

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET LİFİ-ALÇI KOMPOZİTLERİN
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Seda ERDEM

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

MAYIS 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET LİFİ-ALÇI KOMPOZİTLERİN
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Seda ERDEM
(502072611)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU
Eş Danışman: Prof. Dr. Erol GÜRDAL**

MAYIS 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502072611 numaralı Doktora Öğrencisi **Seda ERDEM**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET LİFİ-ALÇI KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof.Dr. Erol GÜRDAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hale Canbaz KARAKAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Canan TAŞDEMİR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ÖZGÜNLER
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşe BALANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **24 Nisan 2013**

Savunma Tarihi : **7 Mayıs 2013**

Sevgili aileme,

ÖNSÖZ

Değerli bilgileri ve deneyimleriyle beni yönlendiren, her zaman, her konuda desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU'na teşekkür ederim.

Değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Erol GÜRDAL'a, tez çalışmam boyunca engin bilgileriyle bana ışık olduğu için teşekkür ederim.

Doktora tezimde, deneysel çalışmalarım İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı ve İtalya Trento Üniversitesi, Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır. İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında görevli, değerli Teknisyen Sayın İbrahim ÖZTÜRK'e, tez çalışmamda kullandığım malzemelerin temininde bana yardımcı olan ABS Alçı, USAŞ Fiber Geri Kazanım San. ve AŞ., Bozoğlu Tekstil, YKS Yapı Kimyasalları ve Sika Yapı Kimyasalları Firmalarına, İTÜ Nano/Mikro Elektromekanik Sistemleri Laboratuvarında Taramalı Elektron Mikroskopu analizlerinde bana yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Levent TRABZON'a, Sayın Araş. Gör. Mümin BALABAN'a, İtalya Trento Üniversitesinde geri dönüştürülmüş PET lifinin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaptığım çalışmalarımda bana destek olan Prof. Dr. Claudio MIGLIARESI'e ve Dr. Dario ZENI'ye teşekkür ederim.

Tez izleme süresince bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, Prof. Dr. Hale Canbaz KARAKAŞ'a, Sayın Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY'a, Sayın Prof. Dr. Canan TAŞDEMİR'e, Sayın Prof. Dr. Ergin ARIOĞLU'na, Sayın Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER'e, Sayın Doç. Dr. Mustafa ÖZGÜNLER'e, Sayın Doç. Dr. Sedat KURUGÖL'e, Sayın Prof. Dr. Ayşe BALANLI'ya, İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Kürsüsünden Sayın Öğr. Gör. Dr. Serkan YATAĞAN'a ve Doç. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER'e teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca desteklerini, teşvik ve sevgilerini esirgemeyen, değerli annem Ender ERDEM'e ve babam Kudret ERDEM'e çok teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Seda Erdem
(Yüksek Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.	viii
KISALTMALAR.	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem	1
1.2 Amaç	2
1.3 Önem	2
1.4 Hipotez	3
1.5 Sınırlılık.....	3
1.6 Yöntem	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Kompozit Malzemeler.....	5
2.1.1 Kompozit malzemelerin genel özellikleri.....	6
2.1.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	7
2.2 Lifin Genel Tanımı ve Tarihçesi	9
2.2.1 Liflerin fiziksel özellikleri	11
2.2.2 Liflerin mekanik özellikleri	12
2.2.3 Liflerin kimyasal özellikleri	13
2.2.4 PET liflerinin genel özellikleri	15
2.2.4.1 PET liflerinin fiziksel özellikleri	17
2.2.4.2 PET liflerinin mekanik özellikleri	18
2.2.4.3 PET liflerinin kimyasal özellikleri.....	18
2.2.4.4 PET liflerinin kullanım alanları	19
2.2.5 PET'in geri dönüştürülmesi.....	19
2.3 Alçının Genel Tanımı, Tarihçesi ve Sınıflandırılması	25
2.3.1 Alçının kimyasal özellikleri.....	26
2.3.2 Alçının fiziksel ve mekanik özellikleri.....	27
2.3.3 Alçının Türkiye'deki rezervleri	29
2.4 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar ve Çalışmaların İrdelenmesi	29
2.4.1 Konu ile ilgili yapılmış çalışmalar.....	29
2.4.2 Konu ile ilgili yapılmış çalışmaların irdelenmesi.....	50
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	55
3.1 Alçının Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	56
3.1.1 Alçı numunelerin kodlanması.....	56
3.1.2 Alçı özgül ağırlık deneyi	57
3.1.3 Alçı incelik tayini-elek analizi.....	57

3.1.4 Alçı normal kıvam analizi tayini	59
3.1.5 Alçı priz süresi tayini.....	60
3.1.6 Alçı numunelerin sertlik deneyi.....	62
3.1.7 Alçı numunelerin buhar geçirgenlik deneyi	63
3.1.8 Alçı numunelerin ultrases geçiş hızı deneyi	66
3.1.9 Alçı numunelerin rötre deneyi	67
3.1.10 Alçı numunelerin kapiler su emme deneyi	69
3.1.11 Alçı numunelerin su emme deneyi	71
3.1.12 Alçı numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi.....	72
3.1.13 Alçı numunelerin basınç dayanımı deneyi	75
3.1.14 Alçı numunelerin taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)	77
3.2 Geri Dönüştürülmüş PET Lifinin Özelliklerinin Belirlenmesi için Yapılan DeneySEL Çalışmalar.....	78
3.2.1 rPET lifinin özgül ağırlık tayini.....	79
3.2.2 rPET lifinin DSC analizi.....	79
3.2.3 rPET lifinin dayanım deneyleri	81
3.2.4 rPET lifinin taramalı elektron mikroskobu analizi	83
3.2.5 Alt bölüm sonucu.....	84
3.3 Kompozitlerin İçerdiği Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi	85
3.3.1 Priz geciktirici türünün ve miktarının belirlenmesi	86
3.3.2 Numune hazırlama yönteminin ve rPET lifinin özelliklerin belirlenmesi	86
3.3.3 rPET lifinin boyunun belirlenmesi	88
3.3.4 rPET lifinin hacim oranlarının belirlenmesi	90
3.3.5 Aderans artırıcı katkı malzemesinin türünün belirlenmesi	93
3.3.6 Alt bölüm sonucu.....	100
4.DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	103
4.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	103
4.2 Sertlik Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	105
4.3 Buhar Geçirgenlik Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	107
4.4 Ultrases Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	108
4.5 Rötre Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	110
4.6 Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	111
4.7 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	114
4.8 Charpy Çarpma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	116
4.9 Elastisite Modülü Sonuçlarının Değerlendirilmesi	118
4.10 Tokluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi	120
4.11 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ...	122
4.12 Levhaların Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	125
4.12.1 Levhaların Charpy çarpma deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	125
4.12.2 Levhaların eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi....	126
4.13 Alt Bölüm Sonucu	128
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	131
KAYNAKLAR.....	137
EKLER.....	147
ÖZGEÇMİŞ.....	197

KISALTMALAR

μm	: Mikrometre
δ_H	: Havanın su buharı difüzyon direnci
R_B	: Su buharı gaz sabiti
T	: Hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{K}$)
P	: Ortalama hava basıncı (mmHg)
P_o	: Normal atmosfer basıncı (mmHg)
μ	: Buhar difüzyon direnç faktörü
d_{ort}	: Numune Kalınlığı (m)
A	: Su buharı geçişinin olduğu numunenin yüzey alanı (m^2)
P_1	: Dış su buharı basıncı (Pascal)
P_2	: İç su buharı basıncı (Pascal),
d_H	: Numune ile bardak içindeki CaCl_2 arasında kalan boşluğun kalınlığı
G	: Su buharı geçiş oranı (kg/saat)
F_{ort}	: Numunelerin iki ölçüm arası ağırlık farkları (kg)
t	: İki ölçüm arasında geçen süre (saat)
r	: Rötre
Δl	: Boy değişimi
I_1	: Numunenin ilk ölçüm boyu (mm)
d_{ort}	: Numune kalınlığı (m)
N	: Kapiler su emme katsayısı ($\text{cm}^3/\text{cm}^2\sqrt{\text{dak}}$)
S_a	: Su emme yüzdesi (%)
d	: Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
kN	: Kilonewton
$\sigma_{\text{eğilme}}$	: Eğilme dayanımı (N/mm^2)
P	: Kırılma anındaki yük
l	: Mesnet açıklığı (mm)
b	: Kırılma kesitinin genişliği (mm)
h	: Kırılma kesitinin yüksekliği (mm)
E	: Elastisite modülü (N/mm^2)
j	: Joule

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Çeşitli doğal ve yapay liflerin fiziksel, mekanik ve ısısal özellikleri.	14
Çizelge 2.2	: PET liflerine ait genel özellikler	17
Çizelge 2.3	: PET lifi türlerine ait uzama ve mukavet değerleri	18
Çizelge 2.4	: Son yıllarda Türkiye'deki PET şişe üretimi	19
Çizelge 3.1	: Seperatör çıkışı ve kartonpiyer alçının elek analizi sonuçları	58
Çizelge 3.2	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçının kıvam tayini sonuçları	60
Çizelge 3.3	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin priz ve katılaşma süreleri	61
Çizelge 3.4	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin sertlik değerleri	63
Çizelge 3.5	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin buhar geçirgenlik direnç faktörü sonuçları	65
Çizelge 3.6	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri	66
Çizelge 3.7	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin ağırlık kaybı değerleri	68
Çizelge 3.8	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin rötre değerleri	68
Çizelge 3.9	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin birim ağırlık değerleri	71
Çizelge 3.10	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri	72
Çizelge 3.11	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin eğilme dayanımı değerleri	74
Çizelge 3.12	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin basınç dayanımı değerleri	76
Çizelge 3.13	: rPET liflerine ait DSC analizi sonuçları	79
Çizelge 3.14	: rPET liflerine ait dayanım değerleri	81
Çizelge 3.15	: 65/100 su/alçı oranına sahip kartonpiyer alçı numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri	85
Çizelge 3.16	: rPET elyafının fiziksel, termal ve mekanik özellikleri	85
Çizelge 3.17	: Farklı boyda rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı numunelerin mekanik dayanım ve fiziksel özellik değerleri	89
Çizelge 3.18	: rPET lifi-alçı kompozit numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri	91
Çizelge 3.19	: Hacimce %1 aderans artırıcı katkı malzemesi içeren alçı kompozitlerin mekanik dayanım ve fiziksel özellik değerleri	95
Çizelge 3.20	: Hacimce %5 aderans artırıcı katkı malzemesi içeren alçı kompozitlerin mekanik dayanım ve fiziksel özellik değerleri	96
Çizelge 3.21	: Ağırlıkça farklı oranlarda aderans artırıcı katkı malzemesi içeren lifsiz alçı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellik değerleri	98
Çizelge 3.22	: Ağırlıkça farklı oranlarda aderans artırıcı katkı malzemesi içeren lifli vr lifsiz alçı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellik değerleri	99

Çizelge 3.23 : Şahit alçı, lifli alçı, lifsiz-aderans artırıcı katkılı alçı kompozitler ve lifli-aderans artırıcı katkılı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri	102
Çizelge 4.2 : rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.....	104
Çizelge 4.2 : rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri.....	106
Çizelge 4.3 : rPET lifi-alçı kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerleri.....	107
Çizelge 4.4 : rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerleri.....	108
Çizelge 4.5 : rPET lifi-alçı kompozitlerin rötre değerleri.....	110
Çizelge 4.6 : rPET lifi-alçı kompozitlerin ağırlık kaybı yüzdeleri.....	111
Çizelge 4.7 : rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.....	112
Çizelge 4.8 : rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.....	114
Çizelge 4.9 : rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma deneyi sonuçları.....	117
Çizelge 4.10 : rPET lifi-alçı kompozitlerin elastisite modülü değerleri.....	118
Çizelge 4.11 : rPET lifi-alçı kompozitlerin tokluk değerleri.....	121
Çizelge 4.12 : rPET lifi-alçı levha kompozitlerin Charpy çarpma değerleri.....	125
Çizelge 4.13 : rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.....	127
Çizelge 4.14: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin fiziksel ve mekanik değerleri.....	129
Çizelge 4.15 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin fiziksel ve mekanik değerleri.....	130
Çizelge A.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri..	148
Çizelge A.2: 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri..	152
Çizelge B.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri.....	156
Çizelge B.2: 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri.....	158
Çizelge C.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerleri....	160
Çizelge C.2: 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerleri....	162
Çizelge D.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin rötre değerleri.....	164
Çizelge D.2: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ağırlık kaybı yüzdeleri.....	165
Çizelge D.3: 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin rötre değerleri.....	166
Çizelge D.4: 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ağırlık kaybı yüzdeleri.....	167
Çizelge E.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.....	168
Çizelge E.2: 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.....	172
Çizelge F.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.....	176
Çizelge F.2: 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.....	180
Çizelge G.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma değerleri.....	184
Çizelge G.2: 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma değerleri.....	186
Çizelge H.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.....	188
Çizelge H.2: 6,6 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.....	190
Çizelge I.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı levhacompozitlerin Charpy çarpma değerleri.	192
Çizelge I.2: 6,6 dtex rPET lifi-alçı levhacompozitlerin Charpy çarpma değerleri.	195

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Kaynaklarına göre liflerin sınıflandırılması	10
Şekil 2.2	: Farklı malzemelere ve çeşitli polimerlere ait Young Modülü-yoğunluk grafiği.....	12
Şekil 2.3	: Poliester lif üretim şeması	16
Şekil 2.4	: PET şişe üretimi kütle denkliği	20
Şekil 2.5	: PET atık şeması	23
Şekil 2.6	: PET şişenin yaşam döngüsü	24
Şekil 3.1	: Elek sarsma makinesi	58
Şekil 3.2	: Seperatör çıkışı ve kartonpiyer alçının granülometri eğrisi	59
Şekil 3.3	: Vicat Sondası.	60
Şekil 3.4	: Vicat İğnesi.	61
Şekil 3.5	: Yük uygulama (Shore D) tertibatı	62
Şekil 3.6	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin sertlik değerleri... ..	63
Şekil 3.7	: Buhar geçirgenlik deneyi düzeneği	64
Şekil 3.8	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerleri	66
Şekil 3.9	: Rötire aleti ve tartı	67
Şekil 3.10	: Kapiler su emme deney düzeneği.....	69
Şekil 3.11	: Seperatör çıkışı alçı numunelerin kılcallık grafiği	70
Şekil 3.12	: Kartonpiyer alçı numunelerin kılcallık grafiği.....	70
Şekil 3.13	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin birim hacim ağırlık grafiği	72
Şekil 3.14	: Eğilme presi ve 4x4x16 cm boyutlu prizmatik alçı kompozit.....	73
Şekil 3.15	: Eğilme presi	73
Şekil 3.16	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin eğilme dayanımı grafiği.....	74
Şekil 3.17	: Basınç presi.	75
Şekil 3.18	: Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin basınç dayanımı grafiği.....	76
Şekil 3.19	: Taramalı elektron mikroskobu,Trento,İtalya.....	77
Şekil 3.20	: AK60 için (a)500kx, (b)1.00kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	78
Şekil 3.21	: AK65 için (a)2.00kx, (b)5.00kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	78
Şekil 3.22	: AK70 (a)2.00kx, (b)5.00kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	78
Şekil 3.23	: 6,6 dtex rPET lifi için DSC analizi grafiği.....	80
Şekil 3.24	: 3,3 dtex rPET lifi için DSC analizi grafiği.....	80
Şekil 3.25	: Universal mekanik dayanım testi makinası.....	81
Şekil 3.26	: 3,3 dtex rPET liflerine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	82
Şekil 3.27	: 3,3 dtex rPET lifinin enine kesit SEM fotoğrafları (a) 1.00kx, (b) 500x büyütme.....	83
Şekil 3.28	: 3,3 dtex rPET lifinin boyuna SEM fotoğrafları (a) 200x, (b) 500x büyütme.....	83

Şekil 3.29 : 6,6 dtex rPET lifi enine kesit SEM fotoğrafları (a) 500x, (b) 500x büyütme.....	84
Şekil 3.30 : 6,6 dtex rPET lifi boyuna SEM fotoğrafları (a) 200x, (b) 200x büyütme.....	84
Şekil 3.31 : Farklı lif hacim oranlarında üretilmiş rPET lifi-alçı kompozitler (a-b).	91
Şekil 3.32 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlere ait SEM fotoğrafları (a) 500x, (b) 500x büyütme.....	92
Şekil 3.33 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlere ait SEM fotoğrafları (a) 1.00kx, (b) 2.00kx büyütme.....	93
Şekil 4.1: rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık grafiği.....	105
Şekil 4.2 : rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik grafiği.....	106
Şekil 4.3 : rPET lifi-alçı kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü grafiği	108
Şekil 4.4 : rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı grafiği.....	109
Şekil 4.5 : rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilmede çekme dayanımı grafiği.....	112
Şekil 4.6 : rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı grafiği.....	115
Şekil 4.7 : rPET lifi-alçı kompozitlerin çarpma grafiği.....	117
Şekil 4.8: rPET lifi-alçı kompozitlerin elastisite modülü grafiği.....	119
Şekil 4.9 : rPET lifi-alçı kompozitlerin tokluk grafiği.....	120
Şekil 4.10 : 6,6 dtex çaplı hacimce %0,05 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a)3.00Kx büyütülmüş (b)2.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	122
Şekil 4.11 : 6,6 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 500x büyütülmüş (b) 1.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	122
Şekil 4.12: 3,3 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 500x büyütülmüş (b) 1.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	123
Şekil 4.13 : 3,3 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 1.00Kx büyütülmüş (b) 2.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	123
Şekil 4.14 : 3,3 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 500x büyütülmüş (b) 1.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	124
Şekil 4.15 : 6,6 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 1.00Kx büyütülmüş (b) 1.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	124
Şekil 4.16 : 6,6 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 2.00Kx büyütülmüş (b) 200x büyütülmüş SEM fotoğrafları.....	124
Şekil 4.17 : rPET lifi-alçı levha kompozitlerin Charpy çarpma deneyi grafiği.....	126
Şekil 4.18 : rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı grafiği.....	128

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET LİFİ-ALÇI KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Birden çok malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşan ve karışıma giren malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip olan kompozit malzemelerin üretimi, günümüzün artan ihtiyaçları karşısında önem kazanmıştır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan alçı kolay elde edilebilir, işletilebilir hammadde kaynakları özellikle ülkemizde yeterli düzeyde bulunan, aleve dayanıklı, kolay şekillendirilebilen, temiz-düzgün yüzey veren, iyi bir nem dengeleyici ve ses düzenleyici, yeterli çekme ve basınç dayanımına sahip olması nedeniyle yüz yıllardır yapı içinde en çok tercih edilen malzemelerden biri olmuştur. Bununla birlikte, düşük darbe dayanımına ve tokluk değerine sahip olması nedeniyle kırılğan davranış sergilemektedir. Bu çalışmada yapı ölçeğinde yaygın kullanıma sahip alçının özelliklerini iyileştirmek amacıyla, lif katkısıyla alçı kompozit malzeme üretilebilirliği ve bu kompozitin özellikleri incelenmiştir. Alçı matriksi güçlendirici olarak kullanılan lif, bir geri dönüşüm ürünü olan, atık PET şişelerinden geri kazanılmış polietilen tereftalat lifleridir.

Bu tez çalışması iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada konu ile ilgili yapılmış literatür araştırması anlatılmış, konuyu detaylı olarak açıklayıcı tanımlamalar yapılmış ve konuyla ilgili yapılmış benzer çalışmalar incelenmiştir. İkinci aşama ise deneysel çalışmalardan oluşmuştur.

Deneysel çalışmalar, iki bölümden oluşmuştur. İlk bölümdeki deneysel çalışmalar kapsamında, kompozit içindeki kullanılacak matriks ile matriksi güçlendirmek amacıyla kullanılan fazın, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş, taramalı elektron mikroskopuyla iç yapıları incelenmiştir. Bu deneyler sonucunda; numune üretiminde kullanılacak malzemeler ve deney yöntemleri, kompozit içinde kullanılacak alçının türü ve su/alçı oranı, geri dönüştürülmüş PET lifinin kompozit içindeki hacim oranları, geri dönüştürülmüş PET lifinin boyu ve çapı belirlenmiştir. Üretilen numunelerle yapılmış mekanik deneyler sonucunda ve taramalı elektron mikroskobu analizleriyle alçı kompozitlerin mikro yapıları incelendiğinde, geri dönüştürülmüş PET lifi ve alçı arasındaki aderansın yeterli olmadığı görülmüştür. Matriks-faz arasındaki aderansı artırmak amacıyla, alçıya farklı türlerde ve hacimlerde aderans arttırıcı katkı malzemesi ilave edilerek kompozit üretilmiştir.

Deneysel çalışmaların değerlendirilmesi kapsamında, 3,3 ve 6,6 dtex halinde, iki farklı kalınlıkta geri dönüştürülmüş PET lifi kullanılarak kompozit malzeme üretilmiştir. Kompozitlerin fiziksel, mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını belirlemek amacıyla deneyler ve analizler yapılmıştır. Aderans arttırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş, farklı hacim oranlarında geri dönüştürülmüş PET lifi içeren alçı kompozitlerin mekanik dayanımları ve fiziksel özellikleri birbiriyle ve lif katkısız şahit alçı numunelerle karşılaştırılıp, değerlendirilmiştir. Aderans arttırıcı

katkı malzemesi kullanılmasıyla, kompozitlerdeki lif ve matriks arasında oluşan aderansın durumu, taramalı elektron mikroskopuyla incelenmiştir.

Çalışmaların sonucunda, geri dönüşüm ürünü olan PET liflerinin ve aderans artırıcı katkı malzemesinin kullanılmasıyla üretilmiş alçı kompozitlerin, yeterli mekanik dayanıma sahip olduğu, lif-matriks arasındaki aderansın, aderans artırıcı katkı malzemesiyle birlikte iyileştirilmiş olduğu görülmüş ve geri dönüştürülmüş PET lifi-alçı kompozitlerin tokluk değerinin lifsiz alçıya oranla önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir.

AN ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF RECYCLED PET FIBER- GYPSUM COMPOSITES

SUMMARY

Recycling has gained increasing importance due to shortage of sources of raw materials used in the production of materials, efforts made to reduce damage to the environment during the production and usage phases hence preventing soil, water and air pollution, reducing the damage caused during the production and elimination of materials and preserving the energy and sources used during this process. The fact that recycled plastic and recycled materials obtained through recycling methods are relatively cheaper than pure materials produced out of raw materials also engenders economic gains. The fact that materials of polymer origin are polluting elements as they remain in nature without decaying for a long time and that the recycling methods of PET bottles that have a serious share among waste polymers can be applied in our country was the point of origin of this thesis.

Two parallel objectives were considered in this analysis: to improve the properties of gypsum and to reintroduce waste PET bottles turned into fibers following recycling as building material. The possibilities to produce a new composite material by using the fiber produced of recycled PET bottles as a reinforcing material in gypsum to improve the properties of gypsum was analyzed with the objective of contributing to improving economic and ecological conditions.

Gypsum has been in use for a variety of purpose as building material for centuries and is also a component of numerous composite materials. Gypsum is preferred as it is easily obtainable, cheap, has enough mechanical strength as well as humidity equalizer properties. Nevertheless, it is a brittle and its impact resistance and toughness value are comparatively low. Therefore, gypsum composites reinforced with recycled PET fibers have been produced to improve the impact resistance and toughness of gypsum used as building material.

First of all studies related to gypsum to be used as composite material component and recycled PET fibers were examined. When studies related to recycled PET fibers, gypsum, gypsum matrix and composites produced of various reinforcing materials, composites of PET Fibers and various kinds of polymers, waste PET products and those determining their characteristics were examined, no study regarding the characteristics of gypsum composites reinforced with recycled PET fibers were found.

The fibers produced by PET recycling plants in the market were analyzed to determine what type of fibers could be used, which companies could procure r-PET fiber and how the continuity of supply could be maintained. Pilot tests were conducted on fibers to be used and their characteristic properties were determined.

The mechanical and physical properties of samples produced using different proportions of water/gypsum were used with two different kinds of gypsum, namely the moulding and separator panel outputs were analyzed to determine the type of

gypsum that makes up the matrix phase of the composites. As a results of tests conducted, it was decided to use moulding plaster in 65% water/gypsum proportion in the production of composites.

During the sample production, it was determined that the setting duration of the gypsum was inadequate for preparation and moulding and the decision was taken to add citric acid ($C_6H_8O_7$) in at a proportion of 0.025% to the weight of the gypsum as a retardant.

During preparation of the samples, a mixer was used for mixing and it was observed that the rPET fiber adhered to the mixer forming balls and did not disperse in the mixture in a homogeneous manner. Therefore, during the sample preparation, first of all the fibers were added to the water, then the gypsum powder and the samples were prepared by mixing by hand. In addition, the rPET fibers were secured from the producer company during the production phase, wet and uncut and were cut in the required length in the laboratory.

The critical fiber length of the rPET fibers used in the composite was determined as 1 cm using the “Pull-off” test and calculating the Kelly-Tyson correlation. Samples using 1, 2, 3 and 4 cm long fibers were prepared and following mechanical and physical tests, it was determined that composites with 1 cm long fibers had the highest mechanical resistance strength values.

As a result of test conducted to determine the proportion of rPET fibers in composites, it was determined to produce samples with a fiber volume of 0%, 0.05%, 0.075%, 0.1%, 0.15%, 0.2%, 0.25%, 05%, 0.75% and 1%. Although samples with 2% and 5% fiber volume were prepared, it was decided not to add more that 1% fiber as it was determined that fiber did not disperse homogeneously in the matrix when higher fiber volumes were used.

Although the compressive and flexural strength of the gypsum fiber reinforced composites with a fiber volume of 0.1% and 0.15% increase a little in comparison to witness samples without fiber, it was determined that the resistance strength of gypsum composites with higher volumes of fiber decreased. Moreover, scanning electron microscope (SEM) analysis of the rPET fiber-gypsum composites showed that gaps were formed around the fiber and as a result, adherence between the fibers and gypsum was insufficient thus decreasing the mechanical resistance strength of the composites. As a result of this observation, it was decided to produce rPET fiber-gypsum composites reinforced with adherence increasing additives.

Different adherence increasing additives such as styrene, butadiene emulsion, acrylic and PVA based ones were procured from six different companies and composites of gypsum with 0.1% of fiber volume and 1% of adherence enhancing additives were produced. These tests have revealed that samples produced with PVA dispersion based adherence enhancing additive with the “PVA 3” code have the highest resistance strength. Therefore, it was decided to use the dispersion based “PVA 3” adherence enhancing material in the composites.

Gypsum composites without fibers with 1% to 10% adherence enhancing additives were prepared in order to determine the amount of the additive in the composite and a an amount of adherence enhancer equal to 5% of the weight of the composite was added because it provided the necessary mechanical strength and was more economic.

The mechanical and physical properties of the samples produced according to decisions stated above were determined and it was observed that the addition of either fiber or adherence enhancing additives improved the mechanical strength of gypsum. It was determined that when both additives (adherence enhancing additive and fibers) were used together the mechanical strength of the composites was higher than in the other composites. This shows that adherence enhancing additives improve the adherence between the fibers and gypsum. Moreover, the addition of adherence enhancing additives form a continuous polymer film between the gypsum crystals and this in turn leads to assume that this effectively coats the capillary space in the gypsum. In addition, it is assumed that this film prevents the spread of the micro cracks that develop due to the stress strength thus impeding the fragility of gypsum. A less brittle and more flexible material has been obtained by including adherence enhancing additives to gypsum composites.

SEM analyses have been conducted for the adherence enhancing additive added 3,3 and 6,6 dtex rPET fiber-gypsum composite samples to analyze their mechanical, physical and micro structure.

The weight per unit of volume test showed that change in the fiber volume did not make a significant difference in the unit volume weight value of the composites. Samples with the lowest unit volume weight were found to be those with the highest fiber volume. The space proportion in composites is thought to increase with the increase of fiber volume in the composite.

According to the Shore D hardness measurements, although the hardness value of the composites changes between 50 and 59, the hardness value of gypsum without fiber was measured as 53. This was interpreted as due to the fact that the water/gypsum proportion in all the composites remained constant and that the difference of the fiber volume proportions in the composites was rather small and hence, did not make a considerable in the hardness of the mixtures.

In 3,3 dtex rPET fiber reinforced composites with close vapor resistance factor values the μ value changed between 14 and 15, the μ value of gypsum without fiber was found to be 14. The vapor resistance factor value of 6.6 dtex rPET fiber reinforced gypsum composites also changes between 14 and 16. We may assume that the vapor resistance factor in the samples does not show much difference due to the fact that the water/gypsum proportion in all samples is the same. However, changes were observed in the passage ways of the vapor with changes in the amount of fibers and the changes led to a little decrease in the vapor resistance factor with the increase in the amount of fibers.

The shrinkage measurements have shown that while the shrinkage value of the witness gypsum samples without fibers, an increase was observed in the shrinkage value of fiber reinforced gypsum composites. It was found out that among the rPET fiber-gypsum composites, the shrinkage value of composites with diameter of 3,3 dtex was higher than 6,6 dtex fiber-gypsum composites. We can assume the increase in number of fibers depending on the volume of fibers the composite and the adherence enhancing additive increases shrinkage. The fact that the weight loss values of all composites is approximately the same stems from the fact that all composites have the same water/gypsum proportion.

According to the results of the ultrasonic pulse velocity test that gives important information about the micro voids of the material, the ultrasonic pulse velocity of gypsum composites without fibers and that of gypsum composites with fibers are

very close to one another and only a very small decrease has been observed in the ultrasonic pulse velocity of the composites with increase in the fiber proportion. Similarly to unit volume weight values, it was determined that with the increase in fiber proportions of composites without adherence enhancing additives, there is an increase in the micro voids and hence a drop in the ultrasonic pulse velocity, but that the micro voids of composites decrease with the addition of adherence enhancing additives.

Compressive strength and flexural strength tests were conducted within the scope of mechanical strengths. In different fiber volumes the flexural strength of gypsum composites reinforced with 3,3 dtex rPET fibers was found to be higher than of the value of gypsum composites without fibers. The flexural strength value at maximum flexing of composites with 3,3 dtex rPET fibers is approximately 34 % more than the flexural strength of gypsum without fibers, however, the flexural strength of composites dropped with the increase of the fiber proportion. Similar results were obtained in gypsum composites reinforced with 6,6 dtex rPET fibers. Composites containing low volumes of fiber were found to have higher flexural strength values. An improvement of approximately 47 % was provided in the flexural strength of composites 6,6 dtex rPET fibers in comparison with composites without fibers. The highest flexural strength was obtained in composites containing fiber-gypsum composites containing 6,6 dtex rPET fibers of 0.05 % fiber by volume and composites with 3,3 dtex rPET fibers of 0.075 % fiber by volume. The compression strength of composites containing only fibers was found to be lower than that of witness gypsum samples. The increased flexural and compressive strengths also confirm the fact that addition of adherence additives improves the adherence between fibers and gypsum.

According to data obtained from compressive strength tests, the compressive strength values of composites in which gypsum was reinforced with fibers was higher than those of mixtures without fibers. The proportion of micro voids in the samples increases with the increase of fiber volume and therefore, the compressive strength value of the composites drop a little. Nevertheless, the highest compressive strength was found in samples that contain 0.075 % 3,3 dtex rPET fibers. This value is approximately 62 % more than that of gypsum mixtures without fibers. The highest compressive strength value among composites with 6,6 dtex rPET fibers was found in those that contain 0.05 % fiber volume. This value is approximately 49 % more than that of gypsum mixtures without fibers. It was observed that samples with the highest compressive strength also had the highest flexural strength.

The results of mechanical tests have shown that composites with the best mechanical strength were those with adherence enhancing additives, had a fiber volume of 0.05 % and 0.075 %, and were reinforced with rPET fibers of 1 cm in length.

The result of the toughness strength calculated using the stress-strain curve graph and Charpy impact test of rPET fiber-gypsum composites showed that the values increased with the increase in fiber volume. The toughness property which means breaking of the material without falling into small pieces is of importance in gypsum panels used in the interior of buildings. The toughness strength of both the 3,3 dtex rPET fiber-gypsum and the 6,6 dtex rPET fiber-gypsum composites increased approximately two folds in comparison to gypsum without fibers with the increase of fiber volume.

The modulus of elasticity increased seriously in parallel with the increase in the fiber volume. The fibers that are useful in improving the brittleness of gypsum and prevent gypsum from shattering due to impacts have also seriously increased the toughness value of gypsum.

Analysis of the flexural strength of rPET fiber-gypsum composites in panel form has shown that gypsum panels composites containing a 0.075 % volume of 3,3 dtex rPET fibers and those containing a 0.1 % of 6,6 dtex rPET fibers have the highest flexural strength values. An improvement of 48 % was attained in the flexural strength in comparison to the witness samples of gypsum with no added fiber. The Charpy impact test results showed that an improvement of approximately 68 % was obtained in the impact strength of gypsum composite panels in comparison to the witness samples of gypsum panel with no added fiber. The data obtained from tests conducted on panels was confirmed with tests conducted on prismatic samples.

Recycled plane surface PET fibers were used in for the thesis study. However, studies done earlier have indicated that the surface of the fibers could affect the adherence in the composite. We propose to produce gypsum composites with rPET fiber which have different surface features to determine their mechanical and physical properties.

Experimental studies can be conducted using different materials to increase adherence between fibers and gypsum. Similar studies could also be conducted to study the properties of gypsum composites containing talcum powder. Moreover, the possibilities of using PET fibers in different binding matrixes so as to investigate the possibility of reuse and production of construction materials.

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiye ve artan ihtiyaçlara bağlı olarak istenilen performans özelliklerine cevap veren yeni malzeme üretmeye yönelik çalışmalara paralel olarak malzeme çeşitliliğindeki artış, hızla devam etmektedir. Ancak doğal hammadde kaynakların kısıtlı olması ve üretim, kullanım, yok etme-dönüşüm aşamalarında çevreye en az zararlı malzeme üretmek, günümüzün çözüm aranan sorunları olarak gündemdeki yerini korumaktadır.

Bu bağlamda, çalışma konusu olarak seçilen alçı ile ilgili yerli ve yabancı pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaya değer görülmektedir. Yüz yıllardır, yapı içinde en çok tercih edilen malzemelerden biri olan alçı, kolay elde edilebilir, aleve dayanıklı, kolay şekillendirilebilen, temiz-düzgün yüzey veren iyi bir nem dengeleyici ve ses düzenleyicidir. İşletilebilir alçı hammadde kaynakları ise ülkemizde yeterli seviyededir. Geleneksel yapı malzemelerinden olan alçının iyileştirilmesine ve/veya geliştirilmesine yönelik yapılacak çalışmaların, yapı sektörü açısından önem taşıdığına inanılmaktadır.

1.1 Problem

Teknolojik gelişmeler ve nüfus oranının artmasına bağlı olarak artan kullanıcı istekleri ve ihtiyaçları sonucunda malzeme çeşitliliği artmış, bu malzemelerin tüketimleri sonrasında oluşan atıklar ise çevresel sorunlara neden olmuştur. Çevresel sorunların yaşam kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri, çevrenin korunmasıyla ilgili kaygıları artırmıştır. Atıkların önemli bir kısmını oluşturan plastik atıklar içinde büyük bir orana sahip olan PET şişelerin, neden olduğu pek çok çevresel sorundan (çıkardıkları zehirli gazların havayı kirletmesi, PET'in doğada bozulmadan yıllarca kalması...vb.) dolayı, PET'in geri dönüştürülmesi, her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Geri dönüşüm teknolojisinin hızla gelişmesine rağmen, geri dönüşüm sonucunda elde edilen ürünlerin yeniden kullanıma kazandırılmaları amacıyla yapılan çalışmaların yetersiz kalması, önemli bir sorun teşkil etmektedir. Geri kazanılmış plastiklerin ve özellikle geri dönüştürülmüş PET'in, tıp ve gıda

sektöründe kullanılamaması, geri dönüştürülmüş plastiklerin yeniden kullanıma kazandırma çalışmalarını sınırlamaktadır.

Diğer taraftan kompozit malzeme üretiminde tercih edilen alçının, akustik, bölme, estetik... vb. amaçlarla kullanılmasına rağmen, darbe dayanımı ve tokluk gibi bazı özelliklerde yetersiz kalması, alçının özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılacak çalışmaların gereğini ortaya koymaktadır.

1.2 Amaç

Çalışmanın amacı, alçının özelliklerini iyileştirmek ve geri dönüştürülme sonucunda elyaf olarak yeniden üretilen atık PET şişelerinin, yapı malzemesi olarak kullanıma yeniden kazandırılması ve güçlendirici olarak alçının içinde kullanılmasıyla alçının da özelliklerini iyileştirerek yeni kompozit malzeme üretim olanaklarının araştırılmasıdır. Geri dönüştürülmüş polimer katkısıyla üretilecek alçı kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılacak bu çalışmada, alçıdan elde edilecek verimin geliştirilmesi, geri dönüşüm ürününün kullanıma kazandırılmasıyla, ekonomik ve ekolojik koşulların iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

1.3 Önem

Malzeme üretiminde kullanılan hammadde kaynaklarının kısıtlılığı, üretim ve kullanım aşamalarında çevreye verilen zararı azaltma çabaları, toprak su ve hava kirliliğinin önlenmesi, ürünlerin üretimi ve yok edilmesi sırasında oluşan zararların azaltılması ve bu süreçte harcanan enerjinin ve kaynakların korunması, geri dönüşüm çalışmalarına önem kazandırmıştır. Polimer kökenli malzemelerin doğada uzun süre bozulmadan kalması nedeniyle kirletici olması ve atık polimerlerin arasında önemli bir paya sahip olan atık PET şişelerin geri dönüşüm yöntemlerinin ülkemizde de uygulanabilmesi, tezin çıkış noktası olmuştur. Ayrıca geri dönüşüm ürünlerinin üretim maliyetlerinin, hammaddeden üretilmiş saf malzemelerin üretim maliyetlerinden nispeten daha ucuz olması nedeniyle ekonomik kazanç da sağlanması, bu konuda yapılabileceklerin sorgulanmasını sağlamıştır. Diğer taraftan alçının yapı malzemesi olarak çok çeşitli amaçlarla yüzyıllardır kullanılmasının yanı sıra pazardaki birçok kompozit malzemenin bir bileşeni olması, kolay elde edilmesi, ucuz olması, yeterli mekanik dayanıma sahip olması, nem dengeleyici olmasıyla,

yeni bir kompozit üretimi için temel malzeme olarak seçilmesini öne çıkarmıştır. Alçının ülkemizde, yapı malzemesi olarak yaygın şekilde kullanımına rağmen, kırılgan bir davranış sergilemesi ve göreceli olarak darbe dayanımının düşük olması, bu özelliklerinin iyileştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Alçının özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılmış pek çok çalışma bulunmasına rağmen, polimer malzemelerle güçlendirilmiş alçı kompozitler konusunda yapılmış çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Ayrıca geri dönüştürülmüş PET lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitler üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

1.4 Hipotez

Bu çalışmada, öncelikle alçının, geri dönüştürülmüş PET lifleriyle güçlendirilmesi sonucunda, yetersiz olan darbe dayanımı ve tokluk gibi özelliklerinin iyileştirileceği öngörülmüştür.

Genelde plastiklerin geri dönüştürülmelerinin, yenilenemeyen fosil yakıt kaynaklarının korunmasında, enerji tüketiminin, toprağa gömülen atık malzemelerin miktarının, CO₂, NO ve SO₂ gibi zehirli gazların emisyonlarının azaltılmasında ve geri dönüşüm ürünleri kullanarak üretim maliyetlerinin azaltılmasında ekonomik fayda sağladığı bilinmektedir. Çalışmada, geri dönüştürülmüş PET liflerinin, alçı kompozit içinde kullanılmasıyla, sadece alçının özelliklerinin iyileştirilmesinin değil aynı zamanda plastiklerin geri dönüştürülmesiyle elde edilen yukarıda kısaca açıklanmış faydaların da sağlanacağı düşünülmektedir.

1.5 Sınırlılık

Günümüzde çok çeşitli polimer türlerinin bulunmasına rağmen, ülkemizde uygulanan geri dönüşüm işlemlerinin bütün polimer çeşitlerini kapsamaması çalışmada bazı sınırlamaların getirilmesini gerektirmiştir. Su saklama kabı olarak üretilen PET şişelerinin günümüzde yaygın kullanımı, birden çok ilimizde faaliyette olan PET şişe geri dönüşüm fabrikalarının ürettiği elyafa ulaşım kolaylığı ve geri dönüştürülmüş PET elyafının nispeten daha ekonomik olması, alçı kompozitler içinde güçlendirici olarak katılacak polimerin, PET olarak seçilmesine neden olmuştur.

1.6 Yöntem

Kompozit malzeme üretme olanaklarının araştırıldığı tez çalışması kapsamında öncelikle, kompozit malzeme bileşenleri olarak kullanılan alçı ve geri dönüştürülmüş PET lifleriyle ilgili yapılmış çalışmalara ait yerli ve yabancı literatürdeki araştırmalar incelenmiştir. Piyasada, PET geri dönüşüm fabrikalarının ürettikleri elyaflar incelenerek hangi liflerin kullanılabileceği, hangi firmalardan rPET liflerin temin edilebileceği ve sürekliliğinin sağlanabileceği araştırılmış, kullanımına karar verilen lifler ile pilot deneyler yapılarak, liflerin karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Benzer çalışma alçı için de sürdürülmüş ve temin edilen alçının çalışma açısından gerekli olan özellikleri tayin edilmiştir.

DeneySEL çalışmanın ilk kısmında, kompozit malzeme içinde kullanılmış olan lif oranları ve boyutları belirlenmiştir. Farklı çaplarda ve hacim oranlarında geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat lifi içeren alçı kompozitlerin üretilebilirliği araştırılmıştır. Bu doğrultuda üretilen rPET lifi-alçı kompozitlerin fiziksel, mekanik ve mikro yapısal özellikleri belirlenerek elde edilen veriler sonucunda, lif-matriks arasındaki aderansın artırılması amacıyla, aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilerek yeni kompozitler üretilmiştir. Bu kompozitlerin ve lifsiz şahit alçı numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması kapsamında, öncelikle tezin konusunu oluşturan kompozitlerin, liflerin ve alçının tanımları, tarihçeleri, sınıflandırmaları, özellikleri...gibi ayırt edici bilgiler, belirli bir ayrıntı içinde verilmiştir. Konu alanında yapılmış çalışmalar ve bu çalışmaların irdelemeleri, bölüm sonunda açıklanmıştır.

2.1 Kompozit Malzemeler

İnsanın ihtiyaçları nedeniyle araç-gereç kullanımı, insanlığın yeryüzünde bulunması kadar eskiye dayanmaktadır. İnsanlar önceleri, kullanım amaçlarına uygun malzemeleri, doğadan alıp faydalanmışlar ve bu malzemeleri kendi ihtiyaçlarına cevap verecek biçimde şekillendirmişlerdir. Zamanla bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında ve sahip oldukları olanaklarla, bilgi ve deneyimlerini de ekleyerek, yeni malzemeler üretmeye başlamışlardır. Günümüzde ise doğadan elde edilen hammaddelerden, kullanım amaçlarına uygun olarak ve malzemelerin performans özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenerek, yeni malzemeler üretilmeye başlanmıştır.

Birden çok malzemenin bir araya getirilmesiyle üretilen yeni malzemeye *kompozit malzeme* adı verilir. “Genel olarak kompozit malzeme, ‘mevcut ve /veya ayrı iki veya daha çok malzemeyi fiziksel olarak karıştırmak yoluyla elde edilen ve kendisini oluşturan malzemenin her birinden farklı özelliklere sahip olan çok bileşenli malzeme’ olarak tanımlanmaktadır...Kompozit malzemeye, “karma malzeme”, “çok bileşenli malzeme”, “çok fazlı malzeme”, “donatılı malzeme” ve “pekiştirilmiş malzeme” gibi adlar da verilmektedir.” (Ersoy, 2001). “Kompozit malzeme; iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruplardaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır.” (Şahin, 2006; Karaman ve diğ., 2006).

“Kompozit kelimesi, Latince *componere* kelimesinden türemiştir ve birleştirmek anlamına gelmektedir. Kompozit, aralarında ayırt edici özellikleri olan iki veya daha fazla parçadan oluşmuş malzemedir.”(Carolyn, 2001’den akt. Keskin, 2005).

Kompozit malzeme üretilmesiyle, malzemelerin yüksek dayanım, yüksek rijitlik, mükemmel aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi korozyon direnci, iyi termal ve ısı iletkenliği gibi özelliklere sahip olması sağlanmaktadır.

Kompozit malzeme kavramı, geçen yüzyıldan bu yana mühendislik konusu olarak ele alınmakla birlikte çok bileşenli malzemeler, binlerce yıldır kullanılmaktadır. Örneğin eski çağlardan beri bir yapı malzemesi olarak kullanılan kerpiç, killi toprak içine saman çöplerinin karıştırılmasıyla oluşmuş bir kompozit malzemedir. Kerpiçle beraber harç kavramı gelişmiştir. Sadece bitkisel kökenli malzeme ile oluşturulan harca, daha sonradan kireç katılmış ve bu gelişim devam ederek betonun ortaya çıkmasına kadar uzanmıştır (Kuban, 1998).

“Çatal höyük ve Hacı’larda Neolitik çağdan kalan evlerin, Canhasan ve Alişar’daki Kalkolitik çağdan kalan duvarların inşaatında, hiç taş kullanılmayıp, balçık ve balçık karışımlarıyla yapıldıkları, belgelerden anlaşılmaktadır.” (Ersoy, 2001).

2.1.1 Kompozit malzemelerin genel özellikleri

Kompozit malzemelerin üretiminde amaç, kompoziti oluşturan bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir veya birkaç özelliğinin elde edilmesi, böylece daha üstün performans özelliklerine sahip malzeme üretilmesidir. Bu özelliklerden bazıları; basınç ve eğilme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, yüksek sıcaklık özellikleri, ısı iletkenliği, elektrik iletkenliği ve elektriksel direnç, rijitlik, sertlik, ağırlık, elastik özellikler, estetik görünüm...vb.’dir (Ersoy, 2001; Şahin, 2006; Mallick, 2008; Tekin, 2003). Betonun içine lif katılması da bir kompozit örneğidir (Betoli ve Silvia, 2005).

Bir malzemenin kompozit malzeme olarak kabul edilmesi için dört koşul aranmaktadır. Bunlar;

- İnsan yapısı olması, yani doğal bir malzeme olmaması,
- Kimyasal ara yüzleri birbirinden ayrı ve belirli ara yüzlerle birbirinden ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmesiyle olması,
- Üç boyutlu, yani fiziksel bir birleşim olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin herbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısıyla bu amaçla üretilmiş olmasıdır (Şahin, 2006; Ersoy, 2001; Onursal, 1996).

“Bir kompozitin yapısını oluşturan ögeler; “matriks” olarak kabul edilen sürekli bir faz ile, onun içinde dağılmış değişik özelliklere sahip donatı fazından meydana gelmektedir. Taneli ve lifli kompozitler için özellikle bu yapıdan bahsedilebilir.” (Ersoy, 2001). Fazlar; “içyapı bakımından homojen, belirli yüzeylerle sınırlı bir parça veya, dengedeki bir dizge içinde, başka bölümlerden fiziksel ayrılıklar gösteren ve kesin yüzeylerle sınırlandırılmış tektürel yapılı bölge” (Ersoy, 2001) olarak tanımlanırken, matriksler; “liflerin etrafını saran ve lifleri bir arada tutan malzemelerdir. Bunun dışında lifleri dış etkilere (nem, kimyasallar ve oksitlenme gibi) korur, lif yüzeylerinin birbirine çarparak veya dış etkilere hasar görmesini engeller, çünkü cam ve karbon lifleri yüzey çentiklerine karşı duyarlı malzemelerdir.” (Keskin, 2005). Diğer bir anlatımla; “Bir kompozit malzemenin bünyesinde, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matriks malzemesinin bulunduğu bilinmektedir. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu, gelen yükü taşımak ve matriksin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır. Matriksin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için elyaf ve matriksi birarada tutmanın yanında, çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılgan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Ayrıca plastiklik ve süneklik üstünlüğü ile elyaflarda kırılgan çatlakların yayılmasını önler. Plastik deformasyonlar ve çatlaklar varsa elyaflara paralel olarak yönlerini değiştirir.” (Şahin, 2006).

Farklı malzemelerle oluşturulmuş bütün karışımlar kompozit olarak adlandırılamaz. Örneğin çelikteki krom ve vanadyum, bir karışım oluşturmaya rağmen, kompozit olarak kabul edilemez. Çünkü mikroskobik olarak homojen bir yapıya sahiptir. Fakat karbür uçlu takımlar, yumuşak kobalt metal matriks içine sert karbürlerin yerleştirilmesi, parçacıklı bir kompozitler için örnekler olarak verilebilir (Şahin, 2006).

2.1.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, aşağıda listelendiği şekilde, üç ana gruba ayrılırlar;

1. Dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitler
2. Parçacıklarla dayanımı artırılmış kompozitler

3. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

- a) Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzeme
- b) Kesikli elyaf takviyeli kompozit malzeme
- c) Rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozitler

4. Tabakalı kompozit malzemeler (Şahin, 2006; Çelik, 2003).

Elyaf takviyeli kompozitler;

Kompozit malzemelerin içinde önemli bir paya sahip olan elyaf takviyeli kompozitlerde donatı malzemesi olarak elyaf, kompozit malzemenin temel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılır. Matriks içine dayanıklı, elastikliği yüksek elyaflar ilave edildiği zaman matriksin dayanımının iyileştirilmesinin yanısıra, hafif olan güçlendiriciyle birlikte, kompozitin birim ağırlığının düşürülmesi ve tokluk değerinin de yükseltilmesi beklenir (Ersoy, 2001; Şahin, 2006; Kostikov, 1995).

İki fazlı bir kompozit türü olan liflerle donatılı malzemelerdeki sürekli faz, lifleri birarada tutan ve kompozitin ana birimi olan matriks malzemesini oluşturur. Donatıyı, ortam etkisi ve darbelerden koruyarak, lifleri istenilen doğrultu ve yönelmede tutar. Yüklerin elyafa iletilmesini sağlar. Bu iletimin, istenildiği gibi olabilmesi için lif ile matriks arasında yeterli aderansın olması gerekir. Kompozit bünyesindeki gerilmelerin bir kısmını da karşılayarak taşımaya yardımcı olan matriks malzemeleri, liflerde meydana gelen çatlama ve kopmaları da tolere ederek, kompozitin tokluğunun artırılmasına da yardımcı olur (Mallick, 2008; Ersoy, 2001; Aran, 1990; Şahin, 2006; Figueiro, 2011). Matriks içinde donatı malzemesini ise elyaf oluşturur.

Lifle donatılı kompozit malzemeler için; kerpicing bitkisel elyaf ve samanla karıştırılması, çeşitli bitkisel ve hayvansal liflerin, farklı yapı malzemeleri içinde kullanılması örnek olarak verilebilir (Aran, 1990).

Liflerle donatılı kompozitler, içeriğindeki matriks ve lif fazının özelliklerine göre ikiye ayrılır;

- Sünek matriks-kırılgan lifli kompozitler
- Kırılgan matriks-sünek lifli kompozitler (Ersoy, 2001).

Sünek matriks-kırılğan lifli kompozitler için, matriks fazın polimer kökenli malzemelerin, kırılğan fazı ise metal kökenli liflerin oluşturduğu kompozitler örnek olarak verilebilir (Ersoy, 2001; Aran, 1990). Bu tezin konusu olan alçı matriks, geri dönüştürülmüş PET lifi kompozitler ise kırılğan matriks-sünek lifli kompozitler için bir örnektir.

2.2 Lifin Genel Tanımı ve Tarihçesi

Tekstil ürünlerinin en küçük hammaddesini ve yapı birimini oluşturan lifler, esnek, homojen yapıda, belli bir uzunluğu ve çapı olan, dayanıklı, dokunup örülebilen materyallerdir (Saçak, 2002; Dayıoğlu ve Karakaş, 2007; Karahan ve Mangut, 2006; Kostikov, 1995; Mallick, 2008).

Uzunluk/en oranının 10/1'e eşit ve/veya daha fazla olması, genişliğinin 0,25 mm'den küçük ve/veya eşit olması, kesitinin ise 0,05 mm²'ye eşit ve/veya küçük olması, lifin genel özellikleridir (Aran, 1990; Chawla, 1998). Kısaca "Uzunluğunun kalınlığına oranı yüksek olan, esneklik ve incelik ile karakterize edilen birimler" olarak Tekstil Enstitüsü tarafından tanımlanan tekstil lifleri," (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007) doğal olarak bitki ve hayvanlardan, yapay olarak da sentetik hammaddelerden elde edilir. Lifler bazı işlemlerden geçirilip, önce iplik haline, daha sonra ise dokunarak, örülerek veya nonwoven tekniklerden yararlanarak doku haline getirilirler (Karahan ve Mangut, 2006).

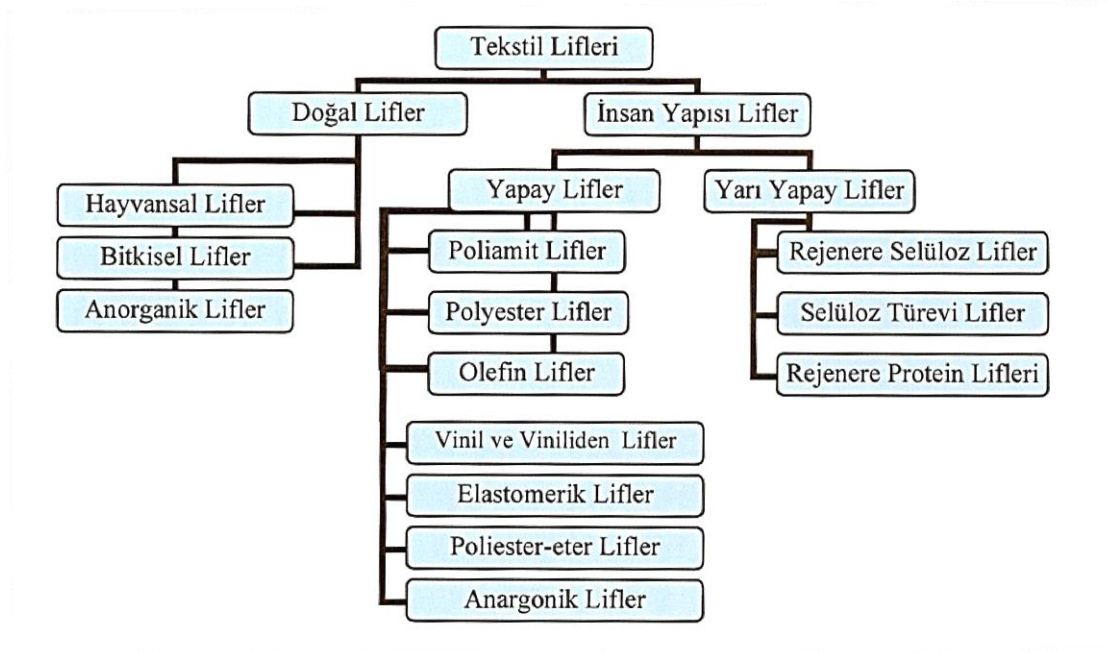
Lif üretiminde kullanılan girdinin kaynağına göre lifler; doğal ve yapay olarak iki ana grupta toplanır. Doğal lifler, doğada lif geometrisi halinde olur ve dokuma amacıyla kullanılır. Doğal lif kaynakları; bitkiler, hayvanlar ve mineraller olup, pamuk, ipek, yün, keten, angora, kendir, doğal liflere örnek olarak verilebilir (Fangueiro, 2011).

Korunma ve giyinme gereksinimi nedeniyle insanoğlunun, en eski çağlardan beri lifi kullandığı bilinmektedir. İpek, yün, keten, pamuk, jüt, kenevir ve rami gibi doğal lifler tarih boyunca tekstil malzemesi olarak kullanılmıştır. Ketenin tarih öncesi zamanlarda kullanılan ilk lif türü olduğu düşünülmektedir. Yün ise bilinen en eski doğal liflerden olup, günümüzde de en çok tercih edilenler arasındadır. Filament halindeki tek doğal lif olan ipek, yüksek mukavemet, parlaklık ve boyutsal kararlılığa sahip olup, kökeni M.Ö.2700'lü yıllara, Çin'e dayanır (Karahan ve Mangut, 2006;

Dayıoğlu ve Karakaş, 2007). Lifler, genellikle kırılğan yapıda olan malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, kırılmalarını ve mikro yapılarında oluşan çatlakların büyümesini engellemek amacıyla kullanılır (Parres ve diğ., 2009).

Yapay liflerin polimer sentezi veya polimerin lif haline getirilmesinde insan üretimi ve teknolojisi bulunmaktadır. Yapay liflerin kaynakları, doğal polimerler, yapay polimerler ve inorganik maddeler olup insan yapısı lifler, kendi içinde yapay ve yarı yapay lifler olarak iki ana gruba ayrılır (Saçak, 2002).

Yapay liflerde, insan ürünü teknolojiyle lif biçimi verilmiş iken yarı yapay liflerde, lifin hammaddesi doğal kaynaklardan sağlanıp, polimere lif şekli verilir. Yarı yapay liflerin üretiminde polimer olarak en çok selüloz tercih edildiği için yarı yapay lifler, selülozik lifler olarak da bilinir (Saçak, 2002). Şekil 2.1’de, lifler, elde edildiği kaynağa göre gruplandırılmıştır.



Şekil 2.1 : Kaynaklarına göre liflerin sınıflandırılması (Saçak, 2002).

Yapay liflerin bütün özelliklerini, lifin hammaddesini oluşturan polimerlerin özellikleri belirler. Monomer molekülleri, polimerizasyon tepkimeleriyle polimer molekülünü oluşturur (Beşergil, 2003). Bu tez kapsamında incelenecek olan geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat lifleri, yapay lifler grubunda olan poliesterlerdendir. Poliester lif ilk kez 1941 yılında, J.R. Winfield ve J.T. Dickson'ın, Calico Printers Association'da uzun zincirli polimerler üzerinde çalışması sonucunda piyasaya çıkarılmıştır. 1948 yılında Imperial Chemical Industries (ICI) poliester lifini

Amerika hariç tüm ülkelerde, Terilen ismiyle, DuPont ise ABD’de üretme hakkını almış, Dacron ismiyle 1951 yılında satışa sunmuştur. (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007)

Poliester lifler, genel olarak ağırlıkça %85 oranında veya daha fazla dihidrik alkol ve tereftalik asit içerir (Harmancıoğlu, 1981). Poliester lifler, yünle birlikte veya yünün yerine kullanılabilen, deriyi tahriş etmeyen liflerdir. Dünyada sentetik lif tüketiminde ise birinci sırada yer almaktadırlar (Oyman, 1985).

2.2.1 Liflerin fiziksel özellikleri

Çalışma kapsamında, liflerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde; lif uzunluğu, inceliği, yüzey şekli, enine kesiti ve yoğunluğu ile ilgili literatür çalışması yapılmıştır.

Lifler doğada uzunluklarına göre; kesikli ve sürekli olarak iki gruba ayrılmaktadırlar (Oyman, 1985). Liflerin en belirleyici özelliklerden olan *lif inceliği*; mikrometre, mikroner index, denye, tex, dtex veya militex birimleriyle tanımlanabilir. Dylene 9000 metre uzunluğundaki lifin gram olarak ağırlığı iken, dtex ise 10000 metre uzunluğun gram olarak ağırlığıdır (Karahan ve Mangut, 2006; Bunsell, 1988).

Liflerin yüzey şekli ve enine kesiti, dairesel, düzgünsüz, fasulye biçimli, üçgen, hegzagonal...gibi çok çeşitli şekilde olabilmektedir (Chawla, 1998). Yüzey pulcukları, enine kırık çizgiler, bükümlü yapı, liflerin yüzey şekline çeşitli örneklerdir (Karahan ve Mangut, 2006). Tarama elektron mikroskopuyla liflerin yüzey şekli ve kesiti belirlenebilmektedir. (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007) Deneysel çalışmalar bölümünde liflerin SEM (tarama elektron mikroskobu) analizlerine yer verilmiştir.

Lif yoğunluğu, santimetreküp başına düşen lifin ağırlığı olup, yünün 1,33 gr/cm³, poliesterin 1,38 gr/cm³, pamuğun 1,5 gr/cm³ ve cam lifinin 2,6 gr/cm³’tür (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007; Chawla, 1998). Şekil 2.2’de, çeşitli malzeme ve polimerlerin, Young modülü-yoğunluk grafiği verilmiştir. *Young modülü*, gerilme-uzama eğrisindeki lineer-elastik kısmın eğimi olarak tanımlanır (Ashby, 1999). PET liflerinin Young Modülü, 2,8 ile 4 GPa arasında, yoğunluğu ise 1,3-1,4 gr/cm³ arasında olup, grafikte poliesterler grubu içinde yerini almaktadır.

2.2.3 Liflerin kimyasal özellikleri

Çeşitli asit ve bazlara dayanıklılık, bünyesindeki nem içeriği ve nem tutuculuk, boyanabilirlik ve şişme, liflerin kimyasal özelliklerinden bazıları olup, bu özellikler liflerin kimyasal yapılarıyla ilişkilidir.

Boyanabilirlik, lifin boyanması sonucunda, boya ile lifin kimyasal etkileşime girebilmesi durumudur (Saçak, 2002). Liflerin, asit ve bazlara karşı dayanımı, bünyesel yapısını koruyarak lifin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.

Nem tutuculuk, lifin, havadaki nemi emme özelliğiyle ilgilidir. Polipropilen ve poliester gibi bazı yapay liflerin nem tutuculuk değeri %0'a yakın iken, keten, jüt gibi doğal liflerin nem tutuculuk değerleri %12 olabilmektedir. Liflerin alev karşısındaki davranışı lif türlerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin cam lifi, alev içinde yumuşayıp kor haline gelirken, akrilik lifler eriyerek hızlı yanar. Pamuk ve keten ise erimeden hızla yanmaktadır (Karahan ve Mangut, 2006).

Çizelge 2.1'de doğal ve yapay liflerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri çeşitli kaynaklardan derlenerek tablolastırılmıştır (Fangueiro, 2011; Karahan ve Mangut, 2006; Saçak, 2002; Chawla, 1998; Dayıoğlu ve Karakaş, 2007; Bunsell, 1988; Chou, 2000; Betioli ve Silva, 2005; Rezaeian ve diğ, 2008).

Pamuk, keten ve jüt gibi doğal liflerin yoğunlukları birbirine yakın olmasına rağmen sentetik lifler grubuna giren PP (polipropilen), en düşük yoğunluklu lif iken, cam lifinin en yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Kuru kopma dayanımı en yüksek olan lif yine cam lifidir. Cam lifini, naylon 6,6, PET, poliester ve doğal liflerden olan keten izlemektedir. Kopma uzaması en düşük lifler ise jüt ve keten olup, bu liflerin nem tutuculuk değerleri yüksektir. PP, PET, rPET (geri dönüştürülmüş PET lifi) ise sıfır ve sıfıra yakın nem tutuculuk değerleriyle diğer liflerden ayrılmaktadır.

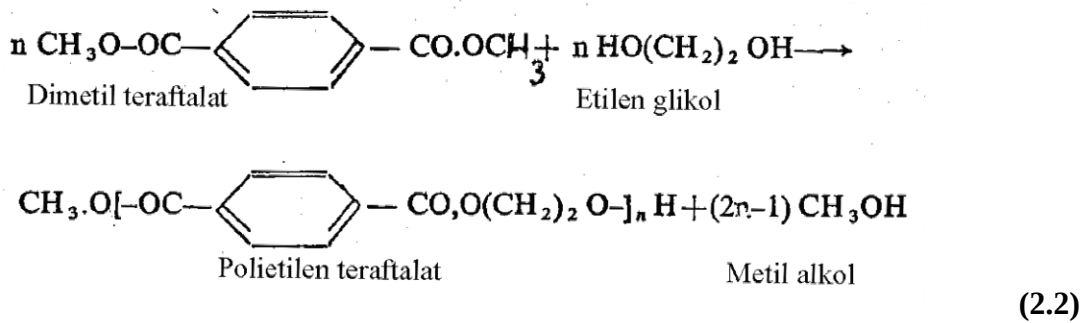
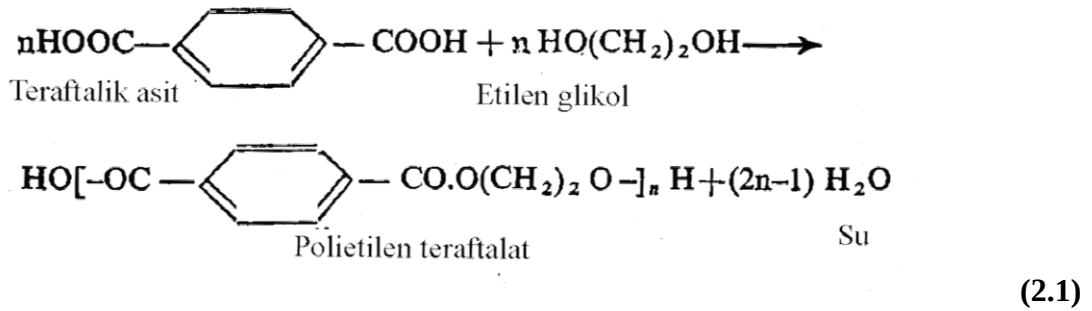
Çizelge 2.1 : Çeşitli doğal ve yapay liflerin fiziksel, mekanik ve ısısal özellikleri (Fangueiro, 2011; Karahan ve Mangut, 2006; Saçak, 2002; Chawla, 1998; Dayıoğlu ve Karakaş, 2007; Bunsell, 1988; Chou, 2000; Betioli ve Silva, 2005; Rezaeian ve diğ., 2008; Kaya, 2005; Yaşar, 2001; Akkurt, 2007).

<i>Malzeme</i>	<i>Pamuk</i>	<i>Keten</i>	<i>Jüt</i>	<i>Poliester</i>	<i>PP</i>	<i>Naylon</i> <i>6,6</i>	<i>rPET</i>	<i>PET</i>	<i>Cam</i>
<i>Özellik</i>									
<i>Yoğunluk (gr/cm³)</i>	1.55	1.50	1.50	1.39	0.91	1.14	1,38	1,36- 1,45	2.5
<i>Kuru Kopma</i> <i>Davranımı(cN/Tex)</i>	19- 45	54	31	47- 56	65	37- 66	33	47- 56	75
<i>Kopma Uzunluğu (%)</i>	5.6- 6,8	3	1.8	15- 7	17	43- 16	6.5	7- 15	2- 3
<i>Nem tutuculuk (%)</i>	7- 8	12	12	0,4	0	3,5- 5	0,4	0,4	0- 0,3
<i>Young modülü (GPa)</i>	5.3- 8	28	25.8	18.35	6.46	4	2.37	3.17	69- 85
<i>Yumuşama Sıcaklığı</i>	---	---	---	230- 240	155	230	250	230	700- 100
<i>Alev karşısında</i> <i>davranışı</i>	Erimedenden hızlı yanar.	Erimedenden hızlı yanar.	Hızlı yanar.	Eriyip yanar, damlar.	Eriyerek yanar.	Yavaş yanar, alevlenir.	Eriyerek yanar, damlar.	Eriyerek yanar, damlar.	Yumuşar, kor haline gelir.

2.2.4 PET liflerinin genel özellikleri

Polietilen tereftalat (PET) lifler, termoplastik poliester lifler arasında en bilinen ve üretilen grubu oluşturmaktadırlar. PET, pek çok uygulamada kullanılabilen, yüksek performans özelliklerine sahip, düşük fiyatlı bir polimerdir (Bizarria ve diğ., 2007). PET lifleri ilk kez 1941 yılında İngiltere’de, J.R.Whinfield ve J.T Dickson tarafından, etilen glikol ve dimetil tereftalattan elde edilmiş ve “Terylene” ticari ismiyle tanınmıştır. 1953 yılında ise Amerika’da etilen glikol ve tereftalik asitten, “Dacron” ticari ismiyle üretilmiştir (Saçak, 2002; Chou, 2000; Karahan ve Mangut, 2006; Dayıoğlu ve Karakaş, 2007; Rezaeian ve diğ., 2008; Evstatiev ve diğ., 2002; Giraldi ve diğ., 2005).

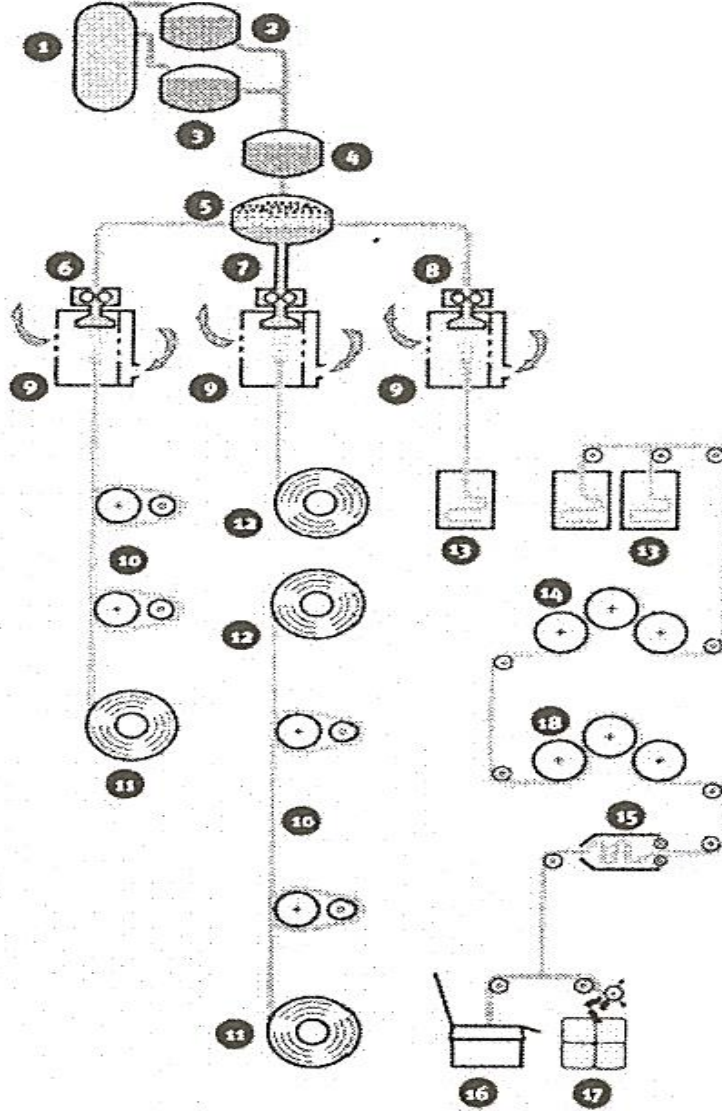
Polietilen tereftalatın, tereftalik asit veya dimetil tereftalatın, etil alkol ile kondanzasyonu sonucunda hem dacron, hem de terylene halinde elde edilmesi, aşağıda Formül 2.1 ve 2.2’de verilmiştir.



Dacron üretiminde tereftalik asit, etilen glikol ile kondanzasyona uğradığında PET oluşmakta ve su açığa çıkmaktadır (Bkz. Formül 2.1). Terylene üretiminde ise dimetil tereftalat ile etilen glikol kondanzasyona uğradığında, yan ürün olarak metil alkol oluşmaktadır (Bkz. Formül 2.2) (Harmancıoğlu, 1981).

PET, tekstil, paketlenme, elektro-teknik, yapı gibi pekçok sanayi dalında da kullanılmaktadır. PET, düşük yoğunluklu olması, yüksek darbe dayanımına sahip

olması ve toksik olmaması sebebiyle tercih edilmektedir (Kráčalík ve diğ., 2007; Erdem, 2008). PET, Avrupa’da şişe, levha ve dökme malzemeleri halinde, cam sileceği kolları, fren sistemi, lamba duyları, fırın eldivenleri....vb şeklinde üretilmektedir (Torres ve diğ., 2000; Pegoretti ve Penati, 2004).



Şekil 2.3 : Poliester lif üretim şeması (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007).

(1) Ham petrol, (2) dimetil tereftalat/tereftalik asit, (3) glikol, (4) polietilen tereftalat (5) eriyik, (6) poliester filament iplik üretimi-tek adımda, (7) poliester iplik üretimi-çok adımda, (8) poliester şapel üretimi, (9) eriyikten lif çekme, (10) germe-çekme, (11) düz poliester filament ipliği, (12) lif çekme bobini, (13) lif demeti, (14) germe-çekme, (15) kıvrıcıklandırma, (16) poliester lif demeti, (17) poliester şapel lifleri

PET’in hammadresi olan petrolün işlenmesiyle başlayıp, lif haline getirilmesine kadar geçen süreci anlatan üretim şeması, Şekil 2.3’te görülmektedir (Dayıoğlu ve Karakaş,

2007). PET lifleri, yumuşak çekim yöntemiyle, 260 °C’de eritildikten sonra çekilir. Çekilip boyları uzatılan lifler, bobinlere sarılmıştır. Türkiye’de Lalelen, Perilen ve Polylen isimleriyle üretilirler (Karahan ve Mangut, 2006).

2.2.4.1 PET liflerinin fiziksel özellikleri

PET liflerinin fiziksel özellikleri, Çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2.2: PET liflerine ait genel özellikler (Fangueiro, 2011).

<i>PET Genel Özellikleri</i>	<i>Lifin Davranışı</i>
<i>Yoğunluk (gr/cm^3)</i>	1,38
<i>Çekme dayanımı</i>	Dayanıklı
<i>Nem tutuculuk değeri (%)</i>	0,4
<i>Gevreklik ve Esneklik</i>	Kuru ve yaşken, gevrek ve esnek
<i>Isı iletkenlik değeri ($mWm^{-1}K^{-1}$)</i>	140
<i>Kristalleşme sıcaklığı (°C)</i>	130
<i>Erime Sıcaklığı (°C)</i>	258-263
<i>Camsı geçiş sıcaklığı (°C)</i>	75
<i>Kimyasallara dayanım</i>	Pek çok kimyasala dayanıklı
<i>Kuruma süresi</i>	Hızlı
<i>Kırışmaya ve Aşınmaya dayanım</i>	Dayanıklı
<i>Küfe dayanım</i>	Dayanıklı
<i>Güneş ışınları ve UV’ye dayanım</i>	Güneş ışınlarına dayanıklı, uzun süreli UV ışınlarına maruz bırakıldığında çeşitli bozulmalar olur.
<i>Alev karşısında davranışı</i>	Eriyerek yanar, damlamalar olur.

Üretim şekline göre değişen kesitlere sahip olan PET lifleri, genellikle yuvarlak kesitlidir. Pürüzsüz üst yüzeye sahip olup, parlak, mat veya renkli olabilir (Oyman, 1985, Harmancıoğlu, 1981, Karahan, ve Mangut, 2006).

Çizelge 2.2’de de belirtildiği gibi, PET liflerinin ortalama yoğunluğu 1,38 gr/cm³’tür. Nem tutuculuk değeri, 25°C’de %65 bağıl nemde, %0,4 olup, PET lifleri hidrofob yapıdadır (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007). Bu özelliğinden dolayı ıslak halde dayanıklılığında azalma olmaz (Karahan ve Mangut, 2006). Hidrofobik olması ve statik elektriklenme özelliğinden dolayı, havadaki yağ ve kirleri çeker. Erime sıcaklığı 260°C olup yayılma yeteneği en yüksek olan liftir (Karahan ve Mangut, 2006). PET’in CO₂ ve oksijen gibi gazlara karşı mükemmel geçirimsizliği vardır (Rezaeian ve diğ., 2008; Branco ve diğ., 2003). Ayrıca PET liflerine çeşitli katkılarla, antibakteriyal olma, yangına dayanım gibi özellikler de kazandırılabilir (Shuhua ve diğ., 2009).

2.2.4.2 PET liflerinin mekanik özellikleri

PET liflerinin mukavemeti, kuru ve ıslak halde değişmez. Filament halinde 4-5 grf/denye, yüksek mukavemetli liflerde 6,4-8 grf/denye arasında, stapel liflerde 5,5-6,5 grf/denye arasında değişen mukavemete sahip olan PET liflerinin uzama değerleri filament halinde %15-30, stapel liflerde %30-50, yüksek mukavemetli türünde %8-11’dir. Çizelge 2.3’de, PET lifinin mukavemet ve uzama değerleri tablolastırılmıştır (Harmancıoğlu,1981; Oyman, 1985; Bunsell, 1988; Karahan ve Mangut, 2006). rPET liflerinin elastisite modülü ise 90 g/denye’dir (Saçak, 2002).

Çizelge 2.3: PET lifi türlerine ait uzama ve mukavet değerleri.

<i>Özellik</i>	<i>Mukavemet</i>	<i>Uzama</i>
<i>PET Lifi türü</i>	<i>(grf/denye)</i>	<i>değeri (%)</i>
<i>Filament</i>	4-5	15-30
<i>Ştapel</i>	5,5- 6,5	30-50
<i>Yüksek mukavemetli</i>	6,4- 8	8-11

2.2.4.3 PET liflerinin kimyasal özellikleri

PET lifleri, pek çok kimyasala karşı yüksek dayanımıyla, diğer polimerlerden ayrılmaktadır. Zayıf alkalilere karşı yüksek, kuvvetli alkalilere karşı ortalama dayanıma sahiptir. Kuvvetli ve zayıf asitler, normal koşullar altında lifler üzerinde etkiye sahip değil iken, kuvvetli asitler, yüksek sıcaklıkta PET liflerinin kimyasal yapısını bozar (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007).

PET lifleri, gün ışığına uzun süre maruz kaldığında UV ışınlarında etkilenirler. Küfe, zararlı canlılara ve güveye karşı ise dayanıklıdırlar (Fangueiro, 2011; Dayıoğlu ve Karakaş, 2007).

2.2.4.4 PET liflerinin kullanım alanları

Tek başına ya da doğal liflerle karıştırılarak, çeşitli giyim eşyalarının üretilmesinde, balık ağları, perde, yer döşemesi, halı, kemer, dikiş ipliği, halat, mayo, aside dayanıklı olması istenilen kumaşların üretiminde, dolgu maddesi olarak yatak ve mobilyalarda PET lifleri kullanılmaktadır.

2.2.5 PET'in geri dönüştürülmesi

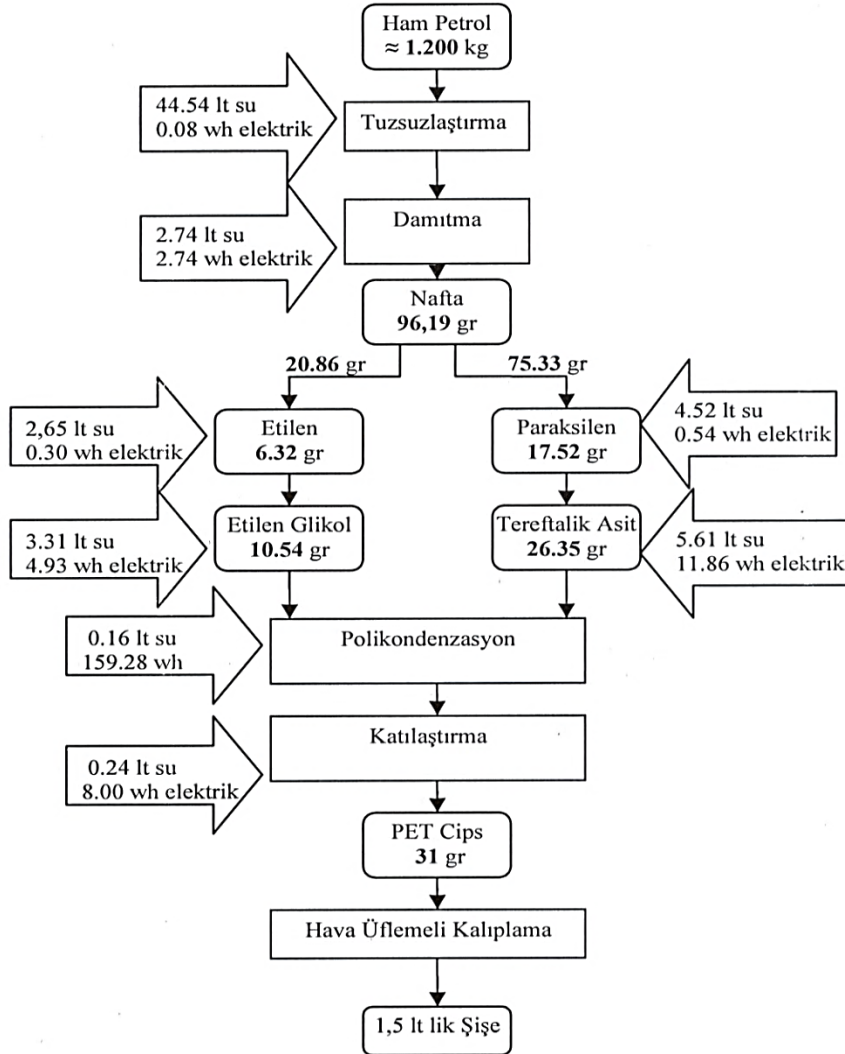
PET, kimyasal, mekanik, fiziksel özellikleri ve CO₂ geçirimsizliği nedeniyle tüm dünyada yaygın kullanıma sahiptir. PET, tekstil, paketlenme, elektro-teknik, yapı gibi pek çok sanayi türünde kullanılmakta olup, hafifliği ve işlenme kolaylığı nedeniyle su şişesi olarak, cam şişelerin yerini almış bir polimerdir (Choi ve diğ., 2005; Barriocanal ve diğ., 2004'den akt. Karaman ve diğ., 2006; Atta, 2007; Karayannidis ve Achilias, 2007). PET şişe üretimi, tüketimine bağlı olarak her sene katlanarak artmaktadır. Son yıllara ait PET üretim miktarları Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Son yıllarda Türkiye'deki PET şişe üretimi (www.suder.org.tr).

	2007	2008	2009	2010	2011	2012 (Tahmini)
PET Üretimi (Milyar)	2,1	2,4	2,75	3,1	3,4	3,7

Son beş senede PET üretiminde önemli bir artışın olduğu görülmektedir. PET atıkları çoğunlukla şişeler oluşturmaktadır (Li ve diğ., 1998). Dünyada senelik PET tüketimi yaklaşık olarak 13 milyon tondur (Ahmad ve diğ., 2008).

Yiyecek saklama kabı olarak da kullanılan PET'in, insan sağlığına zararı bulunmamasına rağmen, tüketim sonrası oluşan PET şişe ve kap atıkları, çevre için sürdürülebilir olmayan bir sorun teşkil etmektedir. PET doğada uzun süre çözünmeden kalmaktadır (Goje ve Mishra, 2003; Chen, 2002; Karaman ve diğ., 2006; Mahdi ve diğ., 2007). PET geri dönüşümü, sadece ekolojik nedenlerden dolayı değil, aynı zamanda ekonomik nedenlerden dolayı da önemlidir (Ershad-Langroudi ve diğ., 2008; Shamsi ve diğ., 2008). Geri dönüşüm, üretim sürecinde ihtiyaç duyulan kaynakları azaltmakta, üretim ve nakliye sırasında gereken enerjiyi korumakta ve ürünlerin yaşam döngüsü boyunca çevreye verdiği etkiyi azaltmaktadır (Lei ve diğ., 2009; Taygun ve Balanlı, 2005). Ayrıca hammaddeden üretilmiş malzemelere oranla geri dönüştürülmüş malzemelerin fiyatları daha ucuzdur (Parres ve diğ., 2009).



Şekil 2.4 : PET şişe üretimi kütle denklığı (Küçükgül ve Doğan, 2007).

Şekil 2.4'te görüldüğü üzere, 1 adet PET şişe üretimi için yaklaşık olarak 1,2 kg ham petrol kullanılmaktadır. Kesin olarak bilinmemekle birlikte en az 65 litre su tüketildiği, ham petrol arama ve çıkarma işlemlerindeki enerji tüketimi bilinmemekle birlikte en az 200 wh elektrik tüketildiği bilinmekte olup, transfer, taşıma, atık su arıtımı, atıkların yok edilmesi aşamalarındaki tüketimler göz önüne alınmamıştır (Küçükgül ve Doğan, 2007). Bununla birlikte mekanik geri dönüşüm yöntemiyle 1,246 kg'lık PET şişe balyasından 1 kg PET talaşı, kimyasal geri dönüşüm yöntemiyle 1,133 kg'lık PET şişe balyasından 1 kg PET polimer elde edilir. (Masahiko, 2005'ten akt. Küçükgül ve Doğan, 2007). Geri dönüşüm, plastik atıkları ayırıp elemek hariç, saf ürün elde etmek için gerekli enerjinin en fazla %30'yla gerçekleştirilmektedir (Santos ve Pezzin, 2003). Bu yöntemlerle 1 kg PET'i yeniden kazanmak için doğal kaynaklar harcanmamış, tüketim sonrası oluşmuş atıklar çevre kirliliğine neden olmamış ve atıklar geri kazanılarak yeniden kullanıma kazandırılmış olmaktadır. (Küçükgül ve Doğan, 2007).

PET'in geri dönüşümü için farklı metotlar olmasına rağmen en çok tercih edilen yöntemler, kimyasal ve mekanik geri dönüşümdür (Morawiec ve diğ., 2002; Omrani ve diğ., 2004). Kimyasal geri dönüşüm; metanoliz, glikoliz, amin çözümleme, amonoliz ve hidroliz gibi işlemlerden oluşmaktadır (Nikles ve Farahat, 2005; Kacperski ve Szychaj, 1999; Lusinchi ve diğ., 1998; Pingale ve Shukla, 2008; Shamsi ve diğ., 2008). Kimyasal depolimerizasyon, yüksek miktarda atık olduğu zaman ekonomik olmaktadır. Enerji geri kazanımı, iki farklı yöntemle gerçekleştirilir. İlki hidrokarbon polimerlerin fosil yakıtların yerini aldığı yakma işlemi olup, CO₂ emisyonu sorununa neden olmaktadır (Küçükgül ve Doğan, 2007). Diğeri ise, ısıl işlemle enerji kazanımıdır. Plastiklerin geri dönüşümde diğer yöntem ise biyolojik geri dönüşüm olup, polimer türüne ve çevre koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir.

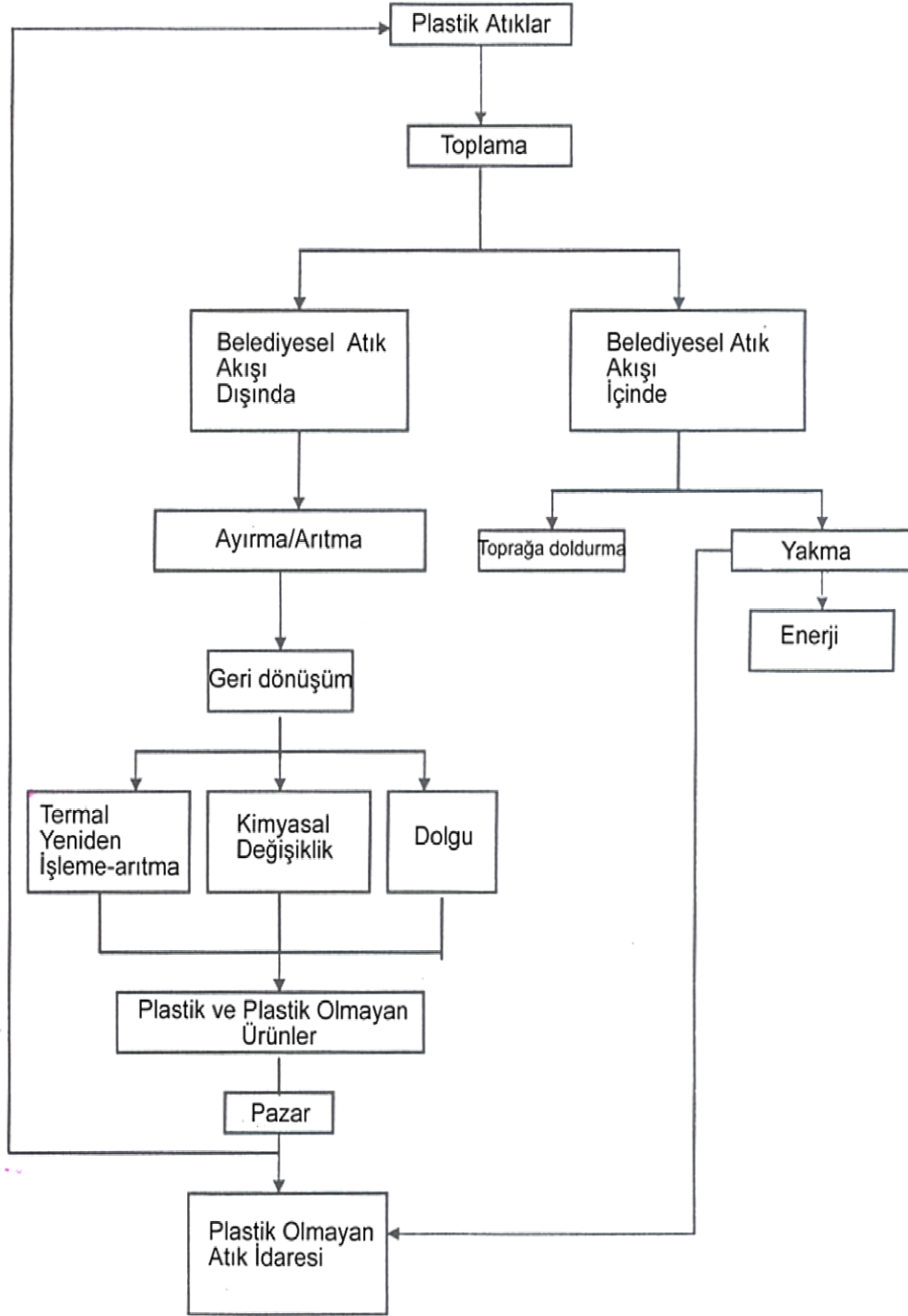
Mekanik geri dönüşüm, pek çok safha içermekle birlikte ayırma işlemi ilk aşaması olup en yüksek maliyet harcanan kısımdır (Lou ve diğ., 2007; Ershad-Langroudi ve diğ., 2008). Geri dönüşüme uğrayacak PET ürünleri önce atıkların içinden toplandıktan sonra plastiklerin içinden seçilerek, NaOH solüsyonuyla yıkanıp üzerindeki etiket veya eklerden arındırılır. Daha sonra küçük parçalara ayrılarak ekstürüzyonla şekillendirilip, granül haline getirilmektedir. PET, geri dönüşümün faydalı olmadığı koşullarda ise enerji korunumu amacıyla yakılmaktadır (Rezaeian

ve diğ., 2008; Ershad-Langroudi ve diğ., 2008; Marco ve diğ., 2002; Mancini ve Zanin, 2000). Mekanik geri dönüşüm en çevreci ve en ekonomik yöntem olarak görülmektedir (Kráčalík ve diğ., 2007). Fakat göz önüne alınması gereken konu, geri dönüşümle birlikte polimerin mekanik özelliklerindeki bozulmadır (Avila ve diğ., 2003; Torres ve diğ., 2001; Guo ve diğ., 2006; Hassan ve diğ., 2008; Borkoula ve diğ., 2005; Japon ve diğ., 2000; Anabal, 2007). Mekanik geri dönüşümle üretilen PET talaşları, yeniden şişe üretiminde kullanılamayıp sadece lif, elyaf...vb üretiminde kullanılmaktadır (Küçükgül ve Doğan, 2007; Yu ve diğ., 2004). PET geri dönüşümü, kimyasal ve mekanik bozulmalara neden olabildiği için komplike bir süreç olup, büyük bir dikkatle sürdürülmesi gerekmektedir (Fraïsse vd, 2005).

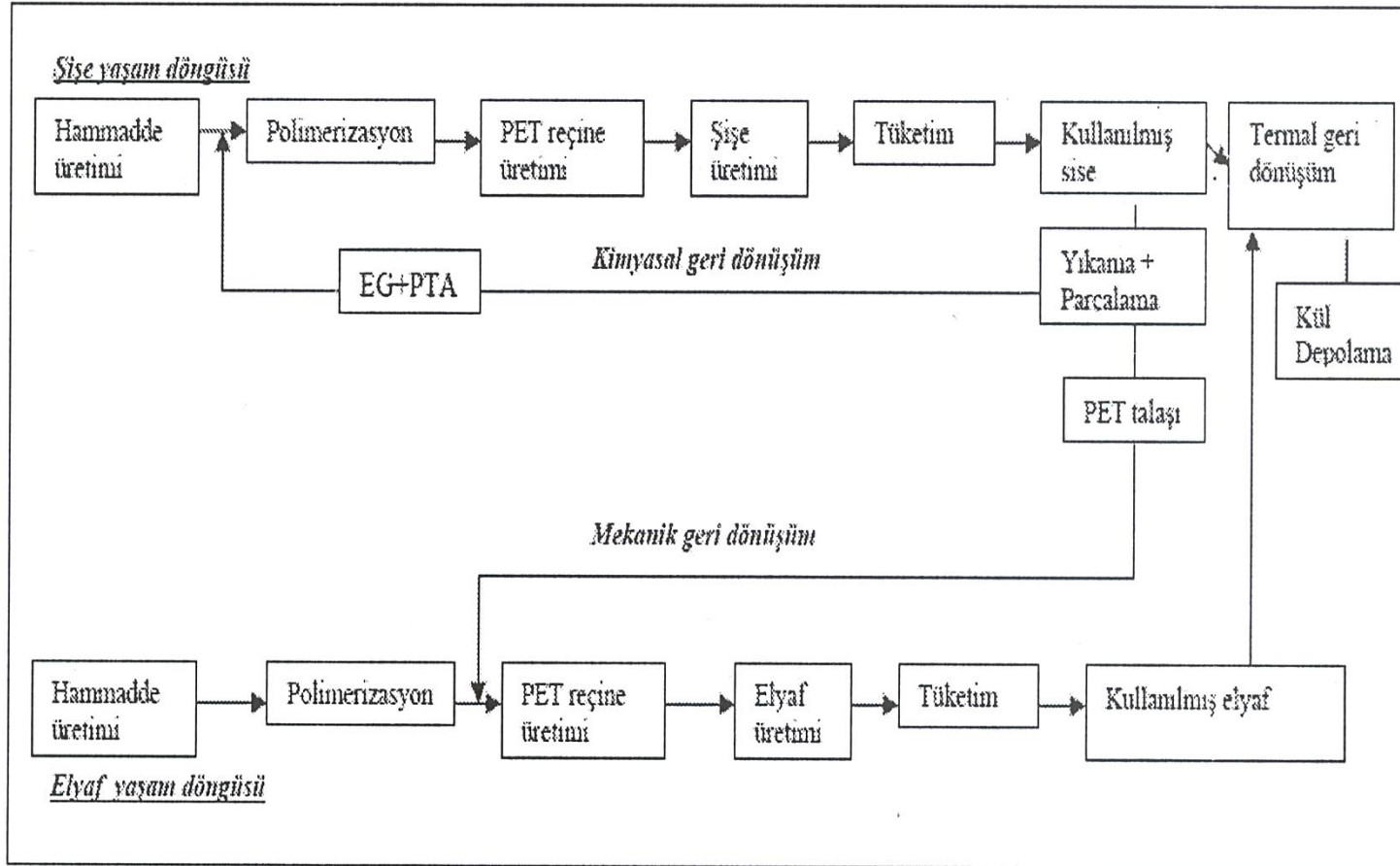
PET atıkların toplanmasını ve geri dönüşümünü içeren plastik atık şeması Şekil 2.5'te görülmektedir. Plastik atıklar toplanarak, ya toprağa gömme veya yakma işlemleriyle enerji kazanımı sağlanmakta, ya da geri dönüşüm yöntemiyle yeniden geri kazanılmaktadır.

Şekil 2.6'da PET şişenin yaşam döngüsü görülmektedir. İçecek şişesi olarak en fazla üretilen polimer türü olan PET'in sadece Avrupa'da %30'u, Amerika'da ise %20'si geri dönüştürülmektedir (Kracalik ve diğ., 2008; Pawlak ve diğ., 2000). Geri kalan atıklar ise ya yakılmakta ya da çöpe atılmaktadır. Geri dönüştürülmüş PET'in kullanımının önündeki iki önemli engel, hijyenik sorunlar ve PET'in moleküler ağırlığının düşmesine bağlı olarak mekanik değerlerindeki düşüştür (Rezaeian ve diğ., 2008; Oromiehie, 2004; Cruz ve Zanin, 2005). Ayrıca PET'in kullanım sonucunda kirliliği oranında geri dönüşüm sırasında termal ve hidrolik bozulmaya daha yatkın olduğu incelenmiştir (Torres ve diğ., 2000). Kirlilik oranı-bozulma ilişkisinin değişik kompozit yapılarda denenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir. Bütün bu nedenlerle geri dönüşüm PET ürünlerinin sınırlı kullanımının da geri dönüşümün önündeki engel olduğu düşünülmektedir (Kracalik ve diğ., 2008).

Geri dönüştürülmüş PET liflerinden, ip, monofilament halinde dikiş ipleri ve ev içi kullanım amacıyla fırçalar, lif çember, film, şişe, kap, alaşım, kompozit, otomobil parçaları, deterjan şişeleri, örtü, halı, kilim, çit, kayış...vb. üretilmektedir. rPET ayrıca polimer betonu yapımında ve keçe üretiminde kullanılmaktadır (Li ve diğ., 1998; Evstatiev ve diğ., 2002; Santos ve Pezzin, 2003; Oromiehie, 2004; Sevenscan, 2007; Misra ve diğ., 2000).



Şekil 2.5 : PET atık şeması (Siddique ve diğ., 2008).



Şekil 2.6 : PET şişenin yaşam döngüsü (Küçükgül ve Doğan, 2007).

2.3 Alçının Genel Tanımı, Tarihçesi ve Sınıflandırılması

Alçının hammaddesi olan alçıtaşı, tek mineral halindeki jipsten oluşan tortul bir taştır. Kimyasal bileşimi $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olan jipsin, pişirilip, suyunu kaybettikten sonra öğütülmesiyle alçı elde edilir. Alçı, su ile karıştırıldığında, bağlayıcılık özelliği kazanıp yeniden katılaşabilen bir malzemedir. Alçının kimyasal bileşimi $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Alçı beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcıdır.

Alçıtaşı, renksiz, saydam veya süt beyazı renğinde olabilir. İçeriğinde yabancı maddeler bulundurduğu zaman ise gri, sarı, kahverengi veya pembe renkli olabilir. Kristal yapısı iyi olan jips, levhamsı, opak veya saydam bir yapı gösterir. İnce kristal agregatlı olan albatrı jips opak olur ve çeşitli süs eşyaları yapımında kullanılır. Alçıtaşı pek az bir ısı enerjisi ile alçı haline dönüşebilir.

Alçı, elde edilme kolaylığı, kullanım kolaylığı ve ucuzluğu nedeniyle yüzyıllardır yapı malzemesi olarak yaygın kullanıma sahiptir. Alçının işlevsel ve sanatsal amaçlı kullanımı yaklaşık altı bin yıl öncesine dayanmaktadır. Alçının, Anadolu'da, erken Kalkolitik çağdan (M.Ö 5000) kalma uygulamalarda ve Eski Mısır'da harç yapımında kullanıldığı bilinmektedir (Doran, 2004). Gizza Piramidinde ve Sakkura Mezarında, iç duvar sıvaları, üzeri resimlendirilmiş alçıdır. Mezopotamya, Anadolu, Pers, Yunan ve Roma yapılarının da ahşap tavanlarıyla iç duvar sıvaları, mermer tozu ve boya katılarak hazırlanmış alçı hamurunun, stuko olarak kullanılmasıdır.

Alçı, Türk mimarisinde iç mekân duvar sıvası olarak ve süsleme amacıyla, Osmanlı Mimarisinde, pencerelerdeki vitray cam düzenlemelerinde bağlayıcı olarak, Anadolu'da, Kastamonu evlerinin pencerelerinde uygulanan küçük cam parçalarını birleştirmek amacıyla, "Revzen" yapımında kullanılmıştır. Ayrıca renkli dış sıva olarak cephelerde alçı kullanımı yaygındır (Gürdal, 1976; Ersoy, 1996; Gürdal ve Acun, 2003; Karagüler, 2003; Ülker, 1996; Artel ve Dibağ, 1969). 1890 yılında Amerikalı Augustine Sackett ve Fred L. Kane, levha üretiminde zift yerine alçıyı kullanmış ve böylece iki yüzü kartonlu alçı levhalar, duvar ve tavan kaplaması olarak yapıya dâhil olmuştur (Gürdal, 1976; Kızıldeli, 2002). Alçı levhalar TS EN 520 standardına uygun olarak üretilmektedir (Hegger ve diğ., 2012).

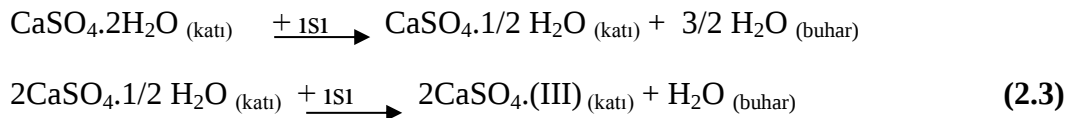
Alçının darbe dayanımı düşük olmakla birlikte alçı kolay kırılabilir ve suya dayanıksız bir yapıdadır. Alçının kırılğan yapısının ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, çeşitli doğal lifler ile (kullanılmış kâğıt, sisal-sabır ağacı lifi)

veya sentetik liflerle (cam lifi, poliamid lifler) güçlendirilmekte ve bu kompozitler dekoratif paneller, pervaz...vb yapımında kullanılmaktadır (Lyons, 2006; Gmouh ve diğ., 2003). Alçının içine güçlendirici olarak ilave edilen lif katkıları, kuruma rötresi sonucunda oluşan mikro çatlakların büyüyerek makro çatlaklara dönüşmesine engel olmaktadır (Karagüler, 2002). Bununla birlikte polimer lateks katkı malzemeleri gibi çeşitli katkı malzemeleriyle de alçı güçlendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda, polimer lateks katkı malzemesi, harç veya beton içine ilave edildiğinde, alçı kompozitlerin Young modülü, dayanıklılık ve sertlik değerlerinde kayda değer bir oranda artış görülmüştür (Eve ve diğ., 2007; Parres ve diğ., 2009).

Alçı çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Üretim yöntemine bağlı olarak; adi, katkılı adi, susuz ve katkılı susuz alçı olarak dörde ayrılır (Şimşek, 2003; Gürdal ve Acun, 2003). Üretim yöntemine bağlı, bünyesinde bulundurduğu suya göre; kalsiyum sülfat yarım hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) ve anhidrit (CaSO_4) olmak üzere ikiye ayrılır. Alçı, pişirme ve katılaşma özelliklerine göre; kalsiyum sülfat yarım hidrat, anhidrit III, anhidrit II, anhidrit I olmak üzere dörde ayrılır (Gürdal, 1976; Ersoy, 1996; Ülker, 1996).

2.3.1 Alçının kimyasal özellikleri

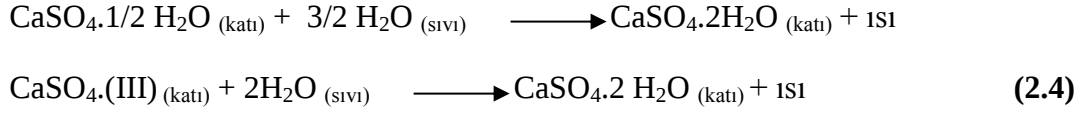
Yarım hidrat kalsiyum sülfat olarak adlandırılan alçı, jips olarak bilinen çift sulu kalsiyum sülfatın dehidratasyonu ile elde edilir. Alçıtaşıdan suyun uçurulması olayı, *dehidratasyon* olarak adlandırılır. İki safhada gerçekleşen dehidratasyon, Formül 2.3'te verilmiş bağıntıyla, şu şekilde ifade edilir:



Kalsiyum sülfat dihidrat, 160-200°C'de ısıtıldığında (birinci safhada), reaksiyon sonucu, alçının ana maddesini oluşturan su ve kalsiyum sülfat yarım hidrat ortaya çıkar. Elde edilen ürün, konkasörde parçalanır. Sonra değirmenlerde belirli bir inceliğe kadar öğütülür. Bu ürün, alçı, adi alçı veya yapı alçısı gibi isimlerle adlandırılır. Kalsiyum sülfat yarım hidrat ise 205°C'nin üzerinde kızdırıldığında (ikinci safhada) ise kristal suyunun tamamen kaybederek anhidriti (CaSO_4) oluşturur.

Alçı kristal bir yapıya sahiptir. Alçı, suyla karşılaştığında, ısıtma sonucu kaybettiği kristal suyunu yeniden bünyesine alır ve katılaşır (Uzer, 1996). Bu olaya ise

hidratasyon denir. Alçının hidratasyonu, Formül 2.4'te verilmiş bağıntıyla, şu şekilde ifade edilir:



Çift hidratın çözeltiden ayrılıp çökmesi sürecinde iki safha görülmektedir. İlk safha olan yarım hidratın çözünürlüğü, çözeltinin sıcaklık derecesine ve bazı kimyasal maddelerin varlığına bağlıdır. Hidratasyon sırasında suda çözünen yarım hidrat kalsiyum sülfat, kalsiyum ve sülfat iyonlarını verir. Bu iyonlar suyla birleştiğinde, jips kristallerini oluşturur. İkinci safha olan jipsin kristalleşme imkânı, jips kristallerinin oluşumu ve büyümesi, kimyasal maddelerin etkisinde olmaktadır. Bu durum, karışım katılaşp, ortamdaki yarım hidrat tükeninceye kadar sürer. Saf jipsin bileşiminde, %79,1 oranında kalsiyum sülfat, % 20,9 oranında su bulunmaktadır (Gürdal, 1976). Alçıtaşının oluştuğu bu olay sonucunda, bir miktar ısı enerjisi de açığa çıkar.

Bu reaksiyon sürecinde, alçı hamurunun akıcılığının bitimine kadar geçen süre *işleme süresi*, alçı hamurunun katılaşmasının başladığı an *priz başlangıcı*, katılaşmasının bittiği an ise *priz sonu* olarak tanımlanır. Priz sonunda alçıda bir sıcaklık artışı gözlenir ve bu şekilde alçının suyla reaksiyonu sona erer ki bu da *hidratasyon sonudur*.

Su/alçı oranı, katılaşmada etkili olup, su/alçı oranı arttıkça, katılaşma süresi de uzamaktadır (Ülker, 1996). Sıcaklık değeri arttıkça, yarım hidratın çözünürlüğü azalmaktadır. 95°C'nin üzerinde, yarım hidrat ile jipsin çözünürlüğü birbirine çok yaklaşmaktadır. Sıcaklığın yükselmesiyle, priz süresi de uzar. Priz süresinin kısaltılması için ise, ince öğütülmüş çift hidratın eklenmesi ya da alkali metaller (Na, K, Li, ...gibi) klorür ve sülfatlar, alüminyum sülfat, şap gibi maddelerin katılması yeterli olacaktır.

2.3.2 Alçının fiziksel ve mekanik özellikleri

Alçıtaşının özgül ağırlığı 2,3 gr/cm³ iken, alçının özgül ağırlığı, türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Alçı, Mohs sertlik sıralamasında ikinci sırada, 1,5 ile 2,5 arasında değişen sertlik değerine sahip yumuşak bir mineraldir.

Alçıtaşının içerdiği kristal yapı değişiklik göstermektedir. Alçıtaşının başlıca beş türü bulunmaktadır. Bunlar; iri kristalli sakkaroid alçıtaşı, ince kristalli alçıtaşı albatrası, mızrak ikizli alçıtaşı, mercek şekilli alçıtaşı gülü ve kılımsı alçıtaşıdır.

Alçının incelik değeri elek analizi ile hesaplanmaktadır. Alçının inceliğinin hidrasyon üzerinde etkili olduğu da bilinmektedir. TS EN 13279-1 uyarınca adi alçının, 200 µm göz açıklığındaki elek üzerinde, ağırlıkça %35'den fazlasının, katkıli adi alçı, susuz ve katkıli susuz alçının ise 1,25 mm göz açıklığındaki elek üzerinde ağırlıkça % 1'den fazlasının kalmaması zorunludur.

Alçının priz süresi, alçının cinsine, içinde katkı bulunmasına ve karma suyunun oranına göre değişiklik göstermektedir. TS EN 13279-1'e göre priz süresi, adi alçıda 8 dakikadan az, alçı sıvada 30 dakikadan az, katkıli adi alçıda, susuz alçıda ve katkıli susuz alçıda 20 dakikadan az olmamalıdır.

Alçının saf olmayıp içinde çeşitli katkı maddelerini içermesi, mukavemetinin düşmesine ve priz süresinin değişmesine neden olabilmektedir. Alçının priz süresini geciktirmek için kullanılan bazı katkı maddeleri; tutkal, şeker, sodyum sülfat, boraks, sodyum fosfat, ispirto, kazein, sıcak su, kaymak kireçtir (Ekinci, 2005).

Alçı genelde yeterli basınç dayanımına sahiptir. Fakat alçının mekanik mukavemeti üzerinde pek çok unsur etkilidir. En önemli unsur, alçıya katılan su miktarı yani su/alçı oranıdır. Su/alçı oranında, artan su miktarıyla birlikte daha gözenekli ve boşluklu bir yapı oluştuğu için alçının basınç mukavemetinde azalma olmaktadır. Ayrıca alçının su ve nemi emdiği göz önüne alınırsa, su ile temasta olacağı ıslak mekânlarda kullanılması önerilmemektedir (Ülker, 1996).

Alçı yapı elemanı, çok küçük boşluklar içermesi nedeniyle, üzerine gelen ses dalgalarını azaltarak yansıtır. Bu nedenle, akustik amaçlarla üretilmiş elemanlarla birlikte, hacim içi ses düzeni ve hacimler arası ses geçişini, iyi bir şekilde kontrol edebilmektedir.

Alçı, su içinde % 0,3 oranında çözünür ve suyla birleştiğinde hacminde % 1'lik artış görünür. Alçı sertleşirken 25-30°C'lik sıcaklık artışı gözlenir (Ekinci, 2005).

Alçı anorganik olduğu için ateşe dayanıklı bir malzemedir. Aleve maruz kalan alçı elemanın boşluklarındaki nem ile bünyesindeki kristal suyu, ayrılmak için ısı enerjisinin büyük bir kısmını içine alır. Ayrışıp, buharlaşan su, alev ile alçı eleman

arasında bir buhar tabakası oluşturur. Suyun buharlaşma sürecinde alçı yüzeyinin sıcaklığı, 140°C'nin üzerine çıkmaz (Gürdal, 1976).

Ağırlıkça su emme değeri %70'den fazla olmaması istenilen alçının ve alçı elemanın yapıda uygulaması ve bakımı, kolay ve ucuzdur (Eve ve diğ., 2007). Hazır yapı üretimine elverişli bir malzeme olan alçı, duvar ve tavan kaplamalarının önceden hazırlanmasına olanak sağlamaktadır (Ekinci, 2005). Çabuk üretilebilmesi, hafif ve kuru olması da alçının diğer avantajlarıdır.

2.3.3 Alçının Türkiye'deki rezervleri

Ülkemiz kalsiyum sülfat türleri yönünden zengin rezervlere sahip olup, bu rezervlerin çoğu yüzeyde ve açık işletmeye elverişlidir. Orta Anadolu'da Niğde-Aksaray, Ulukışla, Ankara, Çankırı, Çorum, Ankara-Eskişehir arasında, Sivas, Doğu Anadolu'da Erzurum yöresinde, Güneydoğu Anadolu'da Garzan, Kızılsu, Siirt dolaylarında, Diyarbakır-Mardin ve Siirt-Baykan arasındaki bölgede, Ege'de Kütahya-Gediz ve Denizli yöresinde zengin rezervlerimiz bulunmaktadır. Bunların dışındaki bölgelerde de kısmen alçıtaşına rastlanmaktadır (Gürdal, 1976).

2.4 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar ve Çalışmaların İrdelenmesi

Bu başlık altında, konu ile ilgili yapılmış benzer çalışmalar araştırılıp incelenmiş ve kısaca özetlenmiştir. Çalışmalar, tez araştırma konusuna yakınlıklarına göre aşağıda sıralanmıştır.

2.4.1 Konu ile ilgili yapılmış çalışmalar

Karaman ve arkadaşları (2006), atık PET şişeleriyle kompoze edilmiş alçı numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti ve bu kompozit malzemenin zirai amaçlar için kullanımının araştırılması konulu çalışmışlarında, 0-2, 2-4, 0-4 mm çaplarında kesilmiş atık PET şişesi parçalarıyla alçıyı karıştırmış ve kompozit malzeme üretmişlerdir. Kompozit içinde PET parçalarının oranları; %5, %10, %15 ve %20'dir. Isı geçirgenlik deneyleri için 25x5x2cm boyutlarında, mekanik dayanım testleri için ise 5x5x5 cm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir: Kompozit içindeki atık PET parçalarının artışıyla, alçı kompozitlerin gözenekli yapısı artmakta, yoğunluk azalmakta, su emiciliği ise artmaktadır. PET oranı arttıkça, ısı iletkenlik değeri, eğilme mukavemeti ve basınç

mukavemeti düşmektedir. Atık PET şişelerinden ve alçıdan üretilmiş kompozit malzemenin, ısı yalıtım malzemesi, duvar, çatı gibi yapı birimlerinde dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

Eve ve arkadaşları (2001) çalışmalarında, poliamid (PA) lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin üretilebilirliğini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ağırlıkça %0,1, %0,2, %0,5, %1, %2 ve %5 oranlarında, 15 ve 40 µm çapında ve 6, 12 ve 1,2 mm uzunluklarında PA lifler kullanılarak, 160x40x40 mm ile 160x20x10 mm boyutlarında kompozitler üretilmiştir. Numuneler 7 gün boyunca 40°C etüvde bekletildikten sonra bir gün oda sıcaklığında, ortam nemli ağırlığa ulaşması için bekletilmiştir. Deneyler sonucunda, PA lifler ile alçı matriksi arasında yeterli aderansın olmadığı görülmüştür. Yetersiz aderansın nedeni ise, priz süresi boyunca su emen liflerin, kurutma sırasında, bünyelerindeki suyu vererek, hacimce küçülmeleri ve bu büzülme sonucunda liflerin çevrelerinde boşluk oluşması, buna bağlı olarak da alçının boşluklu yapısının artmış olması olarak açıklanmıştır. Liflerin çevresinde oluşan boşluk oranı, lifin kompozit içinde artmasına bağlı olarak artmaktadır. Bu durum kompozitlerin eğilme ve basınç dayanımı ile Young modülü değerlerini düşürmektedir. Lifsiz alçıya oranla lifli kompozitlerin tokluk değerinde kayda değer artış görülmüştür. En yüksek tokluk değerinin, 15 µm çapında, 60 mm uzunluğunda ve ağırlıkça %6 oranında lif içeren kompozite ait olduğu bulunmuştur. Ayrıca lif boyu arttıkça kompozitlerin tokluk değerinde bir düşüş gözlenmiştir.

Eve ve arkadaşları (2006), ikili karışımların (lateks dolgulu alçı ve poliamid lifle güçlendirilmiş alçı malzemeler) ve üçlü karışımların (poliamid lifle güçlendirilmiş lateks dolgulu alçı malzemeler) priz sürelerini inceledikleri çalışmalarında, alçı kompozitlerin hidrasyonundaki toplam şişme ve priz süresindeki farklar belirlenmiştir. İki malzemeli kompozitlerdeki poliamid (PA) lifleri, 4, 6, 9, 18 mm uzunlukta, 10 ve 19 µm çapında ve ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %6 oranlarındadır. Üçlü kompozitlerdeki poliamid lifleri, 6 mm uzunlukta, 19 µm çapında ve ağırlıkça %1, %2, %4 ve %6 oranlarındadır. Numuneler 160x40x40 mm ve 80x40x40 mm boyutlarında hazırlanıp, 7 gün boyunca 40°C etüvde bekletildikten sonra ortam nemli ağırlığa ulaşması için bir gün ortamda bırakılmıştır. Deneyler sonucunda, PA liflerinin uzunluğu veya oranı arttıkça, priz süresinin azaldığı, fakat lif çapının, alçı kompozitin priz süresinde etkisinin olmadığı görülmüştür. İkili kompozitlerde priz süresinin polimerin yapısıyla doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Çünkü

polimer, bünyesinde su iticiler bulundurmakta, bu ise alçının hidratasyonunu etkilemektedir.

Eve ve arkadaşları (2007), ikili karışımların (lateks dolgulu alçı ve poliamid lifle güçlendirilmiş alçı malzemeler) ve üçlü karışımların (poliamid lifle güçlendirilmiş lateks dolgulu alçı malzemeler) mikro yapılarını incelemişlerdir. İki bileşenli kompozitlerdeki poliamid (PA) lifleri; 4, 6, 9, 18 mm uzunlukta, 10 ve 19 µm çapında olup, ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %6 oranlarındadır. Üçlü kompozitlerdeki poliamid lifleri ise 6 mm uzunlukta, 19 µm çapında, kompozit içinde ağırlıkça %1, %2, %4 ve %6 oranlarındadır. SEM analizleri sonucunda, alçının içinde hidrate olmamış alçı granüllerine rastlanmıştır. Lif ile alçı matriksi arasındaki aderansın yeterli olmadığı görülmüştür. Bunun nedeninin ise poliamid lifin, kompozit üretimi sırasında çevresindeki suyu bünyesine almasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Kompozitlerin içindeki toplam porozite oranının, lif oranının artışına bağlı olarak arttığı, fakat lateks katkısıyla alçı kompozitlerin boşluk yapısının azaldığı ve üçlü kompozitlerin, ikili (lif-alçı) kompozitlerden daha az gözenekli olduğu tespit edilmiştir. PA lif ve/veya lateks katkısıyla, alçı kompozitlerin biçimsiz bir kristal mikro yapıya sahip olduğu görülmüş, PA lifi ve lateks katkısının, hidratasyonu olumsuz etkilediği, kompozitlerin içinde kalsiyum hidroksit- Ca(OH)_2 çökeltilerinin oluştuğu gözlenmiştir.

Eve ve arkadaşları (2007), lateks dolgulu alçı kompozitlerin mikro strüktürel yapısını inceledikleri çalışmalarında, kompozit üretiminde toz olarak vinil asetat homopolimer ve kopolimerleri, suda dağılan polimer olarak sitiren akrilat kopolimer ve akrilat ester kopolimer kullanmışlardır. 45°C etüvde kurutulmuş alçı kompozitlerin, taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) yapılan analizlerinde, alçının hidratasyonu sonucunda, saf alçının, kristalli ve gözenekli halde, rastgele dağılmış iğne benzeri küçük kristallerden oluştuğu (yaklaşık 5µm) görülmüştür. Alçıya polimer lateks ilavesinden sonra, kristalli yapısının kabalaştığı ve daha iri tanelerin oluştuğu, kompozit içinde bazı hidrate olmamış alçı granüllerin bulunduğu tespit edilmiştir. Polimer lateks katkının, hem alçı granülleri hem de hidrate olmayan alçı granülleri kaplaması sonucunda karışımların yoğunlukları artmıştır. Lateks oranının artışıyla, karışımların porozitelerinde önemli ölçüde düşüş gözlenmiştir.

Parres ve arkadaşları (2009), atık otomobil lastiklerinden üretilmiş lifleri ve mikro liflerle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu

çalışmada, poliamid liflerinin kompozit içinde ağırlıkça oranları %1, %2 ve %4'tür. Kompozitlerin su/alçı oranı 80/100 olarak kabul edilmiştir. Eğilme dayanımı deneyleri için 160x40x40 mm, basınç dayanımı deneyleri için ise 40x40x40 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Numune üretimi sırasında önce lifler suyun içine bırakılarak dağıtılmış, daha sonra alçı tozu katılarak malzemeler karıştırılmış ve alçı hamuru elde edilmiştir. Mikro liflerin boyