplikte Büküm ve Önemi).

İplikte Büküm Hesapları

İpliklerde büküm bağıntılarının anlaşılabilirliği “iki iplik teorisi” ile anlatılmıştır. İpliklerden biri diğ erinin iki katı kalınlığında olarak kabul edilmiştir. Bu iki durumda da iki lif ele alınarak açıklanmıştır. Bunlar f ve f' olarak belirtilebilir. Büküm işlemi öncesi bu lifler AC ve A'C' doğruları üzerinde konuşlanmaktadır. Bu ipliklerin AG (A'G') ve CD (C'D') doğruları arasında kısıtılarak 360° döndürüldüğü varsayılır. Sonrasında lifler sırasıyla AEC ve A'E'C' doğrularında bulunan pozisyona bürünürler. Lifin boyunun arttığı varsayılırsa her lif bu yerleşim şeklinde bulunabilir. Bu örnekte iplik II'nin çapının büyük olması nedeniyle f' lifindeki boy uzaması f lifine göre daha yüksektir.

Bu fark, H yüksekliğindeki iki üçgenin (ABC ve AB'C') bir düzlem üzerinde çizilmesi ile görülebilir. f lifi H'den l'ye f' lifi ise H'den L'ye uzatılmıştır. İplik II, iplik I'e oranla daha yüksek mukavemete sahiptir. Bunun sebebi iplik II'nin daha yüksek uzama ve gerilim sayesinde daha yüksek basınca sahip olmasıdır.

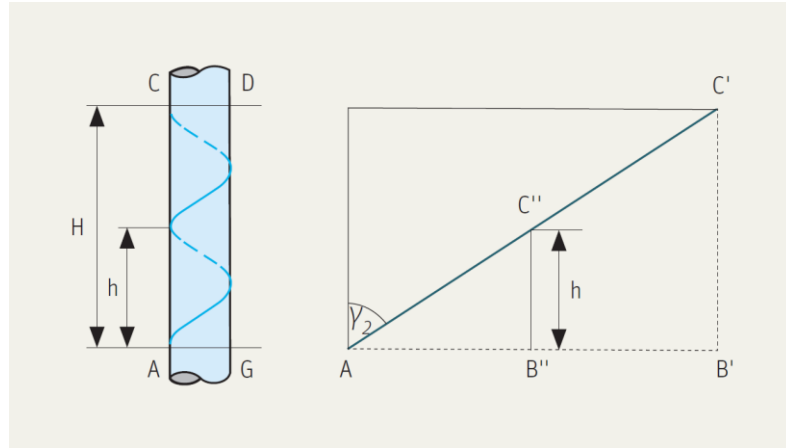


Şekil 2.7: Farklı kalınlıklardaki iplerde liflerin (f ve f') sarılması (Klein 2008)

İpliklerde lif uzama miktarı, mukavemet belirleme amacıyla kullanılmaz. Çünkü liflerdeki uzamayı ölçmek bir hayli zordur. Bunun yerine mukavemet belirleme ölçütü olarak liflerin uzunluğunun eksene göre açısını (γ) kullanmak mümkündür. İplik II'nin eğim açısı (γ_2) iplik I'in eğim açısına (γ_1) göre daha yüksek bir değere sahiptir. Buradan yola çıkarak, iplik II'nin, iplik I'e göre daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülebilir (Şekil 2.7).

Mukavemet (F), eğim açısı (γ) ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$$



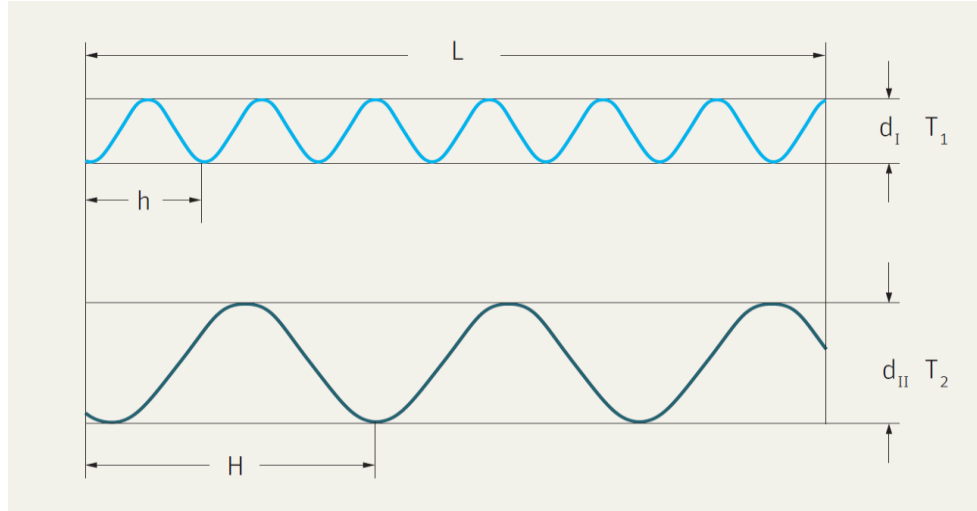
Şekil 2.8: İnce ipliklerde bükümdeki tur sayısı (Klein 2008)

Eğim açısı arttıkça mukavemet artmaktadır. Diğer etkenler göz ardı edildiği takdirde iki ipliğin mukavemet değerleri eşit olduğu anda açıları da birbirlerine eşit olmalıdır ($\gamma_2 = \gamma_1$). Bu durumun mümkün olması için iplik I'in her büküm turunun uzunluğunun "H" değerinden "h" değerine düşürülmesi gerekir. Bu nedenle verilen

örnekte iplik I'in bükümü iplik II'nin bükümünün iki katı değerinde olmalıdır (Şekil 2.8).

Büküm Denkleminin Çıkarımı

Yukarıdaki durumun daha iyi anlaşılabilmesi için iki iplik açılarak bir düzlem üzerinde çizilirse Şekil 2.9'daki durum elde edilir.



Şekil 2.9: Farklı kalınlıklardaki ipliklerin büküm sayıları (Klein 2008)

Böylece aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir.

$$\frac{h}{H} = \frac{d_1}{d_2} \text{ ve } \frac{d_1}{d_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

T = İplikteki bükümdür.

İpliğin kütlesi,

$$m = V (\text{Hacim}) \times \sigma (\text{Özgül Kütle})$$

formülü ile hesaplanır.

İpliğin hacmi,

$$V = A (\text{Kesitteki Yüzey Alanı}) \times L (\text{Uzunluk})$$

alanı ise,

$$A = d^2 \times \frac{\pi}{4}$$

olarak hesaplanır. Öyleyse ipliğin kütlesi,

$$m = d^2 \times \frac{\pi}{4} \times L \times \sigma$$

denkleme eşittir. Buradan yola çıkılarak iplik I ve iplik II'nin kütleleri:

$$m_1 = \frac{d_1^2 \times \pi}{4} \times L \times \sigma$$

$$m_2 = \frac{d_2^2 \times \pi}{4} \times L \times \sigma$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Bu iki ipliğin kütleleri, İngiliz sistemine göre uyarlanırsa şu sonuçlar elde edilir:

$$Ne_1 = \frac{L}{m} = \frac{L}{\frac{d_1^2 \times \pi}{4} \times L \times \sigma} = \frac{4}{d_1^2 \times \pi \times \sigma}$$

$$Ne_2 = \frac{L}{m} = \frac{L}{\frac{d_2^2 \times \pi}{4} \times L \times \sigma} = \frac{4}{d_2^2 \times \pi \times \sigma}$$

Bu formüllerden yola çıkılarak iplik numaraları şu formülle ilişkilendirilebilir:

$$\frac{Ne_1}{Ne_2} = \frac{\frac{4}{d_1^2 \times \pi \times \sigma}}{\frac{4}{d_2^2 \times \pi \times \sigma}} = \frac{d_2^2 \times \pi \times \sigma}{d_1^2 \times \pi \times \sigma}$$

Sadeleştirme işlemleri sonrasında şu eşitlik elde edilir:

$$\frac{Ne_1}{Ne_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

Ayrıca çaplar şu formüllerle ilişkilendirilebilir:

$$\frac{d_2^2}{d_1^2} = \frac{Ne_1}{Ne_2} \text{ ise } \frac{d_2}{d_1} = \frac{\sqrt{Ne_1}}{\sqrt{Ne_2}}$$

Ayrıca:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{T_1}{T_2} \text{ dolayısıyla } \frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{Ne_1}}{\sqrt{Ne_2}}$$

formülü ile gösterilebilir. Başka bir şekilde gösterecek olursak:

$$\frac{T_1}{\sqrt{Ne_1}} = \frac{T_2}{\sqrt{Ne_2}} = \frac{T_3}{\sqrt{Ne_3}} = \frac{T_n}{\sqrt{Ne_n}} = \text{Sabit } \alpha$$

Bu sabit yardımıyla aşağıdaki genelleştirilmiş denklemler elde edilebilir:

$$\frac{T}{\sqrt{Ne}} = \alpha_e \text{ ise } T = \alpha_e \sqrt{Ne} = \text{Tur/İnç}$$

Büküm faktörü olarak nitelendirilen α , İngiliz iplik numaralandırma sisteminde kullanılmaktadır ve bu numaralandırma sistemine göre türetilmektedir. Tablo 2.9'da İngiliz iplik numaralandırma sistemine göre pamuk ipliklerinin büküm faktörü değerleri verilmiştir.

Tablo 2.9: İngiliz iplik numaralandırma sistemine göre pamuk iplikleri için büküm faktörleri (Klein 2008)

İplik Tipi	Kısa Kesikli Lif	Orta Uzunlukta Kesikli Lif	Uzun Kesikli Lif
Örme	-	2.5-3.0	2.1-2.6
Atkı	3.3-3.8	3.0-3.5	2.5-3.0
Semi-Çözü	3.7-4.0	3.5-3.8	3.0-3.4
Çözü	4.0-5.0	3.8-4.5	3.4-3.9

İngiliz numaralandırma sistemi haricinde farklı numaralandırma sistemleri de mevcuttur. Bu sistemler için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

Tur/metre:

$$T/m = \alpha_m \sqrt{\frac{100}{tex}}$$

$$= \frac{\alpha_{tex}}{\sqrt{tex}}$$

Dönüşüm faktörleri:

$$\frac{T}{\text{İnç}} = \frac{T}{m} \times 0,0254$$

$$\alpha_e = \alpha_m \times 0,033$$

$$\alpha_e = \frac{\alpha_{tex}}{958}$$

şeklinde tanımlanabilir (Klein 2008).

Liflerin ya da ipliklerin birim uzunlukta sahip olduğu sarmal, kıvrımlı yapı büküm sayısını vermektedir. Büküm hesabı ipliğin metredeki sahip olduğu tur sayısına göre belirlenir.

$$\frac{T}{m} = \text{Metredeki Büküm}$$

Burada, “T” tur ya da büküm sayısı, “m” ise birim uzunluk metre olarak ifade edilmektedir. Büküm sayısı arttıkça iğ devri de artmaktadır. Bu sebeple büküm ve üretim ters orantılıdır.

$$L = \frac{d \times \pi \times n}{1000} = m/dk$$

Makinelerde büküm hesabı ipliğin besleme hızı olan sevk hızı ve iğlerin devir sayıları ile orantılıdır. Burada, “L” sevk hızı olup birimi m/dk’dır. “d” işlem yapılacak makinenin merkez silindirin çapı (mm), “n” merkez silindirin devir sayısı (rpm) olarak tanımlanır.

$$\frac{T}{m} = \frac{n_{iğ}}{L(\frac{m}{dk})}$$

İplikteki büküm, iğın devir sayısının besleme silindirindeki sevk hızına bölünmesi ile elde edilir. Burada, “n_{iğ}” iğın devir sayısı (rpm), “L” sevk hızı (m/dk) olarak tanımlanır. İğ hızı genel olarak sabit olan bir özelliktir. Çünkü büküm makinesinde iğ olabildiğince yüksek hızlarda dönmesi gereken bir bölümdür. Büküm sayısının yükseltmek veya alçaltmak için ipliğın sevk hızının değıştirilmesi gerekmektedir. Dolayısı ile üretim hızı da değışmektedir.

2.2.4.2 Kimyasal Bağılayıcı ve Tutucular

Kimyasal bağılayıcı ve tutucular, kullanıldığı materyale mukavemet, düzgünlük, esneklik ve kullanım amacına göre termoset veya termoplastik özellikler katabilmektedir. Pazarda, kimyasal bağılayıcı ve tutucu olarak kullanılan, çok çeşitli yapıştırıcı ve reçineler mevcuttur. Bu doğal ve sentetik yapıştırıcıların kullanım amaçları ve yöntemleri farklılık göstermektedir. Endüstriyel uygulamalar yüksek mukavemet ve belirli etkenlere karşı dayanıklılık gerektirir. Kimyasal bağılayıcı ve tutuculardan beklenen bazı özellikleri şöyle sıralayabiliriz:

- Maksimum mukavemet direnci,
- Yüksek sıcaklık dayanımı,
- Düşük sıcaklık dayanımı,
- Nem direnci,
- Uzama.

İpliklerde ve kesikli liflerde mukavemetin sağlanması, çoğunlukla kimyasal bağılayıcılar ve büküm özellikleri vasıtası ile sağlanmaktadır. Lifler, sahip oldukları mukavemet değerlerini diğer liflere aktararak koruyabilir. Bu durum kesikli liflerde kimyasal bağılayıcı ve tutucular yardımıyla sağlanabilmektedir. Kimyasal bağılayıcı ve tutucu ile bir arada tutulmayan lifler, sahip oldukları mukavemeti birbirlerine aktaramaz ve düzgün bir makro form oluşturamazlar.

Endüstride Kullanılan Bağılayıcılar

Endüstride kullanılan kimyasal yapıştırıcı ve reçinelerin çoğunluğu kompozit sektöründe kullanılmaktadır. Kompozit, iki veya daha fazla bileşenin, birtakım

işlemler ile bir araya getirilmesiyle üretilen malzemelerdir. Tek başına sahip oldukları özellikleri, kullanılmak istenilen alanlara uygun olmayan veya yetersiz olan malzemelerin özelliklerini daha iyi yaparak kullanılacak olan alana uygun hale getirmek amaçlanır. Kompozitlerde iki ana bileşen mevcuttur. Bunlar;

- Matris (polimer, metal esaslı ve seramik esaslı malzemeler),
- Takviye elemanları (çelik, karbon, bazalt, cam elyaf, aramid, naylon vb.).

Kompozitler sahip oldukları özelliklerini genel olarak takviye elemanlarının özelliklerinden alırlar. Matris elemanları ise bu takviye elemanlarının bir arada durmasını sağlayan bağlayıcı özellikte malzemelerdir.

Termoset Bağlayıcılar

Termoset bağlayıcılar genel olarak sıvı halde bulunurlar. Isı, katalizör ve hızlandırıcı gibi etkenler ile tepkimeye girerek sertleşir. Termoset bağlayıcılar bir kere sertleştikten sonra tekrar eski hallerine geri dönemezler. Eriştiği son hali sonsuza dek korurlar. Termosetler sertleşme sonrası sahip oldukları özellikleri çok zorlu şartlara karşı bile koruyabilirler. Tablo 2.10'da bazı termoset reçinelerin özellikleri verilmiştir.

- Epoksi Bağlayıcılar

Epoksi reçine, onu çeşitli uygulamalar için oldukça faydalı kılan sert mekanik özelliklere, iyi kimyasal dirence ve yüksek yapışma gücüne sahip olan bir reçine türüdür. Epoksi reçineler: metal kaplamalar, elektronik bileşenler, fiber takviyeli kompozitler ve yapısal yapıştırıcılar gibi geniş kullanım alanlarına sahiptir. Epoksi bağlayıcılar, bir tür prepolimer ve epoksi grupları içeren polimer olarak bilinmektedir. Epoksi bağlayıcılar kürlenme amacıyla polyesterlerden farklı özellik gösterirler. Epoksi bağlayıcılarda katalizör yerine sertleştirici özelliğe sahip kimyasal sertleştiriciler kullanılmaktadır. Aminler, fenoller ve tiyoller gibi birçok reaktan ile tepkimeye girebilirler (Corrosionpedia 2015, Epoxy Resin).

Tablo 2.10: Termoset reçine özelliklerinin gösterge değerleri (Ascione ve diğ. 2016)

	Polyester Reçineler	Vinil Ester Reçineler	Epoksi Reçineler
Yoğunluk	1.2	1.1	1.25
Poisson Oranı	0.38	0.26	0.39
T _g (°C)	Yaklaşık 60 ⁽¹⁾	Yaklaşık 100 ⁽¹⁾	80-150 ⁽¹⁾
Çekme veya Sıkıştırma Mukavemeti (MPa)	55 ⁽²⁾	75 ⁽²⁾	75 ⁽²⁾
Young Modülü (MPa)	3550	3350	3100
Gerilim veya Sıkıştırmada Gerinim Limiti (%)	1.8	2.2	2.5
Düzlem İçi Kesme Modülü (Ma)	1350	1400	1500
Kesme Mukavemeti (MPa)	Yaklaşık 50	Yaklaşık 65	Yaklaşık 80
Kesme Gerilmesi Limiti (%)	3.8	3.7	5
Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ K ⁻¹) ⁽³⁾	50-120	50 – 75	45-65

(1) T_g'nin gerçek değeri, uygulanan polimerizasyon işlemine ve özellikle son kürleme sırasında uygulanan sıcaklığa bağlıdır.

(2) Her reçine tipinde mukavemet özelliklerinde büyük farklılıklar vardır. Kullanılan reçinenin asgari olarak yukarıdaki özelliklere sahip olup olmadığı üretim aşamasında doğrulanmalıdır. Reçinenin elyaf özellikleri üzerindeki etkisi sınırlıdır. Reçine özellikleri, esas olarak ILSS, sıkıştırma mukavemeti, kesme mukavemeti ve delaminasyon gibi reçinenin baskın olduğu özellikleri etkiler.

(3) Reçinenin termal özellikleri, kesin bir bileşime bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Termal genleşme tasarımının anahtarı ise, analizin test değerlerine dayalı olması önerilir.

- Polyester Bağlayıcılar

Polyester reçine bir polimer reçinedir. Dibazik organik asitler ve polihidrik alkollerin bir reaksiyonu sonucu oluşan sentetik reçinelerdir. Cam elyaf takviyeli plastiklerde (FRP), kalıplama işlemlerinde, boru uygulamalarında ve inşaat sektöründen havacılık sektörüne kadar birçok alanda kullanıma sahiptir (Wikipedia 2021, Polyester Resin). Basit bir kullanıma sahiptir ve ekonomiktir. Epoksi bağlayıcılara oranla daha az maliyetli bir bağlayıcı maddedir. Polyesterler polimerik yapı oluşturma sürecini tamamlayabilmesi için katalizör ve hızlandırıcı etken maddelerine ihtiyaç duymaktadır (Onat 2015).

- Fenolik Bağlayıcılar

Fenolün, formaldehit ile reaksiyonu sonucu elde edilen bağlayıcılara fenolik reçineler veya fenol formaldehit (PF) reçineleri adı verilir. Bilardo topları, laboratuvar tezgâhları ve kaplamalar olmak üzere kalıplanmış birçok ürünün üretiminde kullanılmaktadır. Fenolik reçinelerin erime noktası yoktur. Ancak 220°C’de bozunmaya uğrarlar (Wikipedia 2021, Phenol Formaldehyde Resin).

- Vinil Ester Bağlayıcılar

Vinil ester bağlayıcılar, bir epoksi reçinesinin akrilik veya metakrilik asitlerle esterleşmesiyle üretilen reçine türleridir. Polimerleşmeye eğimli oldukları için genellikle bir inhibitör eklentisiyle kullanılır. Polimerizasyon basamağı UV ışınları veya peroksitler yardımıyla başlatılır. Denizcilik endüstrisinde, cam elyaf takviyeli yapılarda ve fiber takviyeli polimer tankların üretimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wikipedia 2021, Vinyl Ester Resin).

- Silikon Bağlayıcılar

Silikon, siloksan veya polisilokсандan oluşan bir polimerdir. Kürlenme işlemleri için yüksek ısılar gerektiren bir bağlayıcı türüdür. Dolgu macunları, yapıştırıcılar, yağlayıcılarda, ısı ve elektrik yalıtımlarında kullanım alanlarına sahiptir (Wikipedia 2021, Silikon).

- Poliamid Bağlayıcılar

Poliamid, monomerlerin amit bağları tarafından bağlamasıyla oluşan bir polimerdir (Wikipedia 2021, Poliamit). Poliamid bağlayıcılar, çok iyi mukavemet ve ısı dayanımı özelliklerinin yanında opak bir görünüme sahip yüksek yoğunluklu polimerlerdir. Ayrıca naylon olarak da bilinir. Ev tekstilleri, yatak, konfeksiyon, otomotiv sektöründe ve tıp sektöründe birçok kullanım alanına sahiptir.

- Poliüretan Bağlayıcılar

Poliüretan reçineler, poliöl adı verilen bir alkolün (moleküllerinin her biri 3 veya daha fazla reaktif hidroksil grubu içerir) uygun katkı maddeleri ve katalizörler eklendiğinde bir izosiyanat (çift veya polimerik) ile reaksiyona girdiğinde oluşan kopolimerlerdir. Yüksek elastiklik, dengeli sertlik ve iyi yapışabilme özellikleriyle öne

ıkarlar. Yapıştırıcılarda, dolgu malzemelerinde, yapı sektöründe, otomotivde ve giyim sektöründe kullanım alanlarına sahiptir (Bansal Trading Company, 2019).

Termoplastik Bağlayıcılar

Termoplastik, ısıtıldığında yumuşak bir form alan ve soğutulduğunda sertleşen polimer reçinelere verilen addır. Geri dönüşüm yapılabilen bir polimer türüdür. Defalarca ısıtılıp soğutulsa bile kimyasal özelliklerini yitirmezler. Isıtıldıklarında fiziksel özellikleri değişerek sıvı hale gelebilirler. Böylelikle işlenmesi kolaylaşır. Ancak termoplastikler maliyetli oldukları için genellikle termosetlere oranla daha az kullanılırlar. Termoplastikler oda sıcaklığında genelde sert bir halde bulunurlar ve işlenebilmeleri için ekstra işlemlere tabi tutulurlar.

Termoplastikler korozif ortam ve kimyasallara karşı dayanımı yüksek bir polimer türüdür. Aşındırıcı ortamlarda elik malzemeler yerine kullanılan iyi bir alternatif malzemedir. Aşırı sıcak veya aşırı soğuk malzemeleri taşımak için kullanılabilirler. Sektörlerde çoğunlukla PVC, CPVC, polipropilen, PVDF, ABS, naylon ve polietilen kullanılmaktadır (Corrosionpedia 2016, Thermoplastic). Endüstride kullanılan, farklı özelliklere sahip bazı termoplastik reçine türleri, erime sıcaklıkları ve maksimum işlem sıcaklıklarıyla birlikte Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11: Belli başlı termoplastik reçineleri ve işlem sıcaklıkları (Onat 2015)

Malzeme	Erime Sıcaklık Aralığı (°C)	Maksimum İşlem Sıcaklığı (°C)
PP	160-190	110
PA	220-270	170
PES-Poli eter sülfon	-	180
PEI-Polieterimid	-	170
PAI-Poliamid imide	-	230
PPS-Polfenilen sulfit	290-340	240
PEEK-Polieter eter keton	350-390	250

2.2.4.3 Endüstriyel Kurutma ve Kürleme İşlemleri

Endüstriyel Fırınlara

Endüstriyel fırınlar, çeşitli parçalara, bileşenlere ve nihai ürünlere, kurutma, kürleme veya fırınlama işlemlerinin uygulandığı endüstriyel sektörlerde kullanılan yalıtımlı ve ısıtılmış haznelere. Bu fırınlar çeşitli sıcaklık aralıklarında çalışabilir, farklı boyutlarda ve tasarımlarda olabilir. Fırınla kurutma işlemi, kimyasal reçine kurutma ve kürleme, gıda ürünlerinin kurutulması, tekstilde nem oranlarının ayarlanması ve elektronik endüstrisinde sıkça kullanılan bir yöntemdir.

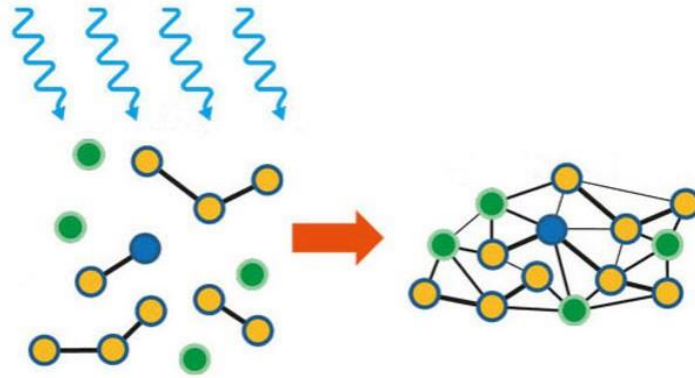
En sık kullanılan endüstriyel fırın tipleri şu şekildedir:

- Kürleme Fırınlara: Belirli bir sıcaklıkta kimyasal tepkiye giren bazı kimyasal bağlayıcı ve tutucu maddelerin kaplama, kürleme veya sertleşme işlemlerinin gerçekleştirildiği fırın tipidir. Toz boya kaplama, kimyasal reçine kaplama gibi uygulamalar bu fırın ile yapılabilir.
- Kurutma Fırınlara: Bu fırınlar çoğu zaman nemi gidermek amacıyla kullanılır. Nihai ürünlerde nemi giderme veya boya kaplama gibi ön işlemlerde kullanılır.
- Reflow Fırınlara: Yüzeye monte edilen elektronik bileşenlerin, baskılı devre kartlarına (PCB) lehimlenmesinde kullanılan bir fırın tipidir. Fırın, ayrı ayrı kontrol edilebilen sıcak ve soğuk bölgeler içeren bir yapıda tasarlanmıştır. Devre kartları bu fırın içerisinde bir konveyör vasıtasıyla hareket eder. Bu fırın tipi kontrollü bir zaman-sıcaklık profiline olanak sağlar.
- Pişirme Fırınlara: Kürleme ve kurutma fırınlarının birleşimiyle oluşturulan fırın türleridir.
- Konveyör veya Sürekli Fırınlara: Bir otomatik konveyör hattı ile otomatik bir proses kapsamında çalışan fırın tipleridir. Bu fırın tipi yüksek hacimli iş yapılmasında büyük rol oynar.
- Yığın Fırınlara: Tekerlekli raflar, el arabaları veya kamyonlar kullanılarak kurutma, kürleme veya pişirme işlemlerinin küçük partiler halinde yapılmasına olanak sağlayan bir toplu fırındır.

- Temiz Oda Fırınları: Temiz oda gerektiren, biyoteknoloji veya yarı iletken üretimi gibi uygulamalarda kullanılan bir fırın tipidir (Wikipedia 2021, Endüstriyel Fırın).

Ultraviyole Fırınlar (UV)

UV kürleme, ultraviyole ışınlarının kullanıldığı çapraz bağlı polimer ağı oluşturan bir fotokimyasal reaksiyondur. Bu yöntem diğer yöntemlere göre yüksek hızlı bir süreç olarak kabul edilir. Ayrıca çalışma sıcaklığı çok düşüktür. Kürleme işlemi buharlaştırma işlemi gerekmeksizin direkt olarak polimerizasyon yoluyla gerçekleştiği için çözücüye ihtiyaç duyulmaz. UV kürleme, mürekkeplerin, yapıştırıcıların ve kaplamaların dönüştürülmesine veya kürlenmesine ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılır (Wikipedia 2021, UV Curing).



Şekil 2.10: UV-Kürleme reaksiyon şeması (Heraeus Holding 2021)

UV formülasyonları, fotokimyasallar ile karıştırılan ve daha sonra UV ışınlarına maruz bırakılan monomer ve oligomerlerdir (Şekil 2.10). UV ışınlarına maruz kalana bu karışımlar birkaç saniye içerisinde sertleşir ve polimerizasyon işlemini tamamlarlar (Heraeus Holding 2021). Bu yöntemler, kompozit üretiminde, tıp sektöründe, otomotiv sektöründe, elektronik parçaların yapımında, metal, cam ve plastik parçaların üretimlerinde kullanılmaktadır.

Mikrodalga Fırınlar

Mikrodalga ısıtmanın temel prensibi; materyaldeki polar molekülleri etkileyerek elektromanyetik enerjinin termal enerjiye dönüşümünün sağlanmasıdır (Erbay ve Küçüköner 2008). Mikrodalga sistemlerinde yüksek frekanslı (900 ile 5000 Mhz) güç kaynakları kullanılmaktadır. Genel olarak iletken olmayan ve ince malzemelerin ısıtılmasında kullanıldığı için dielektrik ısıtma formu olarak değerlendirilebilir. Sistemin giriş ve çıkışında alınması gereken önlemler çalışmayı zorlaştırır. Güvenli bir çalışma için alınması gereken önlemler, mikrodalga kurutma sistemlerini bir hayli masraflı hale getirmektedir (Güngör ve Özbalta 1997). İyi bir penetrasyon özelliğine sahip olduğu için ısıtılacak olan malzemenin içine ve dışına eşit ölçülerde etki etmektedir.

Mikrodalga kurutma sistemleri, gıda ve tarım sektörü, maden tesisleri, ilaç sektörü, kimya ve kompozit sektörlerinde kullanım alanlarına sahiptir. Bu alanlarda ısıtma, kurutma, reaksiyon hızlandırma ve sterilizasyon işlemlerinde kullanılır (Meget Elektrik Makine 2015).

Radyo Frekans Kurutma Sistemleri

Bir radyo frekans jeneratör temel olarak, kurutma odası, soğutma fanı ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Kurutulacak ürün taşıma ünitesine bırakılarak kurutma odasına taşınır. Burada radyo frekans alanına maruz bırakılır. Radyo frekans ürünün ihtiva ettiği nemi buharlaştırarak kısa sürede uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Açık elyaf, tops, çile, bobin ve hazır giyim ürünlerinin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Oğulata ve diğ. 2000).

2.2.4.4 Kırpma ve Kesme Sistemleri

Tekstil malzemelerinin bıçakla kesilmesinde üç farklı yöntem vardır. Bıçak kullanarak kesme, makas kullanarak kesme ve testere kullanarak kesme. Günümüzde bu yöntemlerden farklı olarak birçok yeni teknolojik kesme yöntemleri türetilmiştir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Talaşlı Kesme

Testere ve keskiiler yardımıyla yapılan kesme işlemlerine verilen addır. Kesme işlemleri sırasında oluşan talaş bu yöntemle adını vermiştir. Testereye baskı kuvveti uygulanarak testerenin kesilecek olan ürün içerisinde dağılması sağlanır. Böylece kesilen üründen talaş parçaları kopması sağlanır.

2. Talaşsız Kesme

Bu işlemlerde talaş oluşmaz. Bu nedenle “talaşsız kesme” olarak adlandırılmıştır. Genel olarak kesme makasları ve bıçakları ile çalışan bir kesme yöntemidir. Makaslar ve bıçaklarda kesme işlemi kesilecek olan ürünün bir ucundan diğerine doğru gerçekleşir. Fakat giyotinlerde kademeli kesme ya da kırpma yerine bir hamlede kesme işlemi kullanılır.

3. Termik Kesme

Termik kesme, termik yöntemler kullanılarak malzemelerin aşındırılmasıyla kesilmesine dayanan bir kesme yöntemidir. Yakma, ergitme ve buharlaştırma olarak üç grupta incelenebilir. Yakma yönteminde, materyaller oksitlenerek yakılır. Yanan bölge yüksek hızlı oksijenli hava huzmesi yardımıyla uzaklaştırılır. Ergiterek kesme yönteminde, malzeme kesme ağzında ergitilerek kesilmesi sağlanır. Buharlaştırılarak kesme yöntemi, malzeme kesme ağzında buharlaştırılır. Sonrasında oluşan buhar ürünleri uzaklaştırılarak kesme ağzından uzaklaştırılır.

4. Su Jetiyle Kesme

Bu yöntemde, özel bir basınç arttırıcı tarafından basıncı yükseltilmiş olan su, bir lüleden geçirilerek yüksek hızlı su huzmesi elde edilir. Su jetinin çarpma etkisiyle kesilmek istenen malzeme aşındırılır. Böylece istenen şekil elde edilerek malzemenin kesme işlemi tamamlanır.

5. Ultrasonik Kesme

Ultrasonik kesme işleminde, ultrasonik jeneratör, ultrasonik dönüştürücü ve ses dalgaları yayan bir uç kısımlarından oluşan bir sistem mevcuttur. Ses dalgaları yayan uç arkasında kesici bir yüzey bulunan kumaş ile temas halindedir. Ses dalgaları

kullanılarak kumaş üzerinde bir çekiç etkisi yaratılır. Böylece kumaşta bulunan liflerin erimesi sağlanır ve kesme işlemi tamamlanmış olur (Pınarlık ve Abdulla 2015).

2.3 Lif Takviyeli Betonlar

Bulduğumuz çağın gerektirdiği ihtiyaçlar, teknolojinin de gelişmesine yardımcı olmuştur. Gelişen teknolojiyle betonun kullanım alanları da genişlemiştir. Bu sayede beton teknolojisi de önem kazanarak vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Bu gelişmeler araştırmalar ile kuvvetlenmiş ve daha iyi bir yapı malzemesi arayışının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yapılan araştırmalar, lifli beton teknolojisinin kapısını aralamıştır.

Beton yalnız başına sahip olduğu özellikler, mikro ve makro çatlak oluşumlarını önlemek için yeterli değildir. Bu dezavantajı betonu, metaller ve polimerler gibi malzemelere oranla daha kırılğan ve düşük çekme mukavemetine sahip bir yapı malzemesi yapar. Çelik, kırılma tokluğu değerlerine göre, çatlak büyümesine karşı betondan yüz kat daha dayanıklıdır (Banthia 1994).

Betonun özelliklerini, daha iyi yönde olacak şekilde değiştirmek amacıyla beton içerisine farklı oranlarda katılabilen ve belirli bir boy/çap oranına sahip, metalik, mineral veya doğal yapı malzemelerine “lif” adı verilir (Ünal ve diğ. 2007). Agregası, çimento, kum ve su gibi temel bileşenler ile üretilmiş olan betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla farklı miktarlarda lif katılan betonlara “lif katkılı betonlar (FRC)” adı verilir (Çakmak 2016). Kullanılacak malzemelerin iyi belirlenmesi, beton karışım hesaplarının iyi yapılması ve optimum dozajın iyi seçilmesi üretimi en iyi hale getirmektedir (Topçu ve Boğa 2005).

2.3.1 Betonda Kullanılan Bazı Lif Çeşitleri

1. Çelik Lif: Betonun zayıf özelliklerini geliştirmede en yaygın şekilde kullanılan malzemelerden birisi çelik liflerdir. Çelik lifler, yuvarlak halde bulunan tellerin kısa boylarda kesilmesiyle üretilir. Bölgesel gerilme kuvvetlerini dağıtır ve betona mukavemet katar. Çelik lifli

beton kullanımı, betonda kullanımına ihtiyaç duyulan inşaat demiri, demir ağ ve donatıların miktarını da azaltır. Çelik lif eklentisi, taze ve sert betonda meydana gelebilecek büzülme – genleşme etkenlerinin sebep olduğu çatlakları azaltır ve betonun darbe direncini yükseltir (TRP Readymix Ltd 2019).

2. Polipropilen Lifler: Çelik liflerden sonra en yaygın olarak kullanılan beton katkı liflerinden bir diğeri de polipropilen liflerdir. Polipropilen lifler betona üç boyutlu bir takviye sağlar ve bu sayede betonu daha sert ve dayanıklı hale getirir (Tapkın 2008).
3. Karbon Lifler: Karbon günümüzde yüksek mukavemet, elastisite modülü ve yüksek aşınma direnci özellikleri sayesinde beton sektöründe oldukça yoğun ilgi görmektedir (Dündar ve diğ. 2020). Karbon liflerin kullanıldığı kompozit yapılar, çelik yapılara oranla beş kat daha dayanıklı ve çelik yapıların beşte biri oranında ağırlığa sahiptir (Yaman ve diğ. 2007).
4. Cam Lifler: Cam elyaf ve cam lifler betonda düşük dozajlarda kullanıldığında (1 kg/m^3 'ün altında) oluşabilecek çatlakları ve geçirgenliği azaltır. Uzun vadede ise betonu aşındırıcı dış etkenlere ve kuvvetlere karşı korumaktadır. Yüksek dozajda kullanımlarda ($1-20 \text{ kg/m}^3$) ise işlenebilirliğini kolaylaştırdığı gibi betonun eğilme dayanımını da artırır ve betonun darbelere karşı direnç kazanmasını sağlar (Yaprak ve diğ. 2004).
5. Bazalt Lifler: Bazalt elyaf, 1400°C 'de eriyen bazalt kayaçlarından elde edilen bir lif türüdür. Bazalt elyaflar çevreye ve doğaya zararsızdır. Yüksek dayanıklılığa ve koruma özelliğine sahip olan bazalt lifler taze ve sert beton içerisinde oluşabilecek olan çatlakların önlenmesinde büyük rol oynar. Bu sayede çatlak genişliğini ve betonun geçirimliliğini azaltır. Ayrıca betonun çarpma dayanıklılığını arttırarak betonun mekanik özelliklerinin iyileşmesine yardımcı olur (Khalid 2018).

3. YÖNTEM

3.1 Materyal ve Metot

Çalışmaların tekstil alanında gerçekleştirilen bölümleri, “Trafik Analiz Merkezi Mühendislik & Danışmanlık San. Tic. Ltd. Şti.” firmasının AR-GE laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Beton üretimi ve beton testleri ile ilgili bölümler ise “Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı” çalışma alanında gerçekleştirilmiştir.

3.1.1 Tekstil ve Kimya Elemanları

3.1.1.1 Kullanılan Elyaf lar

Bu çalışmada literatür taramaları sonucunda tekstil ve inşaat sektöründe önemli bir kullanım alanına sahip olan karbon ve bazalt elyaf lar tercih edilmiştir (Tablo 3.1). Elyaf lar “Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş” firmasından temin edilmiştir (Resim 3.1).

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan elyaf ların özellikleri

Kullanılan Elyaf	Elyaf ın Ölçüsü
Bazalt Elyaf	600 Tex
Karbon Elyaf (12K)	800 Tex

3.1.1.1 Kullanılan Kimyasal Bağlayıcı ve Tutucular

Çalışmada üretilen bükümlü elyaf ların hangi kimyasal bağlayıcı ve tutucu ile daha iyi sonuç verdiğini gözlemek amacıyla birkaç kimyasal bağlayıcı ve tutucu denenmiştir. Mukavemet ve elastikiyet klasmanları içinde değerlendirilen reçineler arasından en uygunu seçilmiştir. Çalışmada elyaf lar ile en iyi uyumu sağlayacak kimyasal bağlayıcı ve tutucuyu bulmak amacıyla denemeleri yapılan reçineler Tablo 3.2’de verilmiştir.



Resim 3.1: Çalışmada kullanılan elyaflara ait bir görsel (soldan sağa, bazalt elyaf ve karbon elyaf)

Tablo 3.2: Kullanılan kimyasal bağlayıcı ve tutucuların özellikleri

Kimyasal Adı	Komponent Sayısı	Kurutma Yöntemi	Kurutma Sıcaklığı(°C)	Kurutma Süresi (sn)
Bisfenol A Reçinesi	A+B ¹	Isı veya mikrodalga yardımıyla kürlenme	80-100	120-180
Aminosilan Reçine	A ²	Isı veya mikrodalga yardımıyla kürlenme	100-200	100-120
Sıvı PVC Reçine	A ³	Oda koşullarında kürlenme	60-95	7200-14400
Poliüretan Reçine	A+B ⁴	Isı veya mikrodalga yardımıyla kürlenme	25-40	240-300
Sıvı Siyah Plastik Reçine	A+B ⁵	Oda sıcaklığında kürlenme	25-40	60
Hotmelt Reçine	A ⁶	Isı yardımıyla kürlenme	25-35	5-10
Katı Toz Alkol Reçine	A+B ⁷	Isı yardımıyla kürlenme	80-100	90-120
UV-Polyester Reçine	A ⁸	UV ışık yardımıyla kürlenme	UV Işık	10-15

1. 4 birim A, 1 birim B komponenti karıştırılır. İzopropil alkol ile çözelti oluşturulur.
2. A komponenti izopropil alkol ile çözünürleştirilir.
3. Tek komponent kullanılacak yüzeye direkt uygulanır.
4. 1 birim A, 1 birim B komponenti karıştırılarak uygulanır.
5. 1 birim A, 0,35 birim B komponenti karıştırılarak uygulanır.
6. Kullanılacak miktarda Hotmelt eritilerek uygulanır.
7. 1 birim PVA, 9 birim ılık su (40-60°C) ile sıcak halde karıştırılır. Oluşan çözeltinin viskozitesi sudan düşüktür.
8. Tek komponent direkt olarak uygulanır ve UV ışık ile kurutulur.

Kullanılan reçineler literatür taraması sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda deneme amacıyla kullanılmıştır. Bu reçineler arasında en iyi sonuç, “Remi Kimya San. Tic. Ltd. Şti.” firmasından temin edilen “Bisfenol-A diglisidil eter +C₁₂-C₁₄ alkil glisidil eter+sikloalifatik amin” kimyasal formülüne sahip olan “Bisfenol A Reçinesi” ile elde edilmiştir. Bu nedenle elyaflar “Bisfenol A Reçinesi” kullanılarak kaplanmıştır. Kullanılan diğer reçineler ihtiyaç duyulan özellikleri (sertlik, esneklik, kopma uzaması, mukavemet değerleri, elyafları kaplama özelliği) optimum ölçüde karşılayamadığı için elenmiştir.

3.1.1.2 İzopropil Alkol

Elyafların yüzeyinde homojen bir dağılıma ve kaplama etkisi gösterebilmesi amacıyla kimyasal bağlayıcı ve tutucuların, kıvamları ve akışkanlıkları %99.9 saflıkta “izopropil alkol” yardımıyla ayarlandı. Özellikle çift komponent olarak uygulanan kimyasalların yüksek viskoziteye sahip oldukları gözlemlendi. Elyaf bu şekilde kimyasalla kaplanamadığı için akışkanlıkları izopropil alkol ile artırılarak daha iyi bir sonuç elde edildi.

3.1.2 Beton Elemanları

3.1.2.1 Çimento

Mekanik beton mukavemet testi çalışmalarında kullanılmak üzere üretilen beton karışımında, “Portland CEM I 42.5R (TS EN 197-1:2012) Çimentosu” kullanılmıştır. Kullanılan çimento “Başaranlar İnşaat Malzemeleri Tic. ve San. A.Ş.” firmasından temin edilmiştir.

3.1.2.2 Su

Laboratuvar çalışmalarında mekanik beton mukavemet testi çalışmalarında kullanılmak üzere üretilen beton karışımında, “Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı” tarafından kullanılan Denizli şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.2.3 Kum

Mekanik beton mukavemet testi çalışmalarında kullanılmak üzere üretilen beton karışımında, “Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı” tarafından kullanılan silika kum-silis kumu (0.2-0.5 mm) kullanılmıştır.

3.1.3 Kullanılan Makine ve Ekipmanlar

3.1.3.1 Büküm Makinesi

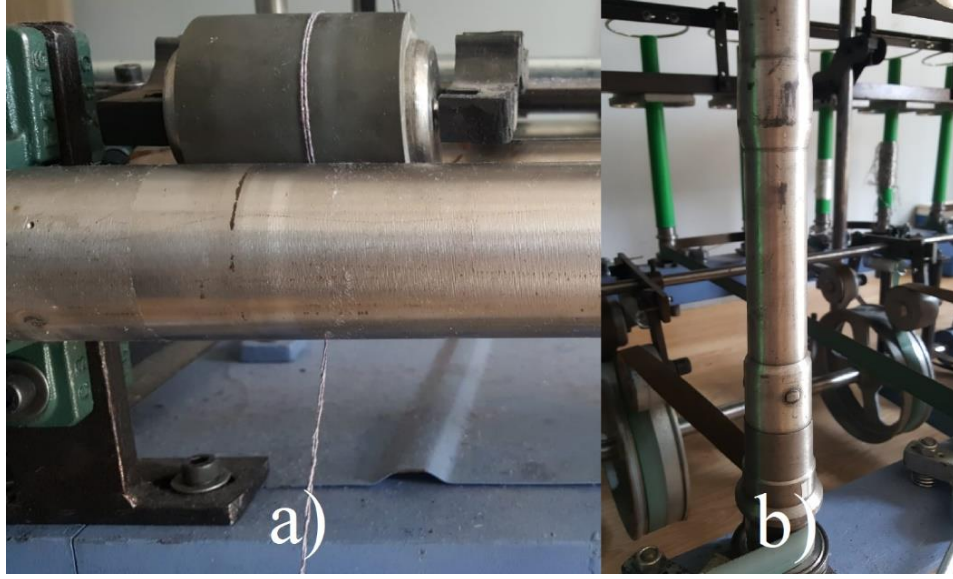
Çalışmanın tekstil bölümünde elyafların bükülerek belirli bir mukavemet ve düzgünlük kazanmasını sağlamak amacıyla tekstil sektöründe kullanılan “24 iğli Büküm Makinesi” kullanılmıştır (Resim 3.2).



Resim 3.2: Elyafların bükümünde kullanılan büküm makinesi

Kullanılan büküm makinesinin iğ silindirinin devri sabit olup iplik sevk silindirinin devri makine panelindeki değerlerin değişimine göre değişmektedir. Sevk silindiri hızı arttıkça metredeki büküm sayısı düşmektedir (Resim 3.3).

Makinenin bu çalışma prensibi kullanılarak, makine hız ayar panelinden, en düşük ayardan en yüksek ayara kadar olan bütün değerler hesaplanarak kaydedilmiştir. Sonrasında gerekli formüller kullanılarak bu değerlerin hangi büküme karşılık geldiği bulunmuştur. Tablo 3.3'te görüldüğü gibi makinenin gösterge panelinden okunan değerler “10-150” arasındadır.

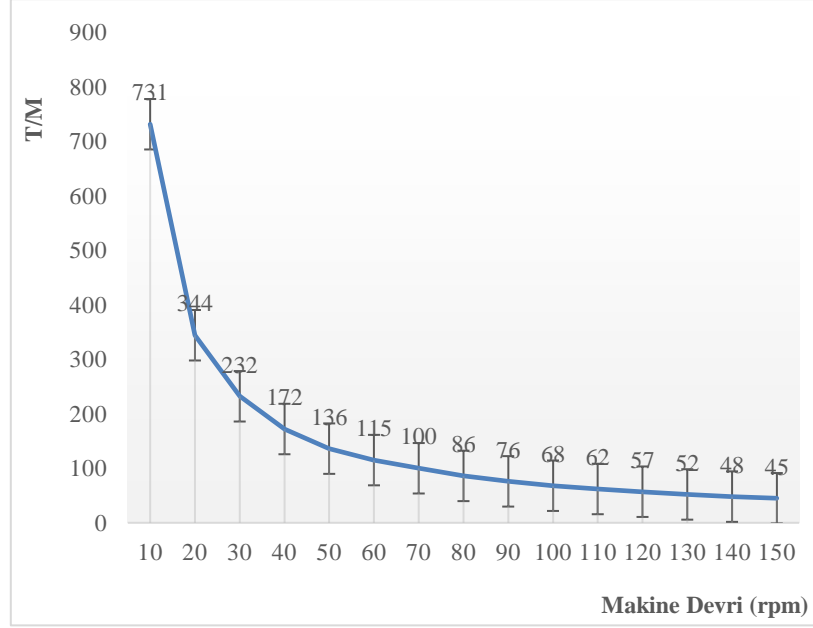


Resim 3.3: Ölçümleri yapılan a) sevk silindiri, b) iğ silindiri

Tablo 3.3: Makine-büküm devri tablosu

Makine Panel Değeri	Büküm (T/m)	Sevk Silindiri Devri (rpm)
10	731	14.2
20	344	30.2
30	232	44.8
40	172	60.3
50	136	76.1
60	115	90.5
70	100	105.2
80	86	120.8
90	76	135.8
100	68	151.7
110	62	166.8
120	57	181.4
130	52	198.3
140	48	213.8
150	45	228.9

Bu değerlere karşılık olarak metredeki büküm sayıları (T/m), takometre yardımıyla hesaplanan sevk silindirinin dakikadaki devrine (rpm) oranla hesaplanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Büküm-makine devri grafiği

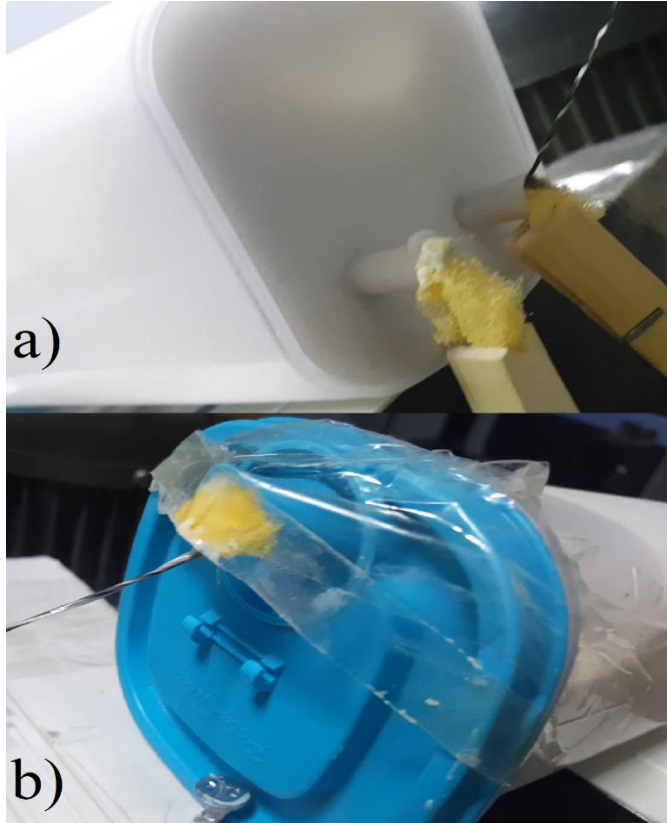
3.1.3.2 Kimyasal Haznesi

Endüstriyel iplik kurutma fırınının tasarımı dahilinde bulunan kimyasal hazne kullanılan yöntem ve kimyasal reçine için uygun olmaması sebebiyle kullanılamamıştır. Kimyasal reçinenin viskozitesi sebebiyle hazne görevini iyi bir randımanla yerine getirememiştir (Resim 3.4).



Resim 3.4: Randımansız çalışan kimyasal besleme haznesi

Bu sebeple kimyasal hazne olarak kullanılmak amacıyla “plastik kap” kullanılmıştır. Bu kabın kullanılması kimyasal reçinenin, bükümlü elyaflar üzerine daha iyi bir şekilde kaplanmasını sağlamış ve kullanım açısından büyük kolaylık sağlamıştır. Hazırlanan kimyasal reçine karışımı bu kap içerisine eklenerek kullanılmıştır. Kaplanacak olan iplik bu kap içerisinden geçirilerek kurutma fırınına sevk edilmiştir (Resim 3.5).



Resim 3.5: Plastik kap kullanılarak yapılan kimyasal haznesi a) bükümlü ham iplik girişi, b) kimyasal kaplı iplik çıkışı

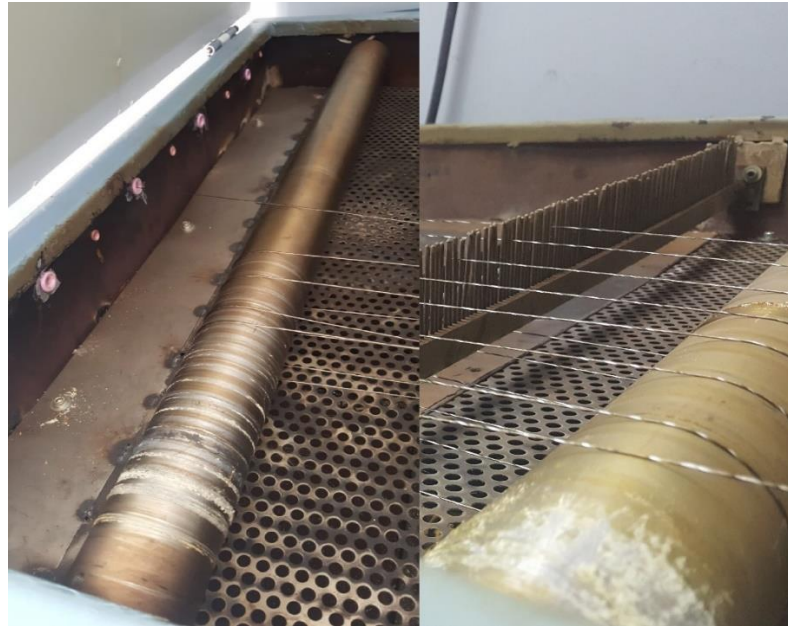
3.1.3.3 Endüstriyel Kurutma Fırını

Kurutma ve kürlenme işlemi, ısı yayma rezidansları bulunan endüstriyel iplik kurutma fırını kullanılarak yapılmıştır. Reçinelerin hangi sıcaklık aralıklarında ve ne kadar sürede kürlendiği denemeler ile bulunmuştur. Ayrıca elyafların fırın içerisindeki taraklardan kaç tur atarak geçeceği ve fırın içerisinde ne kadar süre kalması gerektiği de hesaplanmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.6: Fırın içindeki taraklardan elyafların geçirilmesi

Endüstriyel kurutma fırınının içerisinde iki adet sevk silindiri mevcuttur (Resim 3.7). İplikler bu silindirler vasıtasıyla fırın içerisinde sürekli bir hareket halinde bulunarak homojen bir kuruma sağlanmıştır. Sevk silindirlerinin hızı makine panelinde bulunan bir sayaç vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Ayrıca fırının sıcaklığı da bu panel aracılığıyla ayarlanmaktadır.



Resim 3.7: Endüstriyel kurutma fırını içerisindeki sevk silindirleri

Fırındaki sevk silindirlerinin devir hızları tıpkı büküm makinesinde olduğu gibi takometre yardımıyla ölçülerek bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 3.4). Bu tablo, ipliğin fırın içerisinde ne kadar süre boyunca ısıya maruz kaldığını ve bir dakikada kaç cm ipliğin fırın içerisine sevk edildiğini anlamamıza yardımcı olmuştur.

Tablo 3.4: Endüstriyel kurutma fırını hesap tablosu

Makine Panelindeki Değer	Takometre Değeri (RPM)	Çekilen İp (cm/dak)	Çekilen İp (m/dak)	Fırın İçinde Geçen Toplam Süre (dak)
10	4.2	92.40	0.9240	21 ⁵⁹
20	8.3	182.60	1.8260	11 ⁴⁵
25	10.4	228.80	2.2880	08 ⁴¹
30	12.4	272.80	2.7280	07 ¹²
35	14.5	319.00	3.1900	06 ¹²
40	16.6	365.20	3.6520	05 ²⁶
45	18.7	411.40	4.1140	04 ⁴⁹
50	20.7	455.40	4.5540	04 ²⁰

3.1.3.4 Elyaf Kırpma Makinesi

Kimyasal bağlayıcı reçine ile kaplanmış ve fırında kurutulmuş makro yapıdaki elyaflar, beton içerisinde kullanılmak üzere, basınçlı hava kompresörü ile çalışan bir kırpma bıçağı (giyotin) kullanılarak istenilen boylarda kırpılmıştır (Resim 3.8). Bu kırpma boyları fırında belirlenen sevk hızı ile orantılı olarak, giyotinin kesme-kırpma hareketini kontrol eden bir panel ayarı vasıtasıyla sağlanmıştır. Kırpma boyu ayarı için denemeler, istenilen boylarda kırpma yapılana kadar denenmiş ve bulunan sonuçlar kaydedilmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5: İstenen kırpma boylarına göre kırpma makinesi ayarları

Kesim Boyları (cm)	Kırpma Makinesi Panel Ayarı	Fırın Sevk Paneli Ayarı
2	32	20
3	32	30
4	32	45



Resim 3.8: a) Kırpma giyotini, b) kırılmış bazı elyaflar

3.1.3.5 Terazı

Çalışmada kullanılan elyafların ve imento miktarının hatasız ölçülmesi için laboratuvar terazı kullanılmıştır (Resim 3.9).



Resim 3.9: Elyafı ve çimentoyu tartmak için kullanılan laboratuvar terazisi

3.1.3.6 Kantar Terazı

Beton harcının hazırlanmasında kullanılan silika kumu-silis kumunun tartımında kantar terazı kullanılmıştır (Resim 3.10).



Resim 3.10: Tartım işlemlerinde kullanılan kantar terazi

3.1.3.7 Harç Mikseri

Hazırlanan beton harcının homojen bir şekilde karıştırılabilmesi için beton laboratuvarında kullanılan harç mikseri kullanılmıştır (Resim 3.11).



Resim 3.11: Beton harcının homojen olarak karıştırılması için kullanılan mikser

3.1.3.8 Numune Kalıpları

Çalışmada mekanik beton mukavemet testlerinde kullanılacak numuneleri üretmek için 40x40x160 mm boyutlarında dökme demirden üretilmiş numune kalıpları kullanılmıştır (Resim 3.12).



Resim 3.12: Beton numunelerinin hazırlanmasında kullanılan mekanik beton mukavemeti testi kalıbı

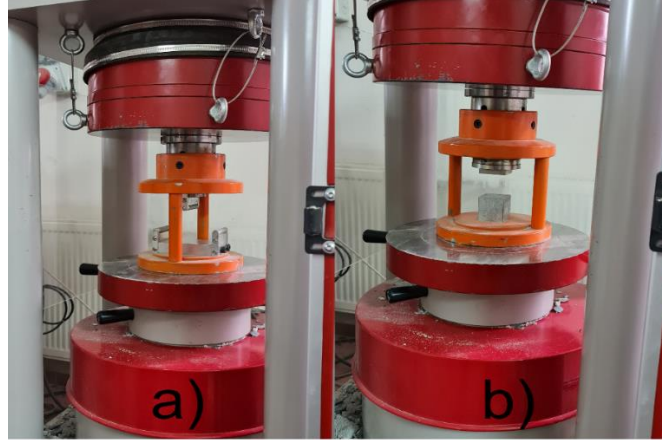
3.1.3.9 Beton Eğilme ve Basınç Ölçüm Cihazı

Betonun mekanik mukavemet testi ölçümü için Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarında faaliyet gösteren “BESMAK Hidrolik Basınç Test Makinesi” kullanılmıştır (Resim 3.13).



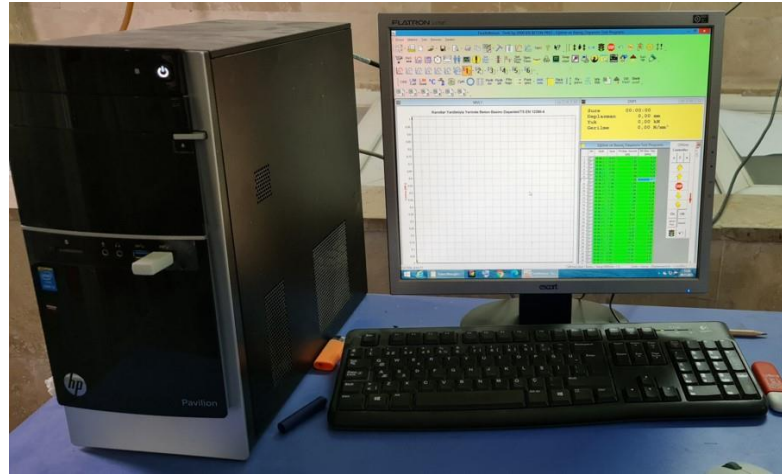
Resim 3.13: Testlerin yapılmasında kullanılan hidrolik basınç test makinesi sistemi

Bu cihazın iki özel çenesi mevcuttur. Bunlar, beton eğilme dayanımı testinin ve beton basınç dayanımı testinin 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelere uyarlanmış versiyonlarıdır. Çalışmada kullanılan bu çeneler Resim 3.14’te gösterilmiştir.



Resim 3.14: Testlerde kullanılan çeneler a) beton eğilme dayanımı çenesi b) beton basınç dayanımı çenesi

Ayrıca testlerin sonuçları, grafik diyağramı halinde “kN” cinsinden kaydeden bir bilgisayar yardımıyla kaydedilmiştir (Resim 3.15).



Resim 3.15: Test sonuçlarını ölçme ve kaydetme işlemi yapan bilgisayar

3.2 Deneysel Yöntem

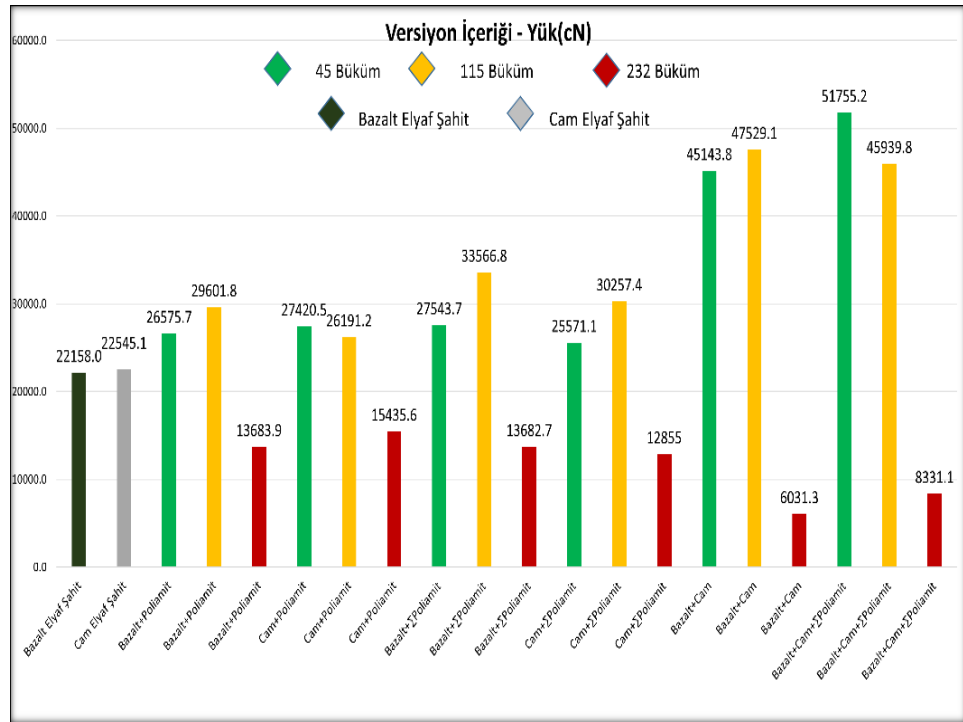
Çalışmanın tekstil alanındaki kısmı temelde, bazalt ve karbon elyafların belirli bir büküm ayarında birbirleriyle bükülerek makro bir iplik türetilmesi ve akabinde kimyasal reçine ile kaplanıp kurutulmasıyla yüksek mukavemetli bir iplik eldesi olarak tanımlanabilir. İnşaat sektörü alanındaki kısmı ise, üretilen bu elyafların belirli boylarda kırılarak, belirli bir dozajda beton numunelerinin içerisine yerleştirilmesi ve bu numuneleri şahit beton numunelerine oranla eğilme ve basınç dayanımlarının karşılaştırılması olarak özetlenebilir.

3.2.1 Büküm İşlemi

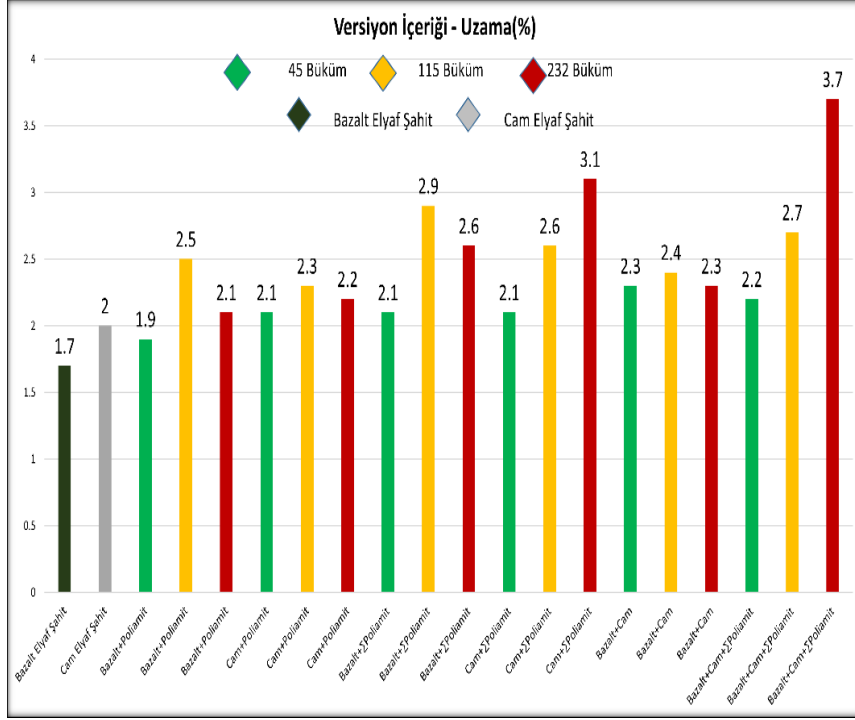
Çalışmada kullanılan elyaflar ilk olarak birlikte bükülerek bir büküm tipi oluşturulmuştur. Makinenin ayarlarında belirlenen büküm sayıları tek tek denenmiş ve aralarından üç farklı kademede farklı büküm sayısı belirlenmiştir. Bu büküm sayıları 45, 115 ve 232 T/m olarak seçilmiştir.

Trafik Analiz Merkezi Mühendislik & Danışmanlık San. Tic. Ltd. Şti. tarafından bu çalışmadan ayrı olarak yürütülen bir ar-ge çalışmasında kullanılmak üzere, kimyasal kaplama işlemine tabi tutulmadan bükülen cam elyaf, bazalt elyaf ve poliamid elyafların farklı oranlarda karışımlarından oluşan deneme numuneleri, optimum büküm oranının belirlenmesi amacıyla “Ekoteks Laboratuvar ve Gözetim Hizmetleri A.Ş.” laboratuvarlarında “ISO 2062:2009 Metot A STATIGRAPH” standardında iplik kopma mukavemeti testlerine tabi tutulmuştur.

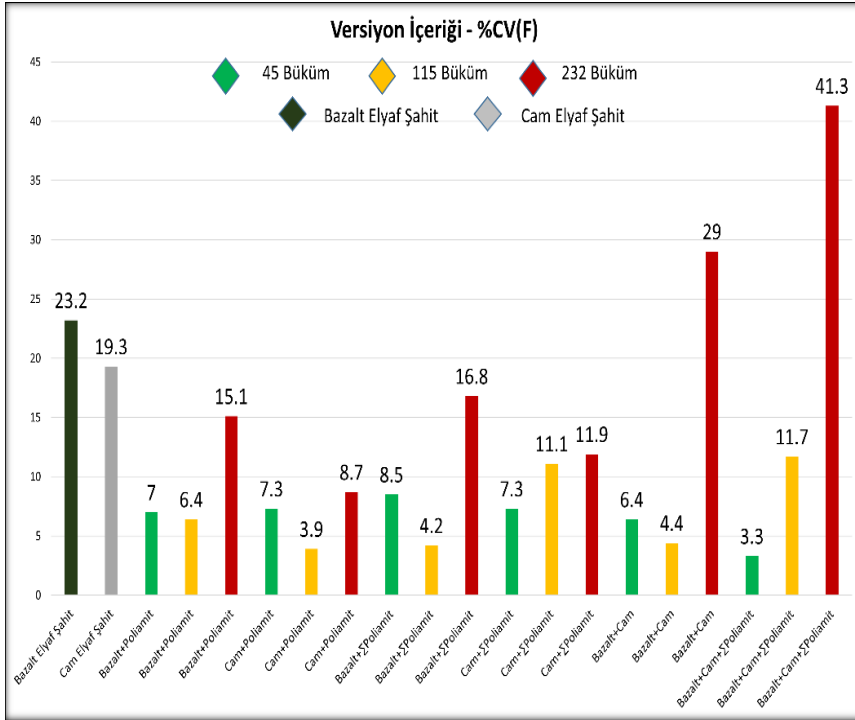
Bu çekme kopma testlerinin değerlendirilmesi, yük (cN), %uzama, %CV (F), %CV (uzama) ve RKM değerlerince olup ilgili sonuç grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekil 3.2-6).



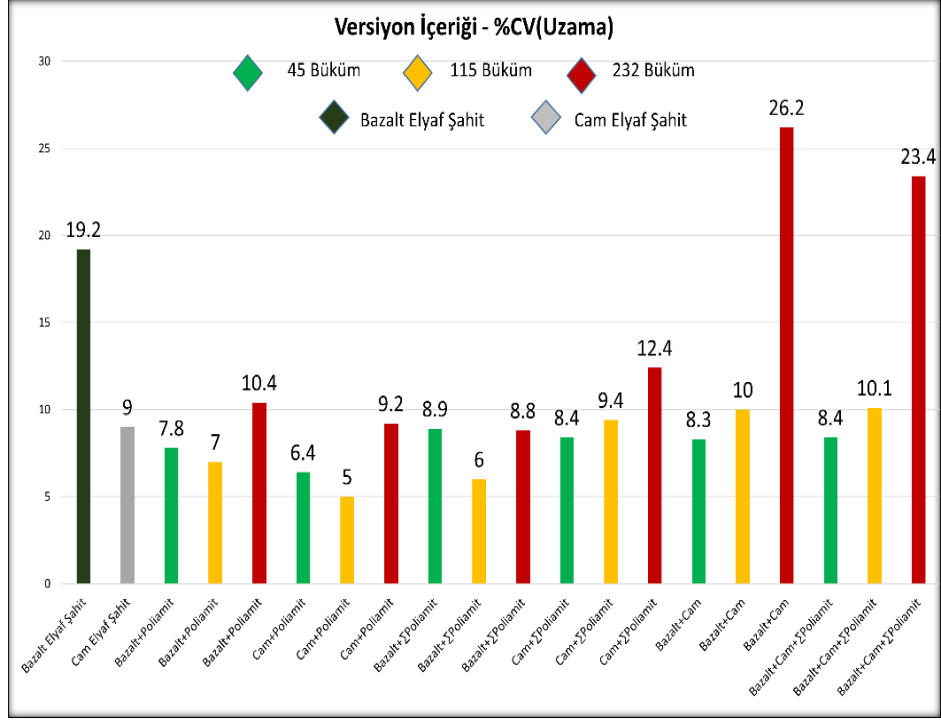
Şekil 3.2: Numune içeriği-yük (cN) grafikleri



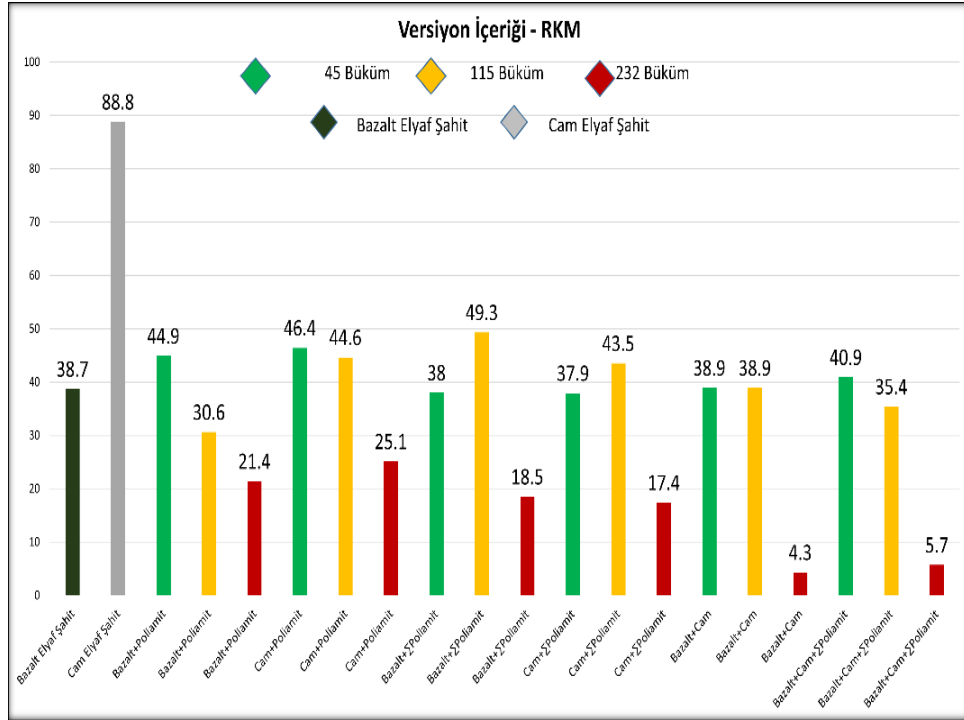
Şekil 3.3: Numune içeriği-% uzama grafikleri



Şekil 3.4: Numune içeriği-% CV (F) grafikleri



Şekil 3.5: Numune içeriği-% CV (Uzama) grafikleri



Şekil 3.6: Numune içeriği-RKM grafikleri

Yapılan bu testler, kullanılacak olan büküm ayarlarının belirlenmesi ve hangi bükümün nasıl bir performans vereceğini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

Grafiklere göre bakıldığında en iyi yük dayanımı, uzama ve diğer sonuçların “115 büküm” değerinde elde edildiği belirlenmiştir.

“45 büküm” değerine sahip iplikler yüksek yük dayanımına sahip olmasına rağmen, yük dayanımı da dahil olmak üzere diğer test sonuçlarında, “115 büküm” değerinin test sonuçlarından geri kalması sebebiyle deneylerde kullanılmamıştır. Ayrıca iplikte düşük büküm olması sebebiyle ipliklerin “%uzama” oranlarının ve dolayısıyla esnekliklerinin düşük olması da bu tercihte büyük rol oynamıştır.

“232 büküm” değerine sahip ipliklerin, diğer bükümlere oranla çok fazla büküme sahip olmasından dolayı yüksek “%uzama” değerlerine sahip olmasına rağmen, kılcal kopmalar ve yer yer iplik üzerinde düzgünsüzlüklerine sahip olduğu gözlenmiştir. İplikte oluşan bu sorunlar, ipliğin yük karşısında dayanıklılığını kaybedip çabucak kopmasına sebep olmuştur. Bu nedenle “232 büküm” değeri deneylerde kullanılmamak üzere elenmiştir.

Test sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda, bu çalışmada kullanılmış olan bazalt ve karbon elyafların “115 büküm” değerinde bükülerek işleme devam edilmesi kararı alınmıştır.

İşleme tabi tutulacak olan bazalt ve karbon elyaflar büküm makinesinde bükülmek üzere cağlara yerleştirilmiştir. Makinenin gösterge panelindeki değer “60” değerine getirilmiştir. Büküm makinesinin kalibrasyon ölçümlerinde gösterilen büküm-makine devri grafiğine göre “60” değerinin “115 büküme” karşılık geldiği bilinmektedir (bkz. Şekil 3.1). Makine istenilen ayarlarda ayarlandıktan sonra farklı bileşimler belirlenmiştir. Bu elyaf bileşimleri Tablo 3.6’da verilmiştir.

Elyaf içerikleri ve tex değerlerine göre 1000 g bükülmüş iplik üretmek için gereken iplik uzunluğu ve üretim süreleri Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.6: Üretilecek olan elyafların bileşimleri

Elyaf İçeriği	1. Elyafın Tex Değeri	2. Elyafın Tex Değeri	Toplam Tex	Versiyonlar
Bazalt+Bazalt Elyaf	600	600	1200	Versiyon 1
Bazalt+Karbon Elyaf	600	800	1400	Versiyon 2
Karbon+Karbon Elyaf	800	800	1600	Versiyon 3

Tablo 3.7: Çalışmalarda büküm işlemine tabi tutulan versiyonların üretim hesaplamaları

Versiyon	Toplam Tex	Üretilmesi Gereken Uzunluk (m) ¹	İhtiyaç Duyulan Üretim Süresi (dak.) ²	Büküm Sayısı (T/m)
Versiyon 1	1200	833	46	115
Versiyon 2	1400	714	40	115
Versiyon 3	1600	625	35	115

1. Toplamda 1000 g bükülmüş iplik üretmek için gerekli iplik uzunluğu.
2. 1000 g ipliği üretmek için gereken üretim süresi.

Elyafların bu şekilde karma versiyonlar halinde bükülmesinin temel nedeni, farklı türlerdeki elyaf karışımlarının beton karışımı ile etkileşimi ve beton testleri sonuçları üzerindeki etkisinin gözlemlenmek istenmesidir. Bu nedenle üç farklı kombinasyona sahip elyaf bileşimi deneylerde kullanılmıştır.

Resim 3.16'da “Bazalt elyaf+bazalt elyaf” bileşimine sahip olan ipliklerin bükme işlemi sırasında çekilmiş bir resmi görülmektedir.



Resim 3.16: Elyaf bükümü yapılırken (Versiyon 1)

Her versiyondan ihtiyaç duyulan 1000 g üretime ulaşıldıktan sonra elyaflar kimyasal reçine kaplanması için hazırlanmıştır.

3.2.2 Kimyasal Bağlayıcı Reçine Kaplama

Büküm işlemleri tamamlanan versiyonlar, kimyasal reçine ile kaplanmak üzere hazırlanmıştır. Kullanılan reçine “Bisfenol A Reçinesi” çift komponentli (A ve B) olarak kürlenmiş bir reçine türüdür.

A Komponenti: Bisfenol A ve C₁₂-C₁₄ alifatik glisidil eter içeriğine sahiptir. Kimyasal Bileşimi: Bisfenol-A diglisidil eter + C₁₂-C₁₄ alkil glisidil eter

Uygulama şekli: B komponenti ile 1A:1B veya 4A:1B oranlarında karıştırılarak kürlenme işlemi başlatılır.

B Komponenti: Epoksi sistemler için “Sikloalifatik amin” esaslı bir sertleştirici komponenttir.

A+B Karışımı: Belirtilen oranlarda karıştırılan komponentlerin toplam çalışma süresi ortamın sıcaklığına bağlı olarak 20-40 dk. arasında değişmektedir. En yüksek sıcaklık dayanımı 180°C’dir. Karışımın kürlenmiş hali, kopma kuvveti dayanımı 600 kgf ve uzama kuvveti 1.21 kgf değerlerine sahiptir (Bu bilgiler reçinenin temin edildiği firma tarafından hazırlanmış olan teknik bilgi formundan alınmıştır). Resim 3.17’de kimyasal reçine karışımı hazırlanırken çekilmiş bir fotoğraf görülmektedir.



Resim 3.17: Kimyasal reçine karışımının hazırlanması

Bu çalışmada 4A+1B karışım oranı kullanılmıştır. Hazırlanan karışım izopropil alkol kullanılarak istenilen akışkanlığa getirilmiştir. Sonrasında hazırlanan reçine kimyasal haznesine boşaltılıp belirlenen versiyon iplikler bu kimyasal haznesi içerisinden geçirilerek kimyasal reçine ile kaplanması sağlanmıştır. Kimyasal reçine ile kaplanan iplikler direkt olarak fırına sevk edilerek işleme devam edilmiştir.

3.2.3 Reçine Kaplı İpliklerin Fırında Kürlenmesi

Kimyasal bağlayıcı reçine ile kaplanan versiyon iplikler, kimyasal kürlenme ve sertleşme işleminin tamamlanması için endüstriyel fırın sistemine sevk edilmiştir. Fırında kurutma süreleri endüstriyel kurutma fırını hesap tablosunda bulunan değerlere göre belirlenmiş ve kurutma sıcaklığı olarak 90°C kullanılmıştır (bkz. Tablo 3.4).



Resim 3.18: Fırının içerisindeki tur sayıları

Kullanılan fırın çalışma devri 45 olarak belirlenmiştir. Bu devirde fırının içerisinden, dakikada 4.1140 metre iplik geçmektedir. Reçine kaplı iplikler fırın içerisindeki taraklarda yedi tur atarak sekizinci ve son turda fırın dışarısına çıkacak şekilde ayarlanmıştır (Resim 3.18). Bu ayarlara göre, fırın içerisinde sekiz tur atan ipliğin uzunluğu 19.82 metre olarak hesaplanmıştır. 19.82 metre ipliğin fırın içerisinden geçmesi 4 dakika 49 saniye olarak ölçülmüştür. Bu süre hesaplamasına göre üretilecek olan ipliklerin süreleri toplam kurutma süreleri hesaplanmıştır (Tablo 3.8).

Tablo 3.8: Reçine kaplı elyafların toplam kurutma süreleri

Versiyon	İplik Uzunluğu (m)	Toplam Kurutma Süresi (dk.)
Versiyon 1	833	203
Versiyon 2	714	174
Versiyon 3	625	152

Kurutma ve kürlenme işlemleri tamamlanan iplikler iğlere sarılarak kırpma işlemi için hazırlanmıştır.

3.2.4 Kürlenmiş İpliklerin Kırılması

Endüstriyel fırında kürlenme işlemi tamamlanan ipliklerin, yapılan literatür taraması ve endüstriyel alanlarda kullanılan beton liflerinin araştırılması sonucunda üç farklı boyda kırılmasına karar verilmiştir (Resim 3.19). Karar kılınan kırpma boyları şu şekildedir:

- 2 cm,
- 3 cm,
- 4 cm.

Bu çalışmada ipliklerin beton içerisinde farklı boylarda kullanılmasının amacı, beton içerisindeki davranışları ve beton testlerinin sonuçlarına olan etkisinin gözlemlemektir. Yapılan araştırmalarda beton içerisinde kullanılan lif ve elyafların boylarının taze ve sert beton üzerinde birçok etkisi olduğu öğrenilmiştir. Bu nedenle liflerin farklı türlerde karışımlarının etkisi yanında liflerin boylarının da etkisini gözlemlemek amacıyla bu çalışmada farklı kırpma boylarının etkisi de incelenmek üzere kararlaştırılmıştır.



Resim 3.19: Kırılan elyafların bazıları a) B+B 4cm, b) K+B 4cm, c) K+K 4cm

Kırpma makinesi, bağlı olduğu hava kompresörünün sağladığı hava basıncı ile kesme hareketini gerçekleştiren bir giyotinden oluşur (bkz. Resim 3.8). Giyotinin kesme aralıkları cihaz üzerinde bulunan bir panel vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Giyotine kırılacak olan elyaf beslemesi endüstriyel fırının sevk silindirleri yardımıyla sağlanmaktadır. Dolayısıyla elyaf kesim aralıkları endüstriyel fırın üzerinde bulunan sevk hızı panelinden ayarlanmıştır. Giyotin üzerinde bulunan panelde, giyotinin kırpma hızı sabit tutulmuştur. Yani kırpma uzunlukları, sürekli aynı hızda kesim yapan giyotine giren elyafın hızı değiştirilerek ayarlanmıştır (Tablo 3.9).

Tablo 3.9: Kırpma giyotini kırpma ayarları

İstenen Kırpma Boyları (cm)	Kırpma Giyotini Kesim Devri⁽¹⁾	Endüstriyel Fırın İplik Sevk Devri⁽¹⁾	Fırın Sevk Hızı Metrede Sevk Edilen İplik (m/dak)⁽²⁾
2	32	20	1.8260
3	32	30	2.7280
4	32	45	4.1140

1. Cihazlar üzerinde bulunan panelde verilen gösterge değerleridir.
2. Endüstriyel kurutma fırını hesap tablosunda verilen fırın sevk hızlarına göre metre cinsinden dakikada sevk edilen iplik miktarıdır (bkz. Tablo 3.4).

Yapılan ayarlara göre, iplik sevk hızı, “2 cm” kırpma boyunda “20” olarak belirlenmiştir. Bu durum ipliklerin sahip olduğu toplam uzunluk (V1:833, V2:714, V3:625 metre) hesaba katılınca kırpma sürelerinin fazla uzun olacağı düşünülmüş ve her versiyonun toplam uzunlukları 3’e bölünerek istenen boylarda kesim sağlanmıştır. Bu sayede kırpma için gereken süreler kısaltılmış ve aynı zamanda oluşabilecek hataların önüne geçilmesi sağlanmıştır. Örneğin; 833 metre uzunluktaki “Versiyon 1” üç ayrı iğe aktarılmıştır. Böylece uzunlukları 277, 278 ve 278 metre olan üç ayrı iğde bulunan “Versiyon 1” iplikleri elde edilmiştir. Bu iğler sırasıyla 2 cm, 3 cm ve 4 cm olarak kırılarak işleme devam edilmiştir.

Kırpma süreleri endüstriyel fırının sevk hızına oranla değişmektedir. Üç bölünmüş iplik uzunlukları, hangi boy kırılmak isteniyorsa o kırpma boyuna ait olan sevk hızının dakikada kaç metre iplik sevk ettiğine oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Tablo 3.10). Yani kırpma süreleri,

$$t = \frac{d}{V}$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Burada:

t = Kırpma süresi (dk.)

d = Toplam uzunluğun üçe bölünmüş uzunluğu (m)

V = Endüstriyel fırının belirlenen kırpma boyuna karşılık gelen iplik sevk hızıdır (m/dk).

Tablo 3.10: Versiyonların farklı boylar için kırılma süreleri

Kırılan Versiyon	Toplam Uzunluk (m)	Üçe Bölünmüş Uzunlukları (m)	Kırpma Süreleri (dk.)		
			2 cm	3 cm	4 cm
V. 1	833	277.66	152	102	68
V. 2	714	238	131	88	58
V. 3	625	208.33	114	76	51

Bu şekilde bütün versiyonlar kırılarak eşit miktarlarda üretim sağlanmıştır. Her versiyon için toplamda en az 1000 g olacak şekilde, her bir kırpma boyunda, kırılmış elyaf üretilmiştir (Tablo 3.11). Ayrıca her 3 versiyondan da hata payı olarak ekstradan 250 g elyaf üretilmiştir.

Tablo 3.11: Üretilen kırılmış elyafların miktarı (g)

Elyaf İçeriği	Üretilen Kırpma Boyları Miktarı (g)			Toplam Miktar (g)
	2 cm	3 cm	4 cm	
Versiyon 1	344.23	335.00	338.20	1017.43
Versiyon 2	339.55	348.71	344.68	1032.94
Versiyon 3	353.90	347.84	344.00	1046.74

Hazırlanan elyaflar, beton içerisinde lif dozajının etkisini gözlemlemek amacıyla üç farklı dozajda kullanılmak üzere ayrılarak paketlere bölünmüştür. Beton içerisine katılmak üzere paketlere ayrılan elyaflar Resim 3.20'de görülmektedir.



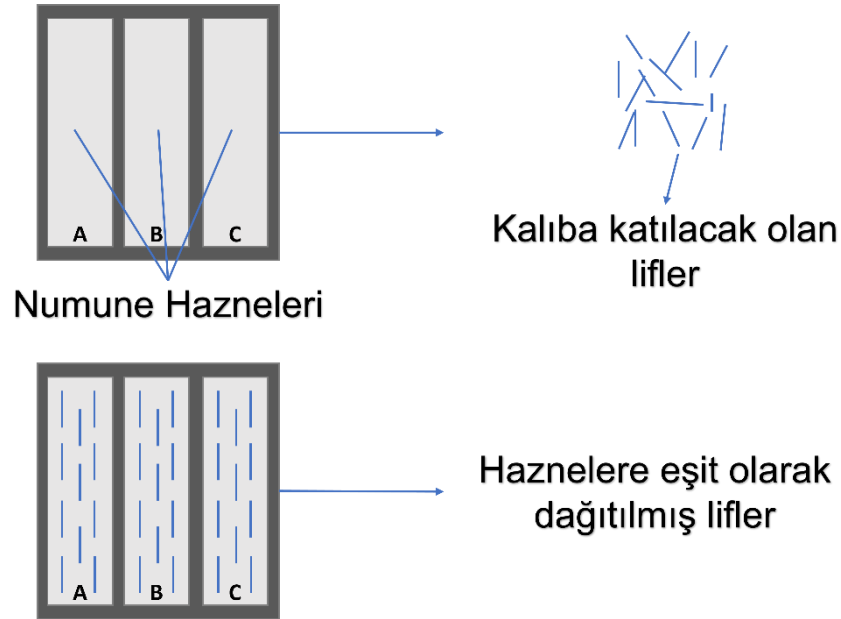
Resim 3.20: Elyafın boyuna ve bileşimlerine göre paketlenmiş halleri

Yapılan literatür taraması doğrultusunda, endüstride kullanılan lif türlerinin, beton içerisinde farklı farklı lif dozajları kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılan lif dozajları şu şekildedir:

- 2 g,
- 3 g ve
- 4 g.

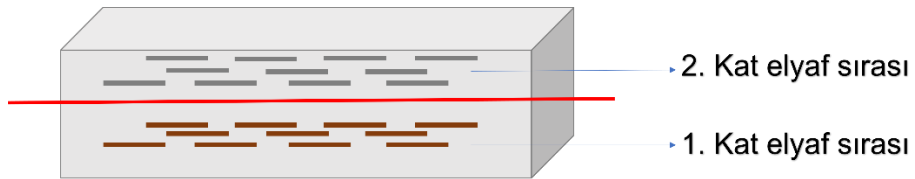
Seçilen bu değerler her bir beton numune kalıbı için seçilmiştir. Betonda mekanik mukavemet dayanımı testi için kullanılan numune kalıpları 3 ayrı numune haznesi içermektedir (bkz. Resim 3.12). Bu numune haznelerinin toplamı için 2, 3 ve 4 g elyaf kullanılmıştır.

Daha iyi anlaşılması için bir kalıbı ele alalım, bu kalıp 3 ayrı numune haznesi içermektedir. Bu kalıba katılacak lif dozajı 2 g olarak belirlenmiş olsun. Bu 2 g lif, kalıbın her bir haznesine eşit miktarda denk gelecek şekilde dağıtılarak kullanılmıştır. Bu eşit dağıtım şekli, her bir dozaj miktarının içerdiği lif sayısı tek tek sayılarak hesaplanarak yapılmıştır. Örneğin versiyon 2’de 2 g lif içeren bir pakette 120 adet lif var olduğunu varsayalım. Bu 120 adet lif sayısı 3’e bölünmüş ve her bir hazneye toplamda 40 adet lif denk gelecek şekilde dağıtılmıştır. Elyafın haznelere ne şekilde dağıtıldığı Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7: Kullanılan liflerin beton numuneleri içerisinde eşit olarak sıralanma şekli

Beton içerisindeki liflerin yönelimleri, taze ve sert betona etki eden bir başka faktördür. Araştırmalar sonucunda liflerin beton içerisinde dağılımlarının betonun mukavemetini ve elastisitesini etkilediği görülmüştür. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak çalışmalarda liflerin, beton numunelerinin uzun kenarına paralel gelecek şekilde sıralanması kararlaştırılmıştır. Ayrıca elyaflar numune haznelere tek kat halinde değil her bir haznede iki kat olacak şekilde sıralanmıştır. Yani bir kat beton harcı üzerine düzenli bir şekilde bir sıra elyaf sıralanmış sonra üzerine bir kat harç eklenmiştir ve ikinci kat harcın üzerine bir kat elyaf sırası daha sıralanmıştır. Sonrasında hazne komple harç ile doldurulmuştur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Elyafların numune haznelere nasıl yerleştirildiğini tasvir eden bir görsel

3.2.5 Beton Karışımının Hazırlanması

Betonda katkı malzemesi olarak kullanılması planlanan iplik versiyonlarının üretimi tamamlandıktan sonra beton karışımları ve karışımlarda kullanılacak olan malzemelerin miktarları hesaplanmıştır. Karışımlar belirlendikten sonra çalışmalara Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem ve Yapı

Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nda devam edilmiştir. Beton numunelerinde kullanılmak üzere belirlenen beton karışım oranları Tablo 3.12'de belirtilmiştir.

Tablo 3.12: Beton harç bileşimi

Harç Materyali	Miktar (g)	Türü
42.5 R Portland Çimentosu	400	Çimento
Silika-Silis Kumu	1420	Kum (ince)
Şebeke Suyu	290 (ml)	Su

Beton mekanik mukavemet testinde kullanılmak üzere “42.5 R Portland Çimentosu”, laboratuvar ortamında nem ve dış etkenlerden etkilenmemesi amacıyla beton karışımının hazırlanacağı günlerde tartılmış ve o gün içerisinde kullanılmıştır (bkz. Resim 3.21).



Resim 3.21: Tartım işlemi tamamlanan çimentolar, harç karışımında kullanılmak üzere paketlenmiştir

Beton numuneleri için harçlar hazırlanmadan önce numune için kullanılacak olan kalıplar temizlenmiş sonrasında kalıp yağı ile homojen bir şekilde yağlanmıştır (Resim 3.22). Kalıplar yağlandıktan sonra harç hazırlama işlemine geçilmiştir.



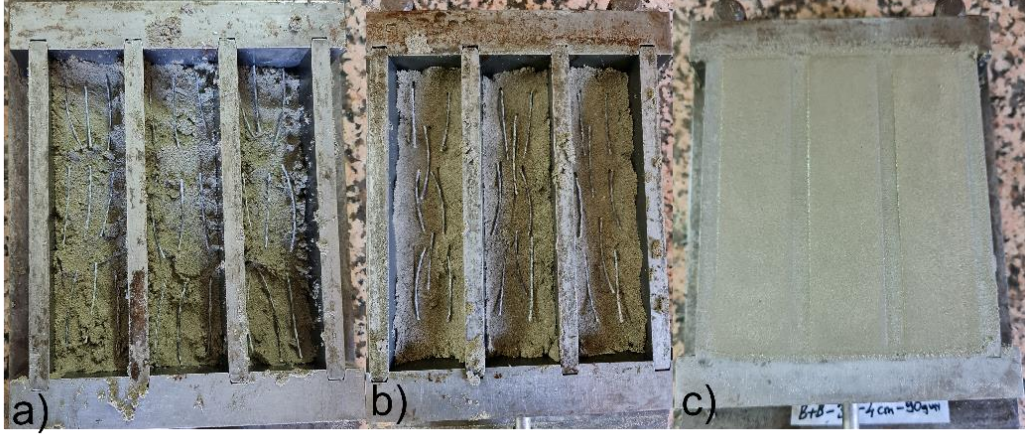
Resim 3.22: Kalıpların yağlanması

Gerekli olan materyaller hazırlandıktan sonra laboratuvarında kullanılan beton mikseri vasıtasıyla harçlar hazırlanmıştır (bkz. Resim 3.11). Harçların hazırlanmasında, ilk olarak kum ve çimento, karışıma su eklenmeden harmanlanmıştır. Güzelce harmanlanan karışıma ölçü kabıyla ölçülen suyun bir miktarı eklenerek çimentonun su ile hızlıca tepkime vermesinin önüne geçilmek amaçlanmıştır. Bir süre bu şekilde karışan harç üzerine kademe kademe kalan su eklenmiştir. Bu eklemeler yapılırken mikser sürekli karıştırma halinde çalıştırılmıştır. Harçlar hazırlanırken bu önemli noktalara dikkat edilmiştir. Harçlar hazırlandıktan sonra kalıplara harç ve elyaf doldurma işlemine geçilmiştir. Elyafli numunelere geçmeden önce her kürlenme günü (2, 7, 28, 90 gün) için 1 adet şahit numune kalıbı hazırlanmıştır (Resim 3.23).



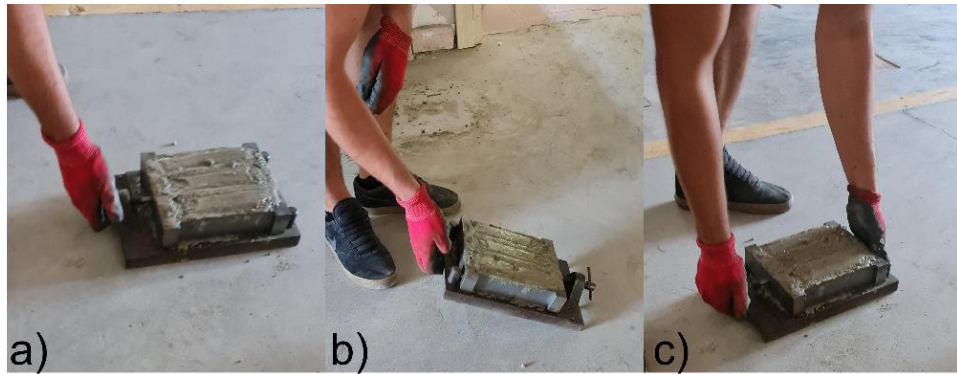
Resim 3.23: Şahit numune harcının kalıplara döküm aşaması

Bu işlemlerde elyafların düzgün bir sıra sıralanmasına ve çift kat halinde eklenmesine dikkat edilmiştir. Her elyaf katından sonra harç eklenerek en son kalıp komple harç ile doldurulmuştur (Resim 3.24).



Resim 3.24: Elyafların kat kat ve belirli bir düzene göre sıralanması a) birinci elyaf katı b) ikinci elyaf katı c) sıkıştırılmış ve temizlenmiş numune kalıbı

Elyaflar belirlenen kata ve sıraya göre düzenlendikten sonra numune kalıbı komple harç ile doldurulmuştur. Beton içerisinde oluşabilecek olan hava boşlukları ve düzensizliklerin önüne geçilebilmesi amacıyla, ön taraf, arka taraf ve iki taraftan birden tutularak 60'ar defa yere vurulmuştur. Toplamda 180 defa yere vurulan kalıpların içerisinde bulunan betonun homojen bir şekilde sıkışması ve betondaki hava boşluklarının giderilmesi sağlanmıştır (Resim 3.25).



Resim 3.25: Harç doldurma işlemi tamamlanan kalıpların yere vurularak sıkıştırılması, a) ön tarafın 60 defa vurulması, b) arka tarafın 60 defa vurulması, c) çift taraftan tutularak 60 defa vurulması

Sıkıştırma işlemi tamamlanan kalıpların çevreye dökülen, kalıp üzerinde kalan fazla beton harçlarının temizlenmesi ve pürüzsüz bir numune yüzeyi oluşturulabilmesi amacıyla düz ve ince bir spatula vasıtasıyla kalıpların üzeri düzeltilmiştir (Resim

3.26). Bu düzeltme işlemi aynı zamanda numunenin çatlamasını önlemektedir. Ayrıca yüzeye çıkan fazla harç ve suyun giderilmesini kolaylaştırır.



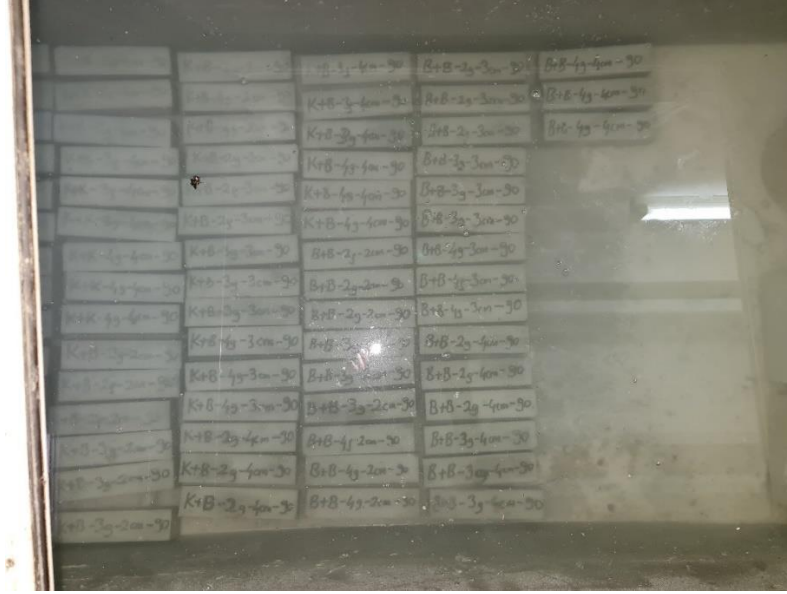
Resim 3.26: Kalıpların düz ve ince bir spatula yardımıyla düzeltilmesi

Düzeltilme işlemi biten kalıplar 24 saat boyunca 22-25°C aralığında sıcaklıkta muhafaza edilerek betonun ön kürlenme işlemini tamamlaması sağlanmıştır (Resim 3.27).



Resim 3.27: Ön kürlenmeye bırakılmış beton kalıpları

Ön kürlenme işlemini tamamlayarak sertleşen beton numuneleri ertesi gün kalıplardan çıkarılmış ve etiketlenerek kürlenme havuzuna koyulmuştur. Kürlenme havuzunda 22-25°C aralığındaki suda, belirlenen kürlenme sürelerine kadar bekletilmiştir (Resim 3.28).



Resim 3.28: Havuzda bekletilen 90 günlük beton numuneleri

Beton numuneleri için belirlenen kürlenme süreleri şu şekildedir:

- 2 gün,
- 7 gün,
- 28 gün ve
- 90 gün.

Beton yapısı gereği, asıl mukavemetinin büyük bir kısmına en az 28 gün sonra ulaşmaktadır. 90 gün sonunda ise beton testleri için en yüksek mukavemet değerine yaklaşır. Bu çalışmada farklı kürlenme sürelerinin seçilmesinin sebebi, farklı zamanlarda kürlenmiş betonların mukavemetlerinin gözlenmek istenmesidir. Çalışmada belirlenen beton döküm şeması aşağıda verilmiştir. Burada 2 günlük numuneler, bir kalıp bulunan 3 haznenin 1 tanesine dökülmüştür. Kalıpta kalan 2 hazneye 7 günlük numuneler dökülmüştür. Yani 2 ve 7 günlük numuneler aynı kalıplarda hazırlanmıştır. 28 günlük ve 90 günlükler için kalıpların tamamı kullanılmıştır. Aşağıda beton döküm şemasını içeren Tablo 3.13’de numunelerin veriliş sırası; “Elyaf bileşimi (versiyon) – lif dozajı – lif uzunluğu – kürlenme süresi” olarak sıralanmıştır (Tabloda geçen “1, 2 ve 3” değerleri numune sayılarıdır.).

Tablo 3.13: Beton döküm şeması

Şahit Numuneler	2 günlük	7 günlük	28 günlük	90 günlük
	1	2	3	3
B + B	2 günlük	7 günlük	28 günlük	90 günlük
2 g – 2 cm	1	2	3	3
3 g – 2 cm	1	2	3	3
4 g – 2 cm	1	2	3	3
2 g – 3 cm	1	2	3	3
3 g – 3 cm	1	2	3	3
4 g – 3 cm	1	2	3	3
2 g – 4 cm	1	2	3	3
3 g – 4 cm	1	2	3	3
4 g – 4 cm	1	2	3	3
B + K	2 günlük	7 günlük	28 günlük	90 günlük
2 g – 2 cm	1	2	3	3
3 g – 2 cm	1	2	3	3
4 g – 2 cm	1	2	3	3
2 g – 3 cm	1	2	3	3
3 g – 3 cm	1	2	3	3
4 g – 3 cm	1	2	3	3
2 g – 4 cm	1	2	3	3
3 g – 4 cm	1	2	3	3
4 g – 4 cm	1	2	3	3
K + K	2 günlük	7 günlük	28 günlük	90 günlük
2 g – 2 cm	1	2	3	3
3 g – 2 cm	1	2	3	3
4 g – 2 cm	1	2	3	3
2 g – 3 cm	1	2	3	3
3 g – 3 cm	1	2	3	3
4 g – 3 cm	1	2	3	3
2 g – 4 cm	1	2	3	3
3 g – 4 cm	1	2	3	3
4 g – 4 cm	1	2	3	3

Kürlenme süreleri tamamlanan beton numuneleri havuzdan çıkarılıp 10-15 dk. açık havada kurutularak beton testleri için hazırlanmıştır. Betonun mekanik mukavemet testleri iki aşamadan oluşmaktadır; bunların ilki numunenin ortasından baskı yapılarak eğilme dayanımının ölçüldüğü 3 noktalı eğilme dayanımı mukavemet testi diğeri ise eğilme dayanımı testinde ikiye ayrılan numunelerin ayrı ayrı beton basınç mukavemeti testidir.

3.2.6 Beton Mukavemet Testleri

Beton eğilme dayanımı mekanik mukavemet testinde kullanılmak üzere hazırlanan 40x40x160 mm ölçülerine sahip numuneler ile yapılmıştır. 3 farklı noktadan basınca tabi tutulan beton numunesine, tam ortadan baskı yapan baskı kolu, numunenin ortadan ikiye ayrılmasına kadar basınç yüklemeye devam ettirilmiştir. Beton sahip olduğu eğilme mukavemetini kaybettiği anda makinenin sensörleri bunu fark ederek otomatik olarak durmaktadır. Böylece deneyin sonlandırılma noktası kolay tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar laboratuvar test cihazına bağlı iş bilgisayarındaki prog vasıtasıyla kaydedilmiştir (bkz. Resim 3.15).

Beton basınç dayanımı testleri, eğilme dayanımı testlerinden elde edilen numunelerin 2 yarım parçası ile yapılmıştır. Bu iki yarım beton parçası, basınç testine tabi tutularak beton basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Değerler test makinesine bağlı iş bilgisayarı vasıtasıyla kaydedilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınarak test edilen numunenin beton basınç mukavemeti bulunarak kaydedilmiştir. Bu çalışmada beton testleri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan test cihazında gerçekleştirilmiştir (bkz. Resim 3.13).

Kullanılan test sistemi vasıtasıyla çalışmada hazırlanan şahit ve elyaf katkıli beton numunelerinin, beton eğilme dayanımları ve beton basınç dayanımları test edilmiştir. Resim 3.29'da bazı numunelerin test aşamalarını gösteren bir görsel verilmiştir.



Resim 3.29: Bazı numunelerin beton eğilme ve basınç dayanımı testleri

4. BULGULAR

4.1 OPÇ'nin Kimyasal Analiz Sonuçları

Deneysel Çalışmalarda kullandığımız OPÇ 42.5R çimentonun kimyasal analizi gravimetrik ve volumetrik kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: OPÇ 42.5 R çimentosunun kimyasal analizi

Bileşenler	Ağırlıkça (%)
SiO ₂	20.61
Al ₂ O ₃	4.44
Fe ₂ O ₃	3.84
CaO	63.05
MgO	2.04
SO ₃	1.87
Na ₂ O	0.19
K ₂ O	0.57
Kızdırma Kaybı	2.52

Kimyasal analiz sonuçlarına göre toplam bileşim %99.13'tür. Diğer kalan kısım ise minör bileşenler olduğu için tespit edilememiştir.

4.2 Beton Testleri Sonuçları

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem ve Yapı Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nda test edilen numuneler, 2, 7, 28 ve 90 gün aralıklarında kürlenme süreleri ile test edilmiş ve sonuçlar bu şekilde verilmiştir. 2 günlük betonlarda 1 adet numune, 7 günlük betonlarda 2 adet aynı numune, 28 ve 90 günlük betonlarda ise 3'er adet aynı numune ile çalışılmıştır.

Değerlerde numune isimleri:

Elyafın bileşimi (örneğin bazalt elyaf+bazalt elyaf bileşiminde ise B+B) + elyafın dozajı (örneğin 2 g elyaf katılan numune ise 2 g)+elyafın uzunluğu (örneğin numunede, 2 cm uzunluğundaki elyaflar kullanılmışsa 2 cm) şeklinde kodlanmıştır.

Beton basınç dayanımları, her numune için 2 adet bulunmaktadır. Sebebi eğilme dayanımında kullanılan numunenin, ortadan ikiye ayrılan yarımlarının numune olarak kullanılmasıdır. Bu iki yarımın basınç dayanımı sonuçlarının ortalaması alınarak bir numunenin basınç dayanımı bulunmuştur. Bu son numuneden 2 günlük numuneler için 1 adet, 7 günlük numuneler için 2 adet, 28 ve 90 günlük numuneler için ise 3 adet bulunmaktadır.

4.2.1 Eğilme Dayanımı Mukavemet Testleri Sonuçları

Eğilme dayanımı testleri sonucunda bulunan kırılma anındaki uygulanan yük (F_f), “Kilonewton (kN)” biriminden “Newton (N)” birimine çevrildikten sonra aşağıdaki formülde yerine konarak değerler “MPa” biriminde elde edilmiştir. Bu değerler tablolar ve grafikler halinde gösterilmiştir.

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3}$$

Burada;

R_f : Eğilme dayanımı (N/mm²),

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm²),

F_f : Prizmanın kırılma anında ortadan uygulanan kuvvet (N),

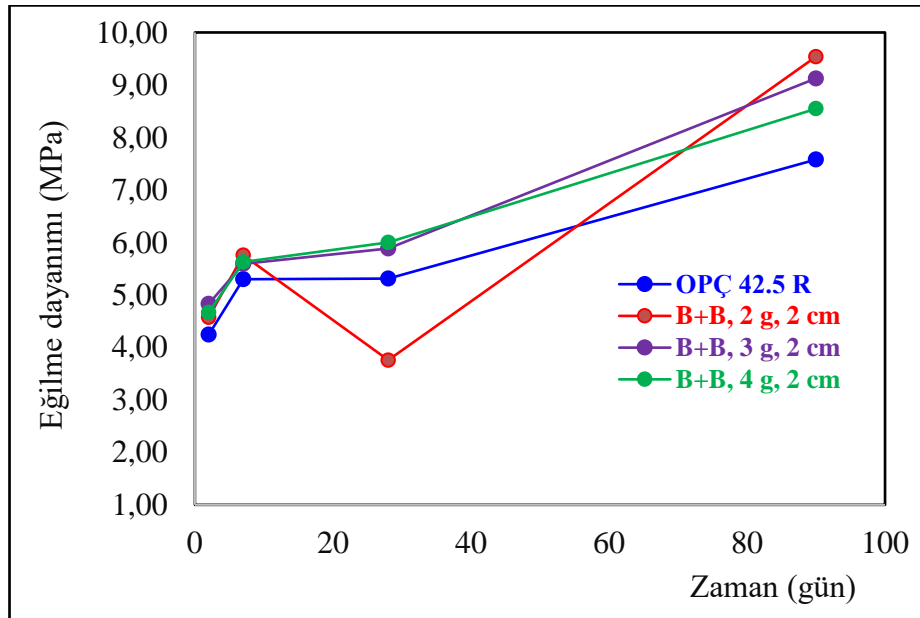
l : Mesnetler arasındaki uzaklık (mm) şeklinde tanımlanır.

4.2.1.1 2 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

2 cm boylarında kırılmış olan bazalt elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.2 ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.2: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	B+B, 2 g, 2 cm	B+B, 3 g, 2 cm	B+B, 4 g, 2 cm
2	4.24	4.57	4.83	4.66
7	5.30	5.75	5.59	5.63
28	5.31	3.76	5.88	6.00
90	7.58	9.54	9.13	8.55



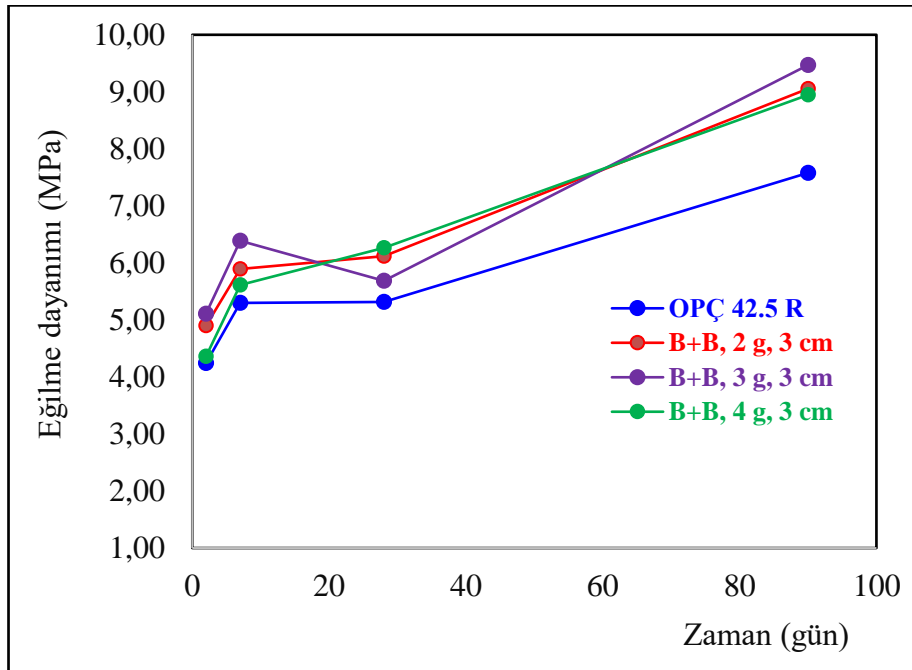
Şekil 4.1: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.1.2 3 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

3 cm boylarında kırılmış olan bazalt elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.3 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.3: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	B+B, 2 g, 3 cm	B+B, 3 g, 3 cm	B+B, 4 g, 3 cm
2	4.24	4.90	5.11	4.36
7	5.30	5.89	6.39	5.61
28	5.31	6.12	5.69	6.27
90	7.58	9.05	9.47	8.95



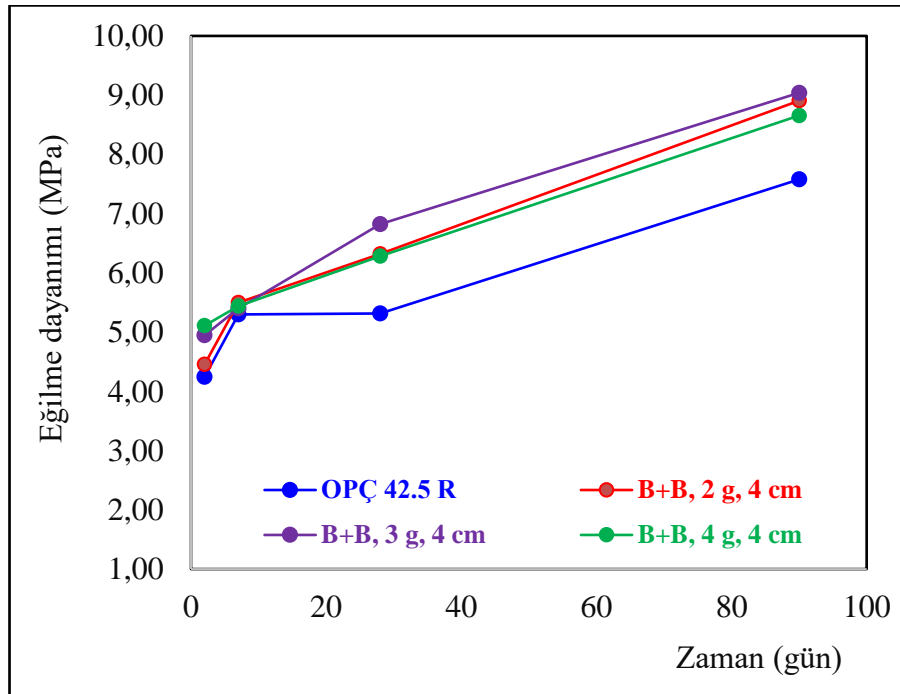
Şekil 4.2: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.1.3 4 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

4 cm boylarında kırılmış olan bazalt elyaf + bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.4 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.4: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	B+B, 2 g, 4 cm	B+B, 3 g, 4 cm	B+B, 4 g, 4 cm
2	4.24	4.45	4.95	5.11
7	5.30	5.50	5.40	5.44
28	5.31	6.32	6.82	6.28
90	7.58	8.91	9.04	8.66



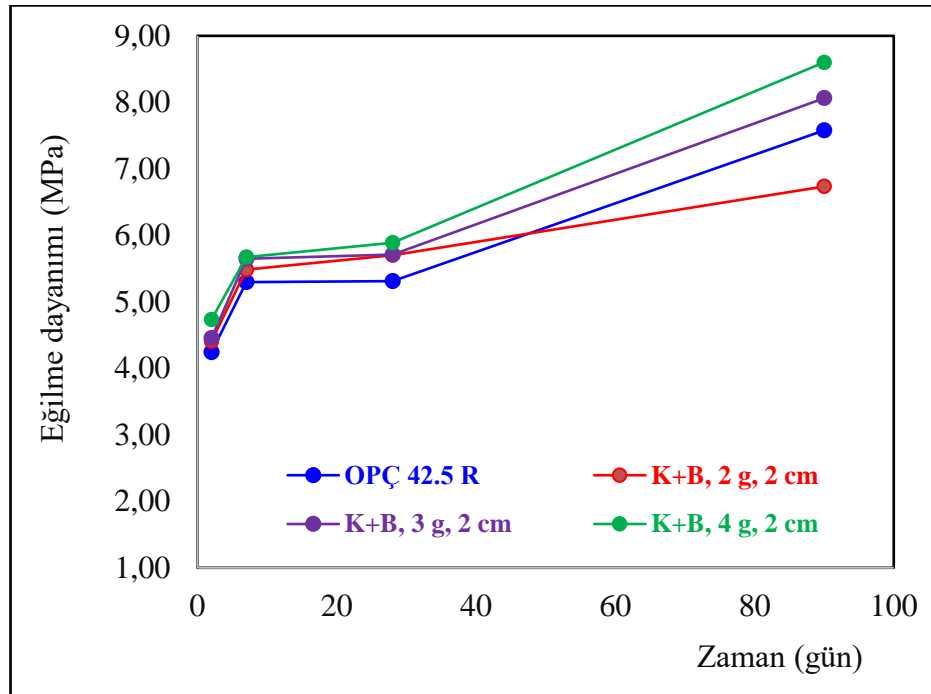
Şekil 4.3: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.1.4 2 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

2 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.5 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.5: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+B, 2 g, 2 cm	K+B, 3 g, 2 cm	K+B, 4 g, 2 cm
2	4.24	4.41	4.45	4.73
7	5.30	5.48	5.65	5.67
28	5.31	5.70	5.71	5.89
90	7.58	6.73	8.06	8.60



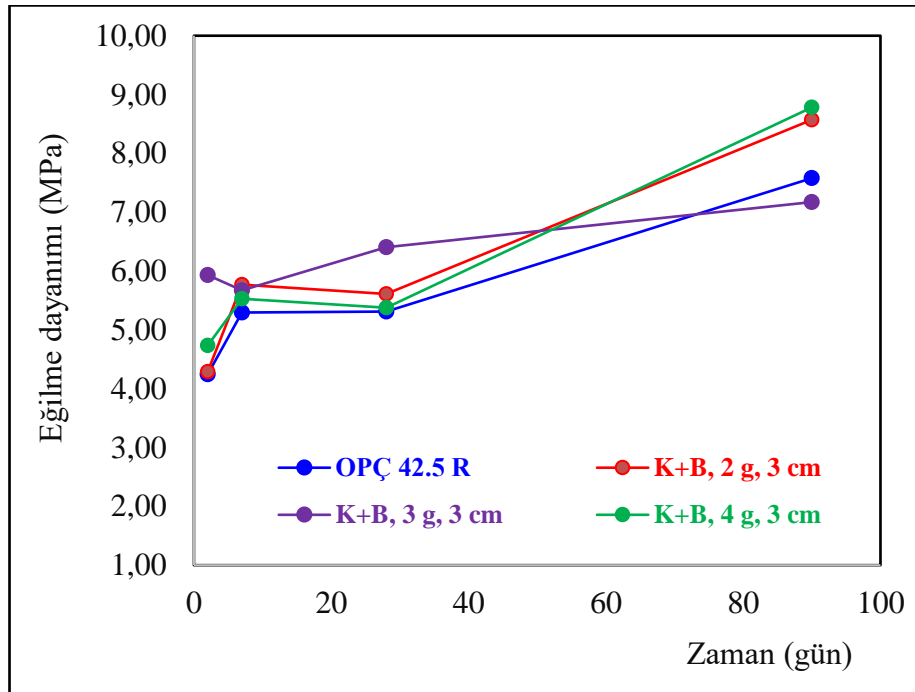
Şekil 4.4: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.1.5 3 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

3 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.6 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.6: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+B, 2 g, 3 cm	K+B, 3 g, 3 cm	K+B, 4 g, 3 cm
2	4.24	4.29	5.93	4.73
7	5.30	5.77	5.67	5.53
28	5.31	5.61	6.41	5.38
90	7.58	8.57	7.17	8.78



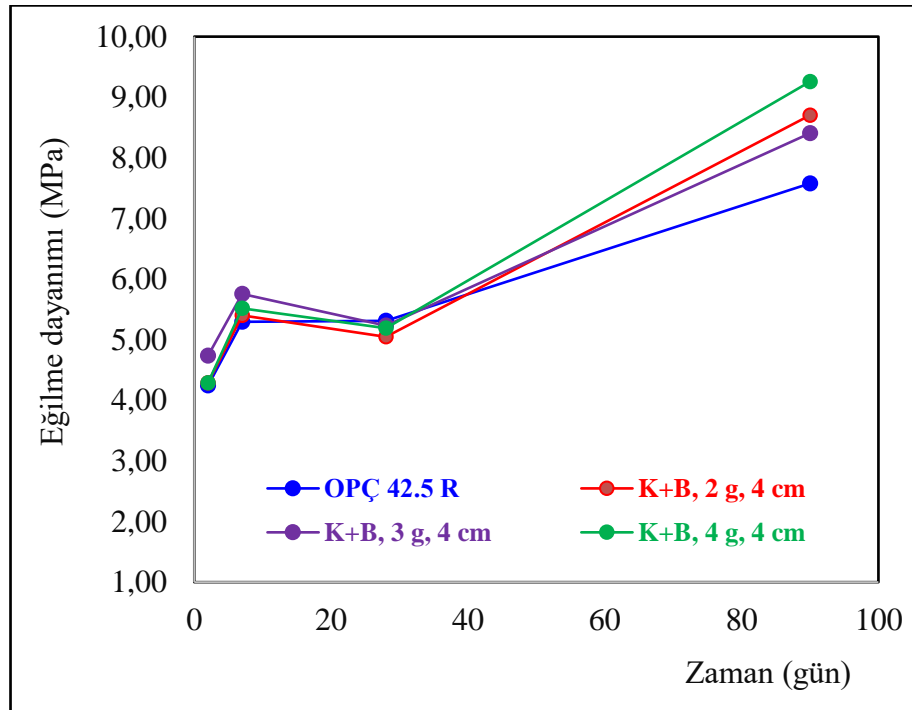
Şekil 4.5: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.1.6 4 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf + Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

4 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.7 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.7: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+B, 2 g, 4 cm	K+B, 3 g, 4 cm	K+B, 4 g, 4 cm
2	4.24	4.29	4.73	4.29
7	5.30	5.40	5.75	5.52
28	5.31	5.05	5.23	5.19
90	7.58	8.70	8.41	9.26



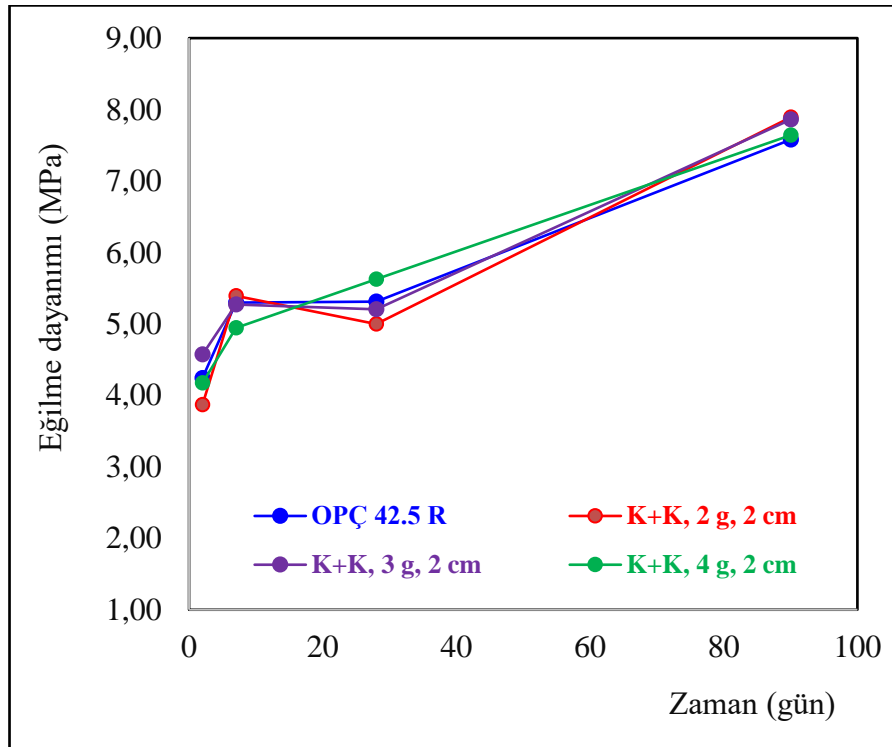
Şekil 4.6: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.1.7 2 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

2 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+karbon elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.8 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.8: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+K, 2 g, 2 cm	K+K, 3 g, 2 cm	K+K, 4 g, 2 cm
2	4.24	3.87	4.57	4.17
7	5.30	5.39	5.27	4.95
28	5.31	5.00	5.20	5.63
90	7.58	7.89	7.86	7.64



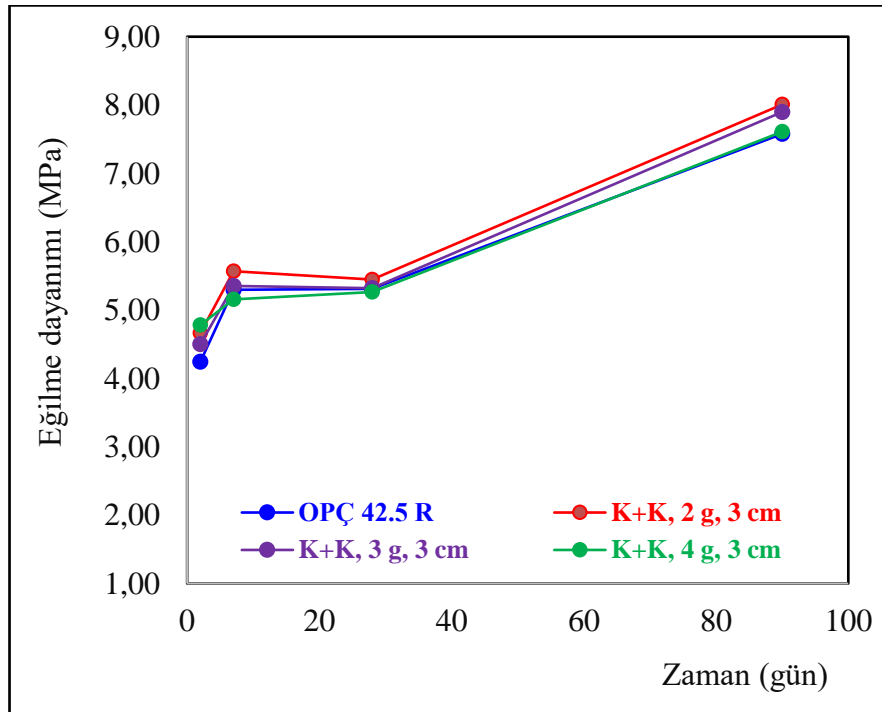
Şekil 4.7: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.1.8 3 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

3 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf + karbon elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.9 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.9: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+K, 2 g, 3 cm	K+K, 3 g, 3 cm	K+K, 4 g, 3 cm
2	4.24	4.66	4.50	4.78
7	5.30	5.57	5.36	5.16
28	5.31	5.45	5.32	5.27
90	7.58	8.01	7.90	7.61



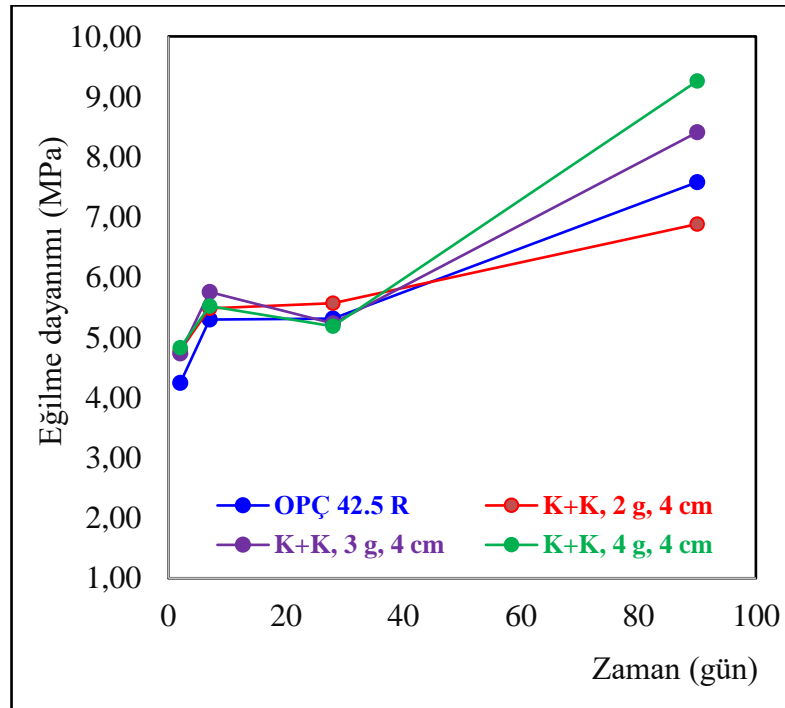
Şekil 4.8: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.1.9 4 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Eğilme Dayanımı Sonuçları

4 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+karbon elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.10 ve Şekil 4.9'de verilmiştir.

Tablo 4.10: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+K, 2 g, 4 cm	K+K, 3 g, 4 cm	K+K, 4 g, 4 cm
2	4.24	4.78	4.73	4.83
7	5.30	5.48	5.75	5.52
28	5.31	5.57	5.23	5.19
90	7.58	6.88	8.41	9.26



Şekil 4.9: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2 Basınç Dayanımı Mukavemet Testleri Sonuçları

Basınç dayanımı testleri sonucunda bulunan kırılma anındaki uygulanan yük (F_f), “kiloNewton (kN)” biriminden “Newton (N)” birimine çevrildikten sonra aşağıdaki formülde yerine konarak değerler “MPa” biriminde elde edilmiştir. Bu değerler tablolar ve grafikler halinde gösterilmiştir.

$$R_f = \frac{F_f}{A}$$

Burada;

R_f: Basınç dayanımı (N/mm²),

F_f: Numuneyi kıran maksimum yük (N),

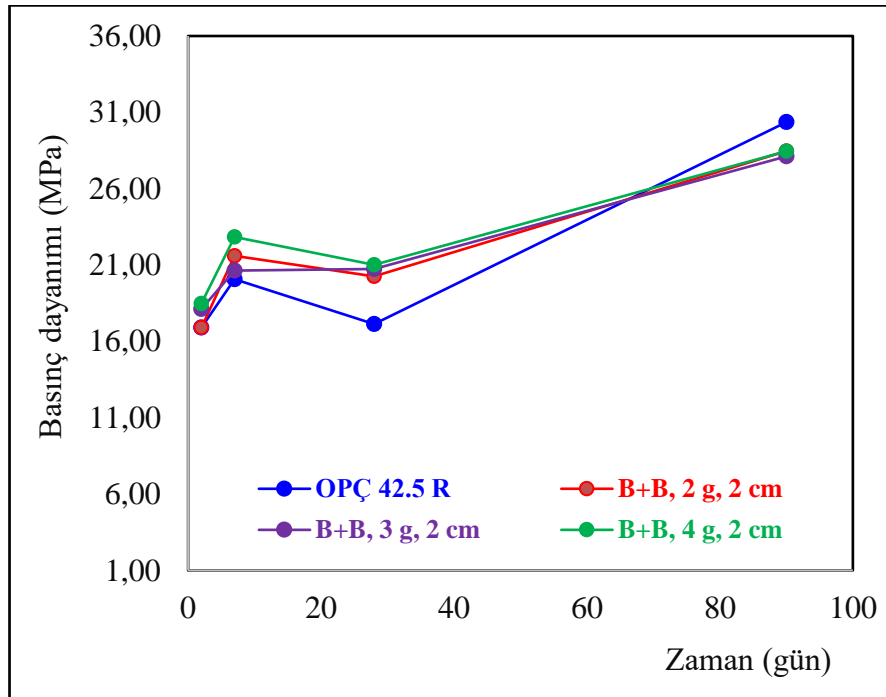
A: Numunenin yüzey kesit alanı (mm²) şeklindedir.

4.2.2.1 2 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

2 cm boylarında kırılmış olan bazalt elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.11 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.11: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	B+B, 2 g, 2 cm	B+B, 3 g, 2 cm	B+B, 4 g, 2 cm
2	16.90	16.89	18.12	18.48
7	20.08	21.59	20.65	22.83
28	17.14	20.26	20.73	21.02
90	30.36	28.46	28.11	28.45



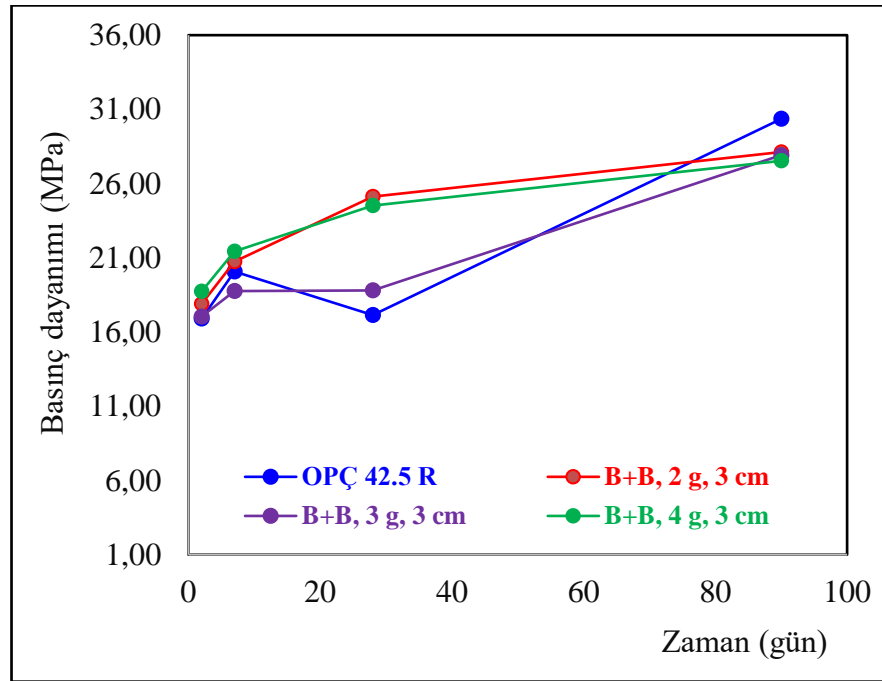
Şekil 4.10: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2.2 3 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

3 cm boylarında kırılmış olan bazalt elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.12 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.12: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	B+B, 2 g, 3 cm	B+B, 3 g, 3 cm	B+B, 4 g, 3 cm
2	16.90	17.89	17.04	18.73
7	20.08	20.74	18.76	21.43
28	17.14	25.11	18.80	24.52
90	30.36	28.13	27.91	27.53



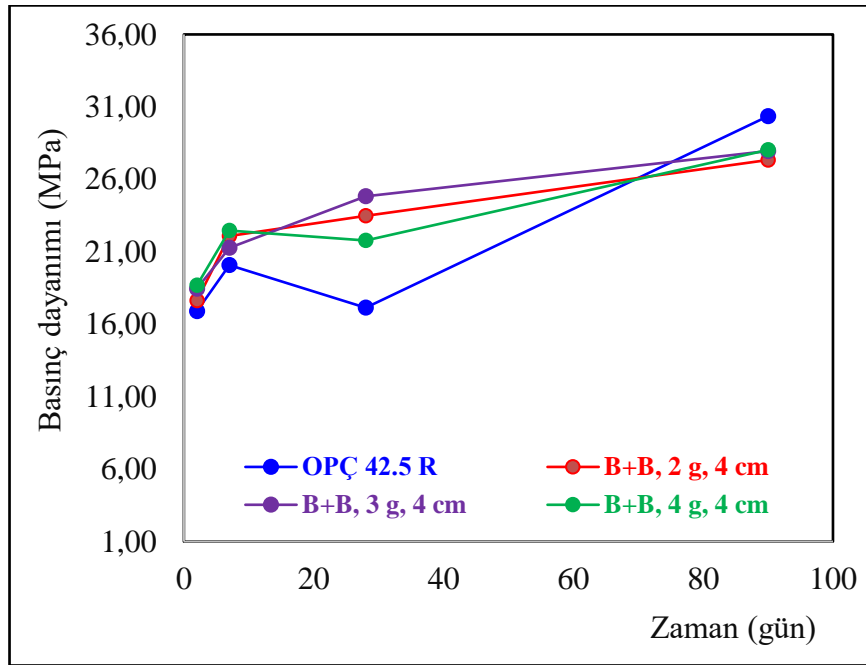
Şekil 4.11: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2.3 4 cm Lif Boyunda Bazalt Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

4 cm boylarında kırılmış olan bazalt elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.13 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.13: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	B+B, 2 g, 4 cm	B+B, 3 g, 4 cm	B+B, 4 g, 4 cm
2	16.90	17.63	18.45	18.68
7	20.08	22.09	21.27	22.47
28	17.14	23.49	24.82	21.79
90	30.36	27.33	27.95	28.03



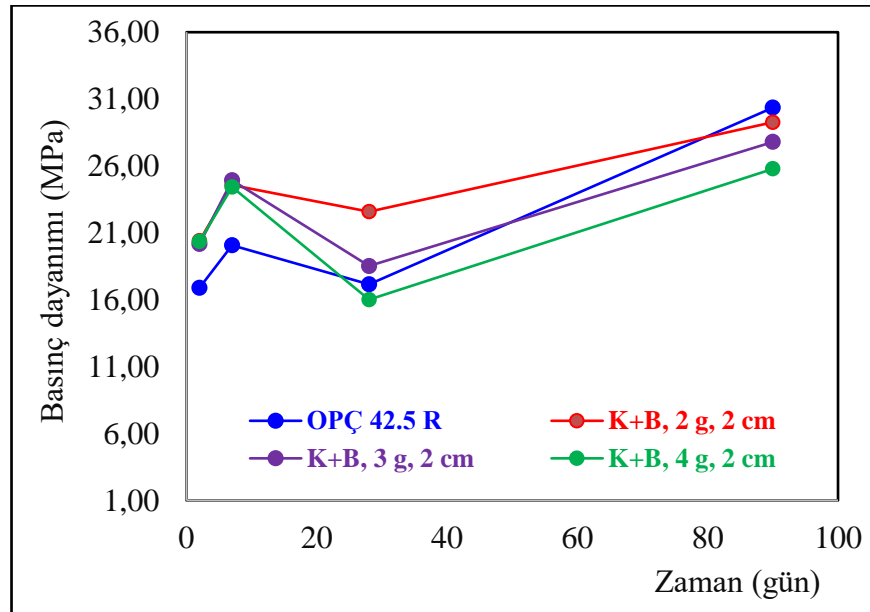
Şekil 4.12: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm B+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2.4 2 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

2 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.14 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.14: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+B, 2 g, 2 cm	K+B, 3 g, 2 cm	K+B, 4 g, 2 cm
2	16.90	20.41	20.16	20.35
7	20.08	24.58	24.93	24.43
28	17.14	22.58	18.53	16.01
90	30.36	29.27	27.79	25.78



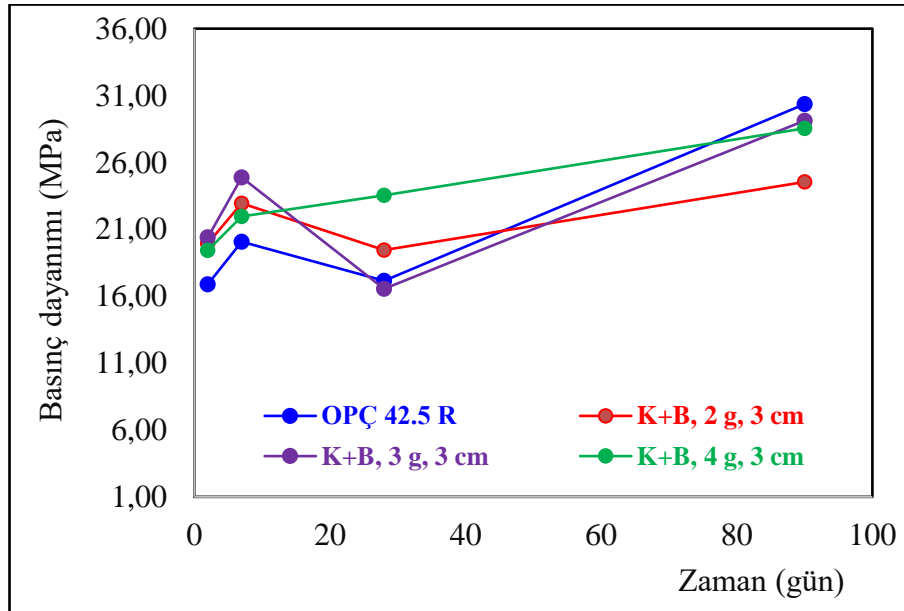
Şekil 4.13: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2.5 3 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf + Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

3 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.15 ve Şekil 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.15: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+B, 2 g, 3 cm	K+B, 3 g, 3 cm	K+B, 4 g, 3 cm
2	16.90	19.95	20.41	19.43
7	20.08	22.95	24.88	21.96
28	17.14	19.45	16.55	23.53
90	30.36	24.54	29.12	28.54



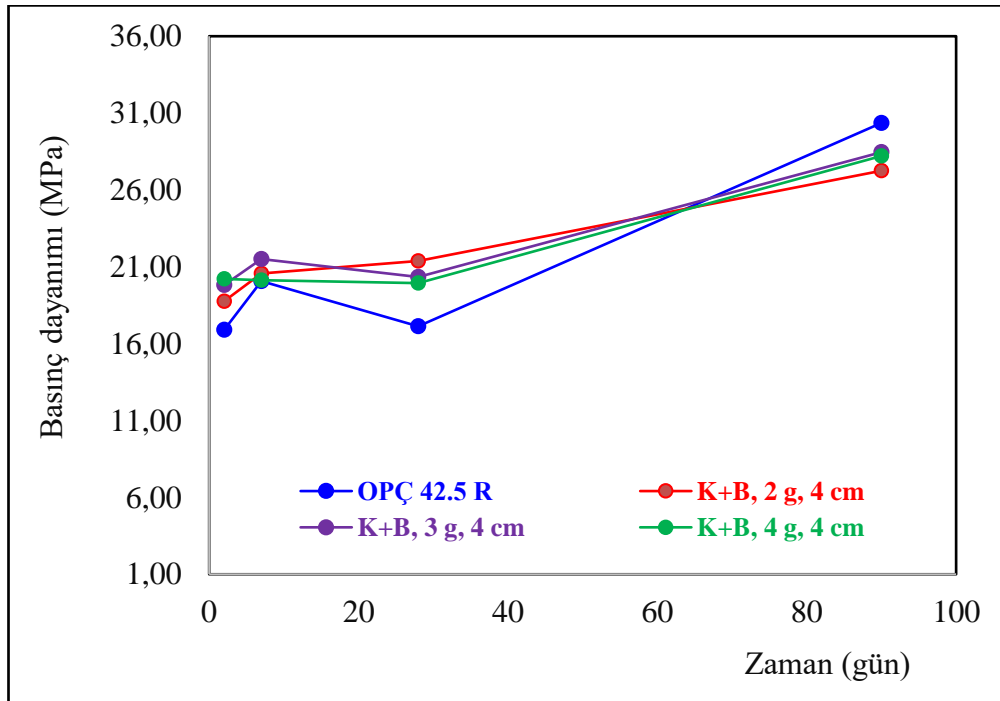
Şekil 4.14: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2.6 4 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Bazalt Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

4 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+bazalt elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.16 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.16: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+B, 2 g, 4 cm	K+B, 3 g, 4 cm	K+B, 4 g, 4 cm
2	16.90	18.76	19.82	20.21
7	20.08	20.57	21.49	20.13
28	17.14	21.37	20.33	19.94
90	30.36	27.25	28.46	28.21



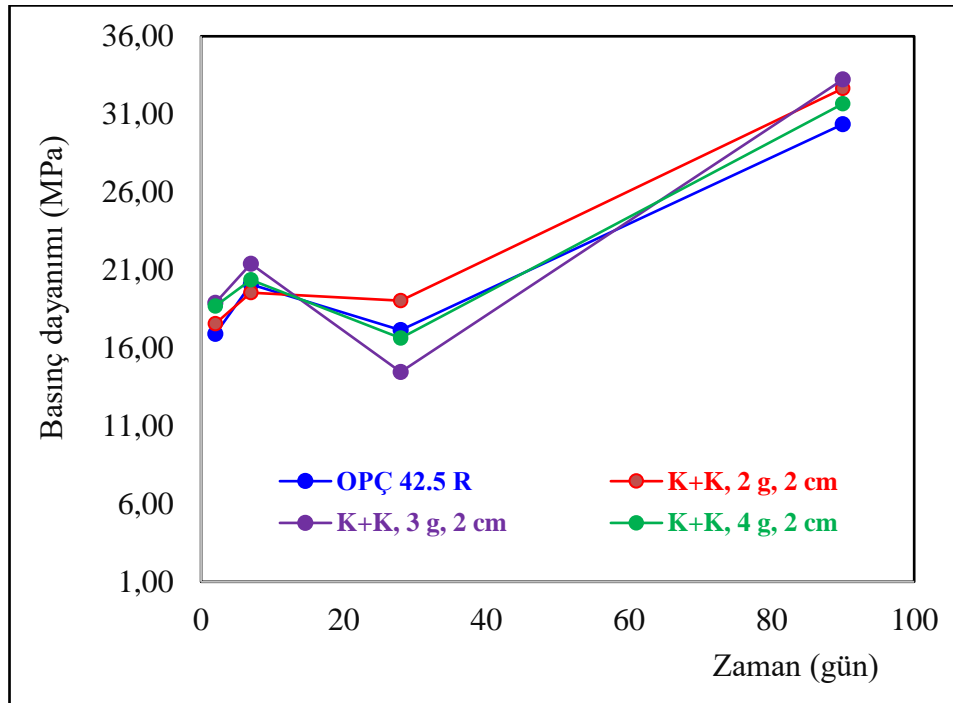
Şekil 4.15: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+B elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2.7 2 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

2 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+karbon elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.17 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.17: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+K, 2 g, 2 cm	K+K, 3 g, 2 cm	K+K, 4 g, 2 cm
2	16.90	17.57	18.90	18.69
7	20.08	19.55	21.40	20.38
28	17.14	19.04	14.46	16.63
90	30.36	32.65	33.22	31.67



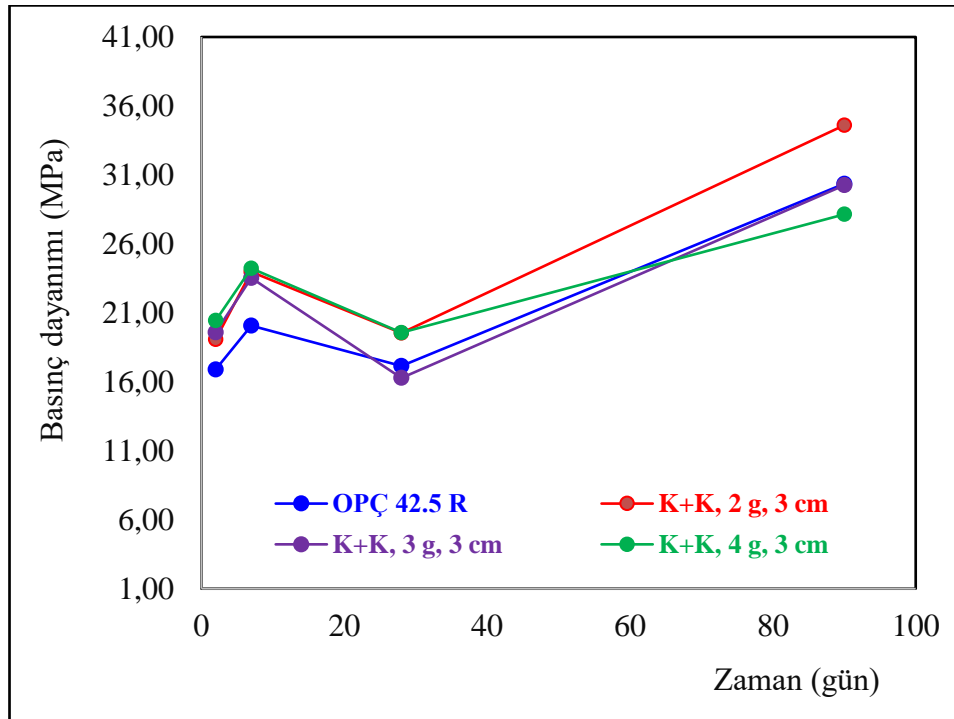
Şekil 4.16: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 2 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2.8 3 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

3 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+karbon elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.18 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.18: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2,7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

Gün	OPÇ 42.5 R	K+K, 2 g, 3 cm	K+K, 3 g, 3 cm	K+K, 4 g, 3 cm
2	16.90	19.08	19.59	20.45
7	20.08	23.96	23.52	24.22
28	17.14	19.53	16.28	19.56
90	30.36	34.60	30.25	28.14



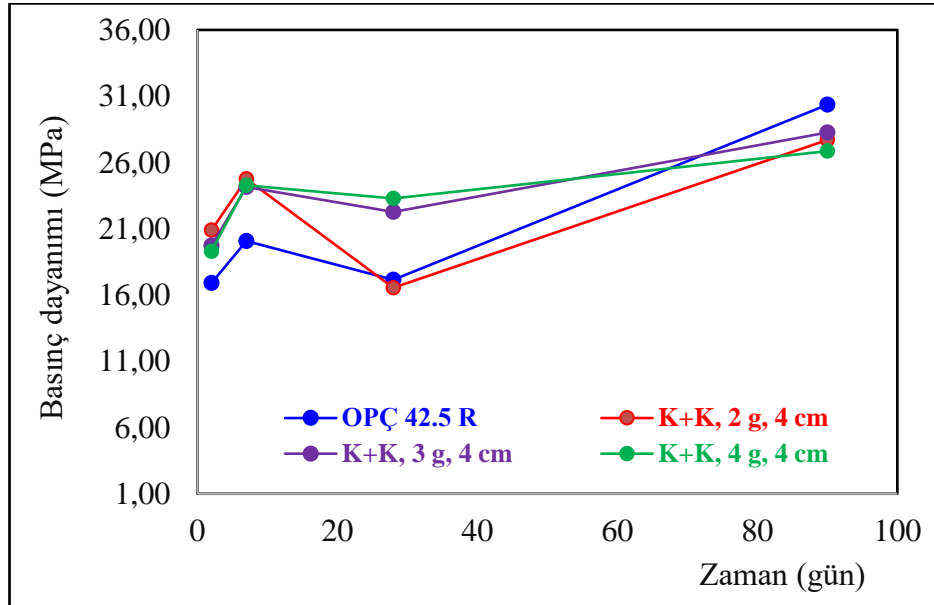
Şekil 4.17: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 3 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.2.9 4 cm Lif Boyunda Karbon Elyaf+Karbon Elyaf Katkılı Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

4 cm boylarında kırılmış olan karbon elyaf+karbon elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 3 ve 4 g dozajlarına ve 2, 7, 28 ve 90 günlük kurlenme sürelerine göre OPÇ 42.5 R şahit numunesine oranla elde edilen basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.19 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.19: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçlarını gösteren tablo

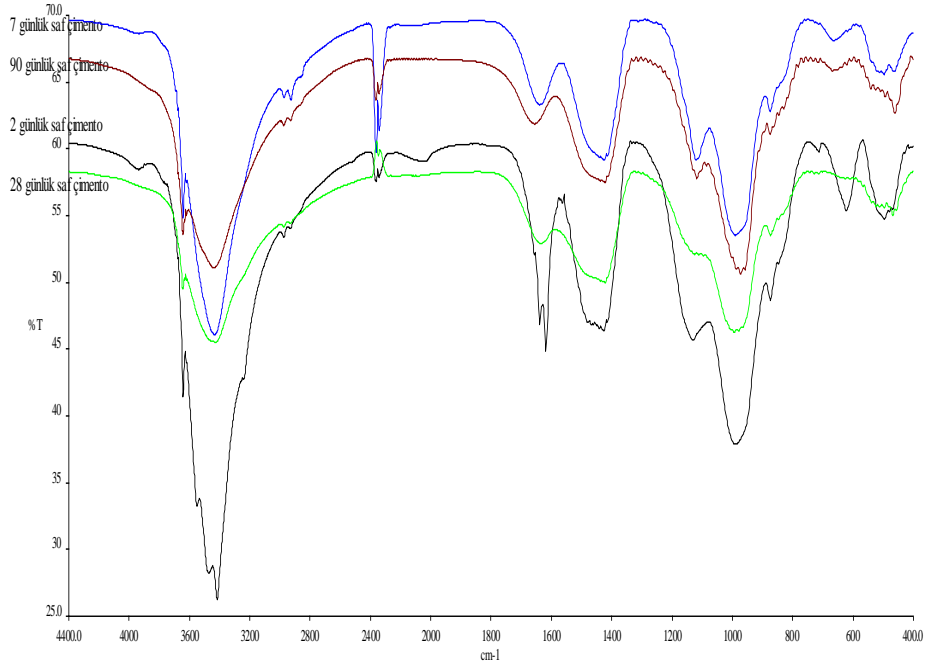
Gün	OPÇ 42.5 R	K+K, 2 g, 4 cm	K+K, 3 g, 4 cm	K+K, 4 g, 4 cm
2	16.90	20.89	19.72	19.30
7	20.08	24.76	24.15	24.28
28	17.14	16.54	22.27	23.27
90	30.36	27.70	28.26	26.85



Şekil 4.18: 2, 3 ve 4 g dozajlarında, 4 cm K+K elyaf katkıli beton numunelerinin 2, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları grafiği

4.2.3 FTIR Analizi

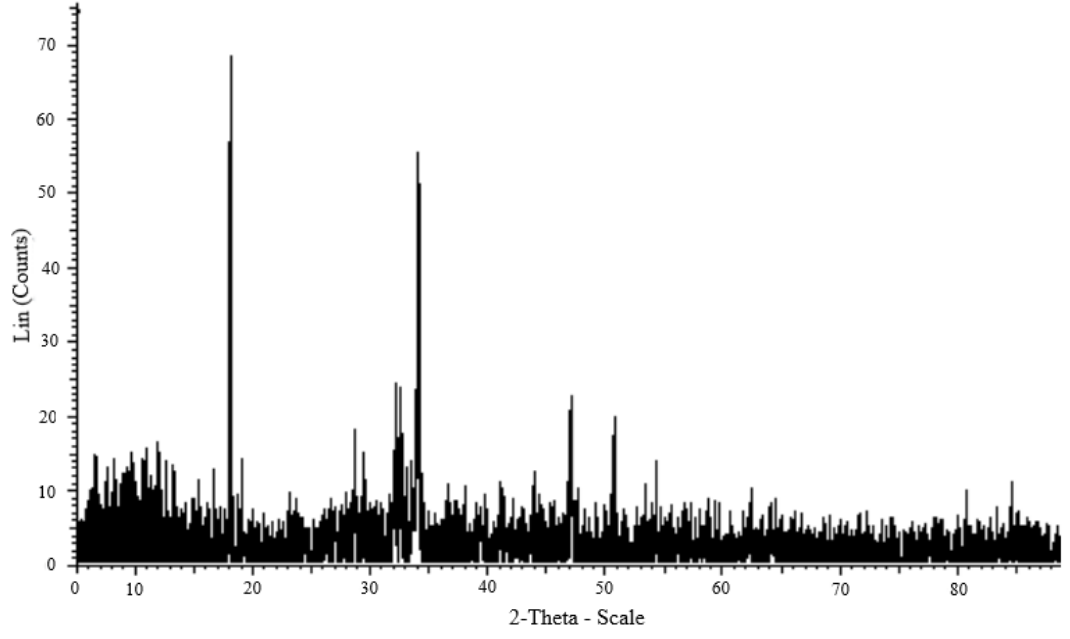
Hidrate OPÇ örneklerinin FTIR spektrumları Şekil 4.19’da verilmiştir. Hidrate örneklerde 1420, 1428-1500, 1620-1650 ve 3500 cm^{-1} ’deki pikler bağlı hidrasyon sularına aittir. Bu pikler hidrasyonun büyümesiyle büyümektedir (Tunç 2007).



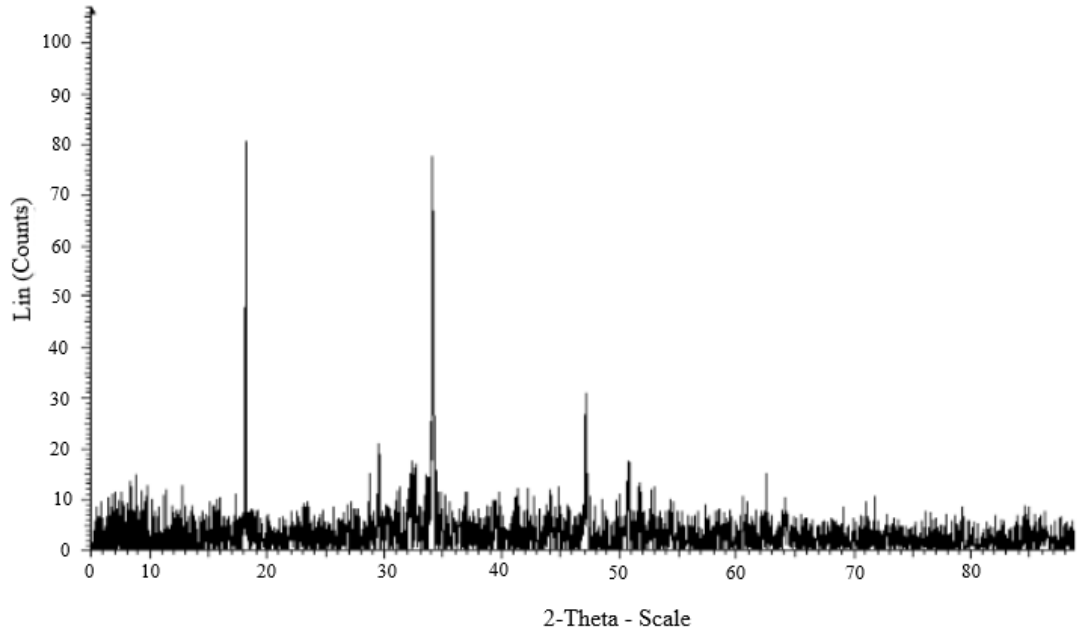
Şekil 4.19: OPÇ'nin 2, 7, 28 ve 90 günlük hidrate örneklerinin FTIR spektrumları .X-Işınları Kırınımı Analizleri

4.2.4 X-Ray Difraktogramları

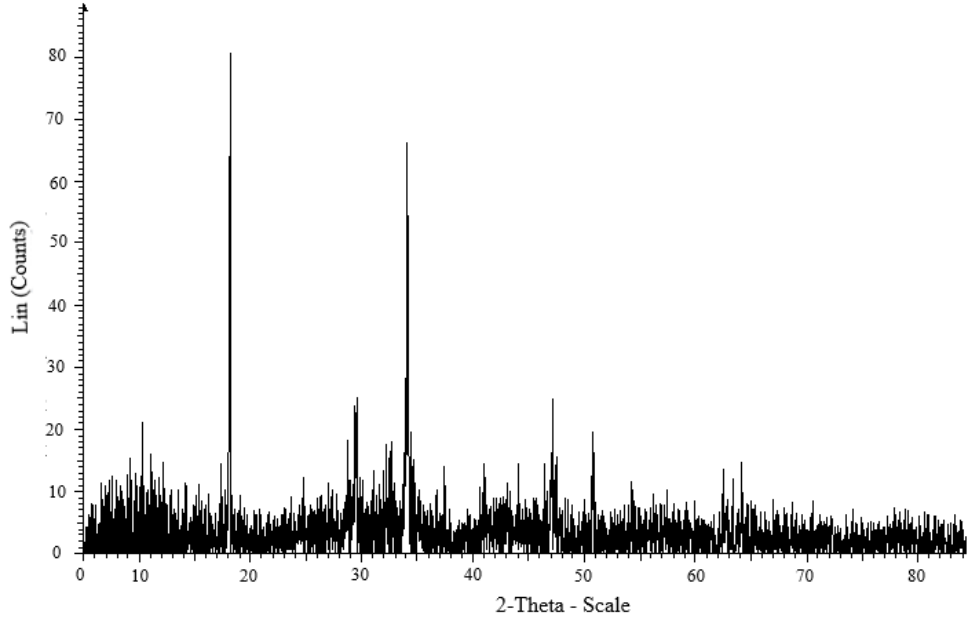
Şekil 4.20-22’de OPÇ’nun 2, 7 ve 28 gün sonunda hidrasyonu durdurulduktan sonra çekilen X-ray difraktogramları verilmiştir. 90 günlük numunelerin x-ray difraktogramları 28 günlük ile neredeyse aynı olduğu için verilme gereği duyulmamıştır.



Şekil 4.20: Saf hidrate OPÇ'nin 2 günlük X-ray difraktoğramı



Şekil 4.21: Saf hidrate OPÇ'nin 7 günlük X-ray difraktoğramı

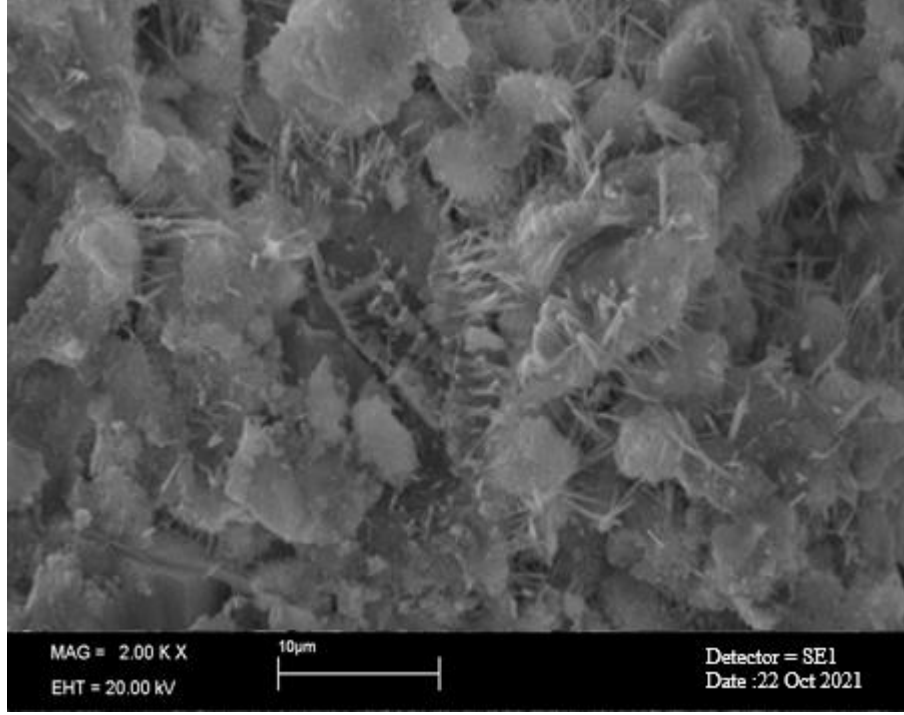


Şekil 4.22: Saf hidrate OPC'nin 28 günlük X-ray difraktoğramı.

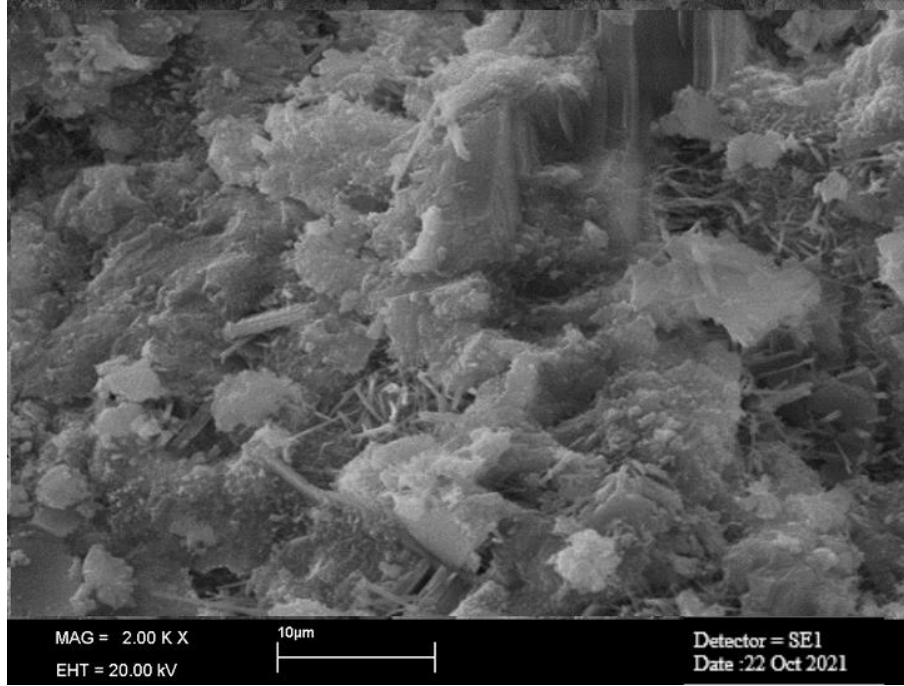
4.2.5 SEM Mikrografları

Resim 4.1, Resim 4.2, ve Resim 4.3'te hidrate numunelerden alınan örneklerin SEM mikrografları resim numarası da görülmektedir. Mikrograflarda görülen iğne şeklinde kristaller etrengite, çiçeği andıran lifli yapılar ise kalsiyum silikat hidratlara, koyu renkli hegzagonal kristaller ise kalsiyum hidroksit yapılarıdır.

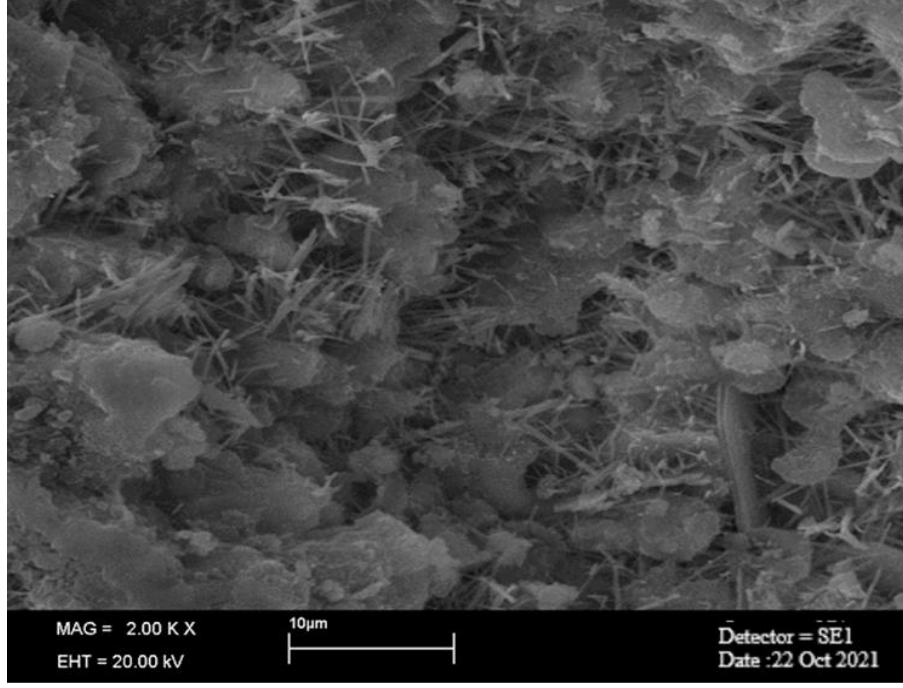
Mikrograflarda, hidrasyonun ilerlemesiyle gelişen çimento yüzeyi tanecikleri iğne şeklinde etrengit kristallerinin ve kalsiyum silikat hidrat jellerinin gelişimi gözlenmektedir. 28 günlük örneklerde, 2 ve 7 günlük numunelere oranla daha fazla kalsiyum silikat hidratların oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca NaOH oluşumunun tamamlandığı ve etrengit kristallerinin daha az gözlendiği görülmüştür (Tunç 2007).



Resim 4.1: Orijinal hidrate OPÇ örneklerinin 2 günlük SEM mikrografları



Resim 4.2: Orijinal hidrate OPÇ örneklerinin 7 günlük SEM mikrografları



Resim 4.3: Orijinal hidrate OPÇ örneklerinin 28 günlük SEM mikrografları (Tunç 2007)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknik elyaflar günümüzde tekstil, inşaat, tıp, çevre bilimleri, jeoloji, tarım, endüstri ve sanat alanlarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu elyafların, fiziksel ve kimyasal yapıları sayesinde birlikte kullanıldıkları veya yapısında kullanıldığı malzemelere büyük avantajlar ve ek özellikler sağladığı bilinmektedir.

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bu sektörlerin kullanım alanları ve yöntemleri de gelişme göstermiştir. Kullanılan hammaddeler, yöntemler ve makineler bütün bu gelişmelerde büyük rol oynamaktadır.

Lif katkılı beton teknolojisi birçok imkân sunmaktadır. Yüksek hacimli betonlu yapılarda, basınç ve sürtünme etkenlerine sürekli maruz kalan zemin betonlarında, püskürtme betonlarda, su aşındırıcı etkisine karşı dirence ihtiyaç duyan beton türlerinde, sıcaklığın oluşturduğu olumsuz etkilere karşı kullanılan betonlarda ve kimyasal etkenlere karşı dayanıma ihtiyaç duyulan betonlarda kullanım alanlarına sahiptir.

Kullanım alanı bu kadar fazla olan lif katkılı betonlar, kullanılan diğer yöntemlere göre büyük kolaylıklar ve avantajlar da sağlamaktadır. İşçilik ve zamandan tasarruf, betonu kimyasal ve fiziksel etkenlerden koruyabilme, kullanılan çoğu lifin beton ile aynı yoğunluğa sahip olması sebebiyle çökme ve topaklanma yapmaması, ayrışmayı önleyici özelliği sayesinde homojen yapı oluşumu, beton içerisinde üç boyutlu bir yönelim yapabilmesi sayesinde betonu her açıdan koruyabilmesi bu konuya örnek verilebilecek avantajlardan bazılarıdır.

Liflerin, betonda eğilme mukavemeti ve basınç mukavemeti değerlerini olumlu yönde etkilediği de bilinmektedir. Yapılan bu çalışmada temel olarak, ham yapıda iplik halinde bulunan karbon ve bazalt elyafların belirlenen bir büküm sayısında bükülmesi ve akabinde kimyasal reçine ile kaplama işlemine sokulduktan sonra kurutularak beton içerisinde kullanılmasına dayanan bir yöntem kullanılmıştır.

Büküm uygulanmış iplikler, büküm formu verilmemiş olan bir ipliğe oranla hem mukavemet açısından hem de elastiklik açısından daha üstündür. Ayrıca bükümle

ile iplikler bir form kazanır. Bu form ipliğe düzgünlük ve uzama katsayısı olarak avantaj sağlar.

Büküm işlemiyle birlikte birçok avantaj kazandırılan iplikler, makro ve bütün bir form kazanabilmeleri amacıyla bir kimyasal reçine ile kaplanmıştır. Kullanılan “Bisfenol A Reçinesi” kürlenme şartları sağlandığında ipliğin mevcut bükümlü formuna katılarak mukavemet artışı ve esneklik kazandırmıştır.

İpliğin bükümlü bir formda olması sayesinde, ipliğin dış yüzeyine kaplanan kimyasal reçine, spiral bir şekilde kaplama etkisi yaratmış ve böylece beton içerisinde bir aderans etkisi yaratarak sıyrılmayı önlemiştir. Sıyrılmamanın önlenmesi ve aderans betonda kullanılan lifler ve elyaflar için çok önemli bir özelliktir. Bu özellik yardımıyla betonda meydana gelebilecek olan çatlaklar, liflerin sahip olduğu form sayesinde önlenmiştir. Lifler betonla bir bütün gibi davranarak dayanımını arttırmıştır.

Liflerin farklı boylarda kırılması ve beton numuneleri içerisinde farklı dozajlarda kullanılmasının amacı, betonda hangi yönde etki edeceklerinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Bazı numuneler beton mukavemet değerlerini düşürmüştür. Yapılan deney sonuçlarının genel olarak ortalaması alınmıştır (Tablo 5.1).

Tablo 5.1: Eğilme ve Basınç Dayanımı Sonuçlarının Ortalamaları (MPa)

Kürlenme Zamanı	Şahit Numune Değerleri	Versiyon 1 (B+B)	Versiyon 2 (K+B)	Versiyon 3 (K+K)
2 Günlük Eğilme Dayanımı Ortalaması	4.24	4.77	4.65	4.54
2 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması	16.90	17.99	19.94	19.35
7 Günlük Eğilme Dayanımı Ortalaması	5.30	5.69	5.61	5.38
7 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması	20.08	21.31	22.88	22.91
28 Günlük Eğilme Dayanımı Ortalaması	5.31	5.90	5.57	5.32
28 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması	17.14	22.28	19.81	18.62
90 Günlük Eğilme Dayanımı Ortalaması	7.28	9.03	8.25	7.94
90 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması	30.36	27.99	27.66	30.37

Bulunan değerlerin şahit numunelere oranla, ne kadar yüzdesel bir değişim gösterdiğini daha net bir şekilde anlamak amacıyla bu değerlerin değişim yüzdeleri (%) hesaplanmıştır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2: Eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin şahit numunelere göre artışı (%)

Kürlenme Zamanı	Versiyon 1 (B+B)	Versiyon 2 (K+B)	Versiyon 3 (K+K)
2 Günlük Eğilme Dayanımı Artışı	12.46%	9.64%	7.12%
2 Günlük Basınç Dayanımı Artışı	6.48%	18.03%	14.54%
7 Günlük Eğilme Dayanımı Artışı	7.40%	5.83%	1.62%
7 Günlük Basınç Dayanımı Artışı	6,17%	13,96%	14.12%
28 Günlük Eğilme Dayanımı Artışı	11.13%	4.92%	0.08%
28 Günlük Basınç Dayanımı Artışı	30.00%	15.57%	8.65%
90 Günlük Eğilme Dayanımı Artışı	19.18%	8.92%	4.77%
90 Günlük Basınç Dayanımı Artışı	-7.80%	-8.88%	0.05%

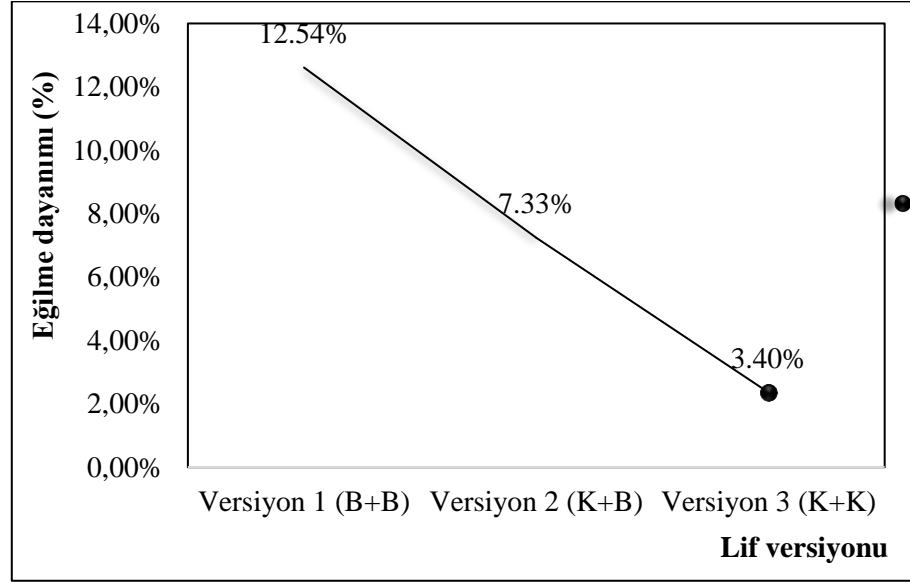
Versiyon 1'in 2, 7, 28 ve 90 günlük numunelerinin eğilme dayanımlarının %12.54, basınç dayanımlarının %8.71, versiyon 2'nin 2, 7, 28 ve 90 günlük numunelerinin eğilme dayanımlarının %7.33, basınç dayanımlarının %9.67, versiyon 3'ün 2, 7, 28 ve 90 günlük numunelerinin eğilme dayanımlarının %3.40, basınç dayanımlarının %9.34 oranlarında artışlar olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 5.3). 90 günlük beton basınç deneyi değerlerinde ise Versiyon 1 ve versiyon 2'nin beton basınç dayanımı değerleri az miktarda düşürdüğü gözlenmiştir.

Tablo 5.3: Bulunan değerlerin toplam yüzdelerinin genel ortalaması

Genel Ortalama			
Dayanım Türü	Versiyon 1 (B+B)	Versiyon 2 (K+B)	Versiyon 3 (K+K)
Eğilme Dayanımları Artışı Ortalaması	12.54%	7.33%	3.40%
Basınç Dayanımı Artışı Ortalaması	8.71%	9.67%	9.34%

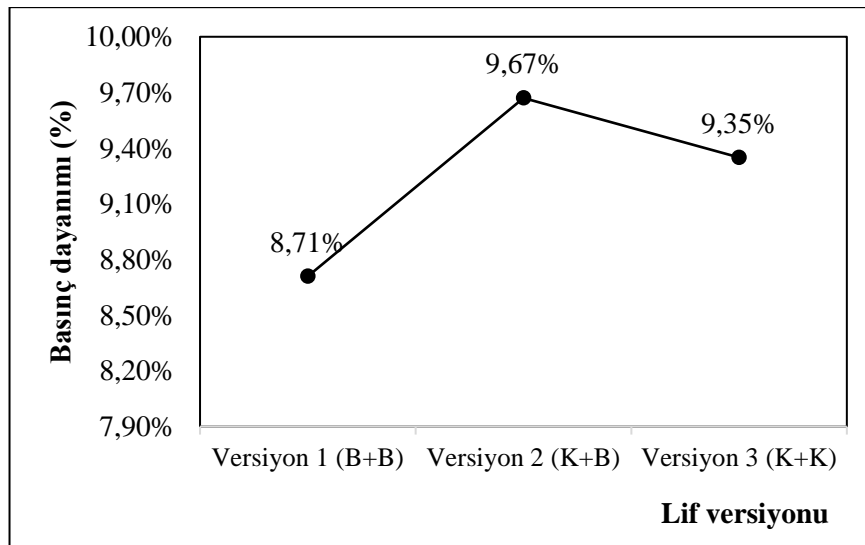
Eğilme dayanımı sonuçları arasında, değerlerinde şahit numuneye oranla yüzde hesabına göre en fazla dayanım artışı Bazalt elyaf + bazalt elyaf bileşimine sahip elyaf katkıli betonlarda görüşmüştür. En düşük yüzde dayanım artışı ise karbon elyaf +

karbon elyaf bileşimine sahip elyafların kullanıldığı beton numunelerde gözlenmiştir. Bazalt içerikli elyafların, karbon içerikli elyaflara göre daha yüksek eğilme değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Karbon elyafların betonun eğilme dayanımını düşürdüğü gözlenmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 5.1: Eğilme dayanımları ortalaması grafiği

Basınç dayanımlarında ise, en yüksek dayanım artışı olarak karbon elyaf+bazalt elyaf bileşimine sahip elyafların kullanıldığı numunelerde gözlenmiştir (Şekil 4.14). Genel olarak numunelerde elyafların kullanımının, 90 günlük basınç dayanımlarını düşürdüğü gözlenmiştir.



Şekil 5.2: Basınç dayanımları ortalaması grafiği

Dünder ve diğ. (2020), “Bazalt ve karbon lif takviyeli betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması” isimli çalışmalarında karbon ve bazalt lifler kullanılan betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Beton numunelerinin basınç dayanımlarını incelediklerinde bazalt lif takviyelerin, karbon lif takviyelerine göre daha fazla dayanım sağladıklarını gözlemlemişlerdir. En yüksek beton basınç dayanımını %0.5 oranındaki bazalt lifi takviyeli numunede 45.42 MPa olarak gözlemlemişlerdir.

Numunelerin eğilme dayanımlarını incelediklerinde bazalt lif takviyeli betonların karbon lif takviyeli betonlara oranlar daha yüksek eğilme dayanımı sağladığını gözlemlemişlerdir. Eğilme dayanımının en yüksek olduğu numune %1.5 oranında bazalt lifi takviyeli numunede 73.125 MPa olarak gözlemlemişlerdir (Dünder ve diğ. 2020).

Çalışmada incelenen elyaf türlerinin çoğu betonun eğilme dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Liflerin betonun basınç dayanımına olan etkileri ise eğilme dayanımına olan etkilerine oranla biraz düşük kalmıştır. Fakat basınç dayanımında da çoğunlukla artış gözlenmiştir.

Yapılan bilimsel araştırma ve çalışmalar sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda teknik elyafların betonun eğilme ve basınç dayanımlarına kattığı olumlu mekanik özellikler haricinde, sıcaklık ile genişleme ve büzüşme katsayıları da betona olumlu yönde etki etmektedir. Örneğin çelik veya demir donatıların kullanıldığı bir binada çıkan yangın esnasında çelik ve demir donatılar beton içerisinde genişerek o binanın yıkılmasına neden olabilir. Bu sebeple teknik tekstil alanında yapılan ve teknik elyaflar (karbon elyaf, bazal elyaf, cam elyaf vb.) kullanılarak üretilen “Rebar” adı verilen elyaf katkılı inşaat donatıları ile çalışmalar yapılabilir.

Teknik elyaflar bir hasır gibi örülerek beton içerisinde kullanılabilir. Buna uygun olarak hazırlanacak bir üretim prosesi ile reçine kaplı teknik elyaflar, hasır tel yerine kullanılması amacıyla birçok alanda fayda sağlaması için hasır şeklinde üretilerek kullanılabilir.

Bu çalışma doğrultusunda elyaflar beton içerisinde, lifler halinde bükümlü bir yapıda üretildikten sonra kullanılmıştır. Kullanılan bu elyaflar daha kalın bir halde,

tıpkı pultrüzyon sistemi ile üretilen kompozit yapılara benzer şekilde oluşturulan yekpare bir donatı halinde üretilerek, inşaat sektöründe kullanılan demir ve çelik donatılara göre ne gibi avantajlar sağlayabileceği gözlemlenebilir.

Yapılan bu çalışmada üretim için ihtiyaç duyulan hammadde ve ekipmanların daha düşük maliyete sahip olabilmesi için öncelikle yerli sermayeler kullanılarak ihtiyaç duyulan kimya, teknik tekstil ekipmanları ve elemanlarının üretimlerinin sağlanması veya üretim yüzdelerinin artırılması maliyetlerin düşüşünü sağlamak amacıyla atılacak en büyük adımlardan birisi olabilir.

Üretim payının artırılması ile yeni AR-GE alanlarının kurulması, bu alanlara ve bu yöntemlerle üretilen ürünlere teşvikin artırılması büyük fayda sağlayabilir. Yeni alanlarda yapılacak bu çalışmalar doğrultusunda kimya, tekstil ve inşaat sektörlerinde büyük gelişmeler gerçekleşebilir.

6. KAYNAKLAR

Ascione, L., et al., "Prospect for new guidance in the design of FRP.", *Ispra: EC Joint Research Centre*, (2016).

Aydoğan, T., Çimento çeşitleri nelerdir? çimentonun kullanım alanları [online], (30 Kasım 2021), <https://www.sanalsantiye.com/cimento-cesitleri-ve-kullanim-alanlari/>, (2021).

Bansal trading company., "Polyurethane resin uses, types and advantages [online]", (02 Kasım 2021), <https://www.bansaltrading.com/polyurethane-resin-uses>, (2019).

Banthia, N., "Fiber reinforced concrete", *ACI SP-142ACI, Detroit, MI*, 91, 119, (1994).

Bekaert., Metal fiber technology [online], (18 Eylül 2021), <https://www.bekaert.com/en/product-catalog/metal-fibers/metal-fiber-technology>, (2021).

Bentur, A. and Mindess, S., *Fibre reinforced cementitious composites*, New York: Crc Press, (2006).

Bhatt, P. and Alka, G., "Carbon fibres: production, properties and potential use.", *Material Science Research India*, 14.1, 52-57, (2017).

Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "portland cement". Encyclopedia Britannica, 19 Dec. 2019, <https://www.britannica.com/technology/portland-cement>. Accessed 30 November, (2021).

Chawla, K. K., *Fibrous materials*, Cambridge: Cambridge university press, (2016).

Corrosionpedia., "Epoxy resin [online]", (01 Kasım 2021), <https://www.corrosionpedia.com/definition/1746/epoxy-resin>, (2015).

Corrosionpedia., "Thermoplastic [online]", (03 Kasım 2021), <https://www.corrosionpedia.com/definition/2396/thermoplastic>, (2016).

Çakmak G., "İleri beton teknolojisi-5 lifli beton [online]", (12 Kasım 2021), <https://silo.tips/download/ler-beton-teknolojs-5-lfl-beton>, (2016).

Demir,F. "Major Parameters of fibers (Part 1) [online]", (25 Kasım 2021), <https://texinlife.com/major-parameters-of-fibers-part-1/>, (2020).

Demir,F. “Major Parameters of fibers (Part 2) [online]”, (25 Kasım 2021), <https://texinlife.com/major-parameters-of-fibers-part-2/>, (2020).

Demirel, B., and Gönen, T., "Karbon fiber takviyeli betonda farklı fiber boyunun kapilariteye etkisi.", *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 6.1, 12-15, (2007).

Döndüren, S. M., Çöğürçü, T. M. and Altın, M., "Betonla donatı arasındaki aderans davranışının deneysel incelenmesi.", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21.3, 57-68, (2006).

Dündar, B., Çınar, E., Peşin, S., "Bazalt ve karbon lif takviyeli betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması.", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10.4, 1039-1048, (2020).

Erbay, B., Küçüköner, E., "Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri.", *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 21-23, (2008).

Erdoğan, T. S., Erdoğan, Y. T., "Puzolanik mineral katkıları ve tarihi geçmişleri.", *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, (2007).

Güngör, A., Özbaltı, N., "Endüstriyel kurutma sistemleri.", *III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, (1997).

Gürdal, E. ve Acun, S., “Alçı malzemenin taşıyıcılık özellikleri”, *TMH. Türkiye mühendislik haberleri*, (427), (2003).

Heraeus Holding., “UV curing process [online]”, (03 Kasım 2021), https://www.heraeus.com/en/hng/light_is_more/how_does_it_work/uv_curing/uv_curing.html#tabs-48256-1, (2021).

High, C., et al., "Use of basalt fibers for concrete structures.", *Construction and Building materials*, 96, 37-46, (2015).

Horrocks, A. R., Anand, S. C., eds., *Handbook of technical textiles*. Elsevier, Cambridge, England: Woodhead Publishing, (2000).

Islam, Md. M., Saurav, S., “Packtech in textile [online]”, (28 Ekim 2021), <https://www.slideshare.net/MosfikulIslamRifat/packtech-in-textile>, (2019).

Kapkaç, F. "Çimento Çeşitleri, Özellikleri, Hammaddeleri ve Üretim Aşamaları." *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, Ankara (2013).

Keser, F., "İplikte büküm ve önemi [online]", (30 Ekim 2021), <https://derstekstil.name.tr/iplikte-bukum-ve-onemi.html>, (2015).

Keser, F., "Tekstil [online]", (29 Ekim 2021), <https://derstekstil.name.tr/tekstil.html>, (2019).

Keser, F., "Tekstilin önemi [online]", (29 Ekim 2021), <https://derstekstil.name.tr/tekstilin-%C3%B6nemi.html>, (2020).

Khalid, W. L., "Bazalt elyaflı betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa, (2018).

Kiron, I. M., "Fiber cleanliness, problems due to unclean fiber in spinning [online]", (26 Ekim 2021), <https://textilelearner.net/fiber-cleanliness-problems-in-spinning/>, (2014).

Klein, W., *The Rieter manual of spinning: Technology of short-staple spinning*, Winterthur, Switzerland: Rieter, (2008).

Li, Y., Dai, XQ., eds., *Biomechanical engineering of textiles and clothing*, Cambridge, England: Woodhead Publishing, (2006).

Meget Elektrik Makina., "Endüstriyel mikrodalga kurutma fırını [online]", (08 Kasım 2021), <http://megetelektrik.com/urun/5/endustriyel-mikrodalga-kurutma-firini>, (2015).

Meza, A. and Siddique, S., "Effect of aspect ratio and dosage on the flexural response of FRC with recycled fiber.", *Construction and Building Materials*, 213, 286-291, (2019).

Mohan, J., "Technical textiles [online]", (28 Ekim 2021), <https://www.hsmemagazine.com/article/technical-textiles/#author-bio>, (2015).

Monaldo, E., Nerilli, F. and Vairo G., "Basalt-based fiber-reinforced materials and structural applications in civil engineering.", *Composite Structures*, 214, 246-263, (2019).

Oğulata, T. R., Kadem, D.F., Koç, E., "Tekstilde kurutma yöntem ve makinaları", *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, (2000).

Onat, A., "Kompozit malzemeler ders notu", *Sakarya Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalürji Proğı*, (2015).

Özel, C. and Öz, B., "Lif boyu ve su/çimento oranının ultra yüksek dayanımlı fiber katkılı betonların basınç dayanımlarına etkileri.", *Cumhuriyet*

Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 37.4, 412-417, (2016).

Padalu, P. K. V. R., Singh, Y. and Das, S., "Efficacy of basalt fibre reinforced cement mortar composite for out-of-plane strengthening of unreinforced masonry.", *Construction and Building Materials*, 191, 1172-1190, (2018).

Paiva, L. C. M., et al., "Milled basalt fiber reinforced Portland slurries for oil well applications.", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 175, 184-189, (2019).

Pınarlık, G., Abdulla, G., "Kesme Yöntemleri.", *SDÜ Yekarum e-Dergi*, 3.1 (2015).

Qin, J., et al., "Mechanical properties of basalt fiber reinforced magnesium phosphate cement composites.", *Construction and Building Materials*, 188, 946-955, (2018).

Ravaber., "Ceramic Fiber [online]", (18 Ekim 2021), https://ravaber.com/en/CERAMIC_FIBER-455.html, (2021).

Sarina., "What is textile? A simple guide to different types of textiles [online]", (15 Ekim 2021), <https://sewguide.com/what-are-textiles/>, (2017).

Song, Q., et al., "Key parameters in optimizing fibres orientation and distribution for Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC).", *Construction and Building Materials*, 188, 17-27, (2018).

T for textile, "Classification of textile fibers [online]", (16 Ekim 2021), <http://gpktt.weebly.com/classification-of-textile-fibers.html>, (2017).

Tapkın, S., "The effect of polypropylene fibers on asphalt performance", *Building and environment*, 43.6, 1065-1071, (2008).

Tekstil Sayfası., "Rejenere (suni) lifler tanımı, sınıflandırılması ve elde edilme yöntemleri [online]", (15 Ekim 2021), <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2012/12/rejenere-suni-lifler-tanimi.html>, (2010).

Tekstil Sayfası., "Sentetik lifler çeşitleri, özellikleri ve kullanım alanları [online]", (15 Ekim 2021), <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2012/12/sentetik-lifler-cesitleri-ozellikleri.html>, (2010).

Tekstil Sayfası., “Seramik lifi nedir, seramik lifi özellikleri [online]”, (18 Ekim 2021), <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2020/11/seramik-lifleri-nedir-lif-ozellikleri.html>, (2010).

Testextextile., “What is fiber maturity & what factors work behind to fiber maturity in textile [online]”, (23 Ekim 2021), <https://www.testextextile.com/what-is-fibre-maturity-what-factors-work-behind-to-fiber-maturity-in-textile/>, (2017).

Textile Informedia., “Textile manufacturing process with flow chart [online]”, (26 Ekim 2021), <https://www.textileinfomedia.com/blog/textile-manufacturing-process-with-flow-chart/>, (2020).

Topçu, B. İ., Boğa, R. A., "Uçucu kül ve çelik liflerin beton ve beton borularda kullanımı.", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18.2, 1-14, (2005).

TRP Readymix Ltd., “What is fiber-reinforced concrete and why is it useful? [online]”, (13 Kasım 2021), <https://trpreadymix.com/what-is-fiber-reinforced-concrete-and-why-is-it-useful/>, (2019).

Tunç, T., “Çimentolarda çözünebilen Cr (VI) giderimi”, Yüksek Lisans, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2007).

Ünal, O., Uygunoğlu, T., Gençel, O., "Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13.1, 23-30, (2007).

Üsküdar.biz., “Cam elyafları [online]”, (18 Ekim 2021), <https://uskudar.biz/seyir-defteri/malzeme-bilgisi/cam-elyaflar%C4%B1.html>, (2013).

Whewell, S. C., “Textile [online]”, (30 Ekim 2021), <https://www.britannica.com/topic/textile>, (1999).

Wikipedia., “Aramid [online]”, (16 Ekim 2021), <https://tr.wikipedia.org/wiki/Aramid>, (2021).

Wikipedia., “Endüstriyel fırın [online]”, (03 Kasım 2021), https://tr.wikipedia.org/wiki/End%C3%BCstriyel_f%C4%B1r%C4%B1n, (2021).

Wikipedia., “Phenol formaldehyde resin [online]”, (02 Kasım 2021), https://en.wikipedia.org/wiki/Phenol_formaldehyde_resin, (2021).

Wikipedia., “Poliamit [online]”, (02 Kasım 2021), <https://tr.wikipedia.org/wiki/Poliamit>, (2021).

Wikipedia., “Polyester resin [online]”, (02 Kasım 2021), https://en.wikipedia.org/wiki/Polyester_resin, (2021).

Wikipedia., “Silikon [online]”, (02 Kasım 2021), <https://tr.wikipedia.org/wiki/Silikon>, (2021).

Wikipedia., “UV curing [online]”, (03 Kasım 2021), https://en.wikipedia.org/wiki/UV_curing, (2021).

Wikipedia., “Vinyl ester resin [online]”, (02 Kasım 2021), https://en.wikipedia.org/wiki/Vinyl_ester_resin, (2021).

Wretfors, C., et al., "Use of industrial hemp fibers to reinforce wheat gluten plastics.", *Journal of Polymers and the Environment*, 17.4, 259-266, (2009).

Yaman, N., Öktem, T., Seventekin, N., "Karbon liflerinin özellikleri ve kullanım olanakları", *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17.2, 90-95, (2007).

Yaprak, H., Şimşek, O., Öneş, A., "Cam ve çelik liflerin bazı beton özelliklerine etkisi.", *Politeknik Dergisi*, 7.4, 353-358, (2004).

Yetkin, Ş. ve Çavdar, A., “Uygulamada taze beton kıvam sorunu”, *TMH. Türkiye mühendislik haberleri*, (427), (2003).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erdem BİBEROĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmir, 08.03.1993
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi
Elektronik posta : erdembiberoglu35@gmail.com
İletişim Adresi :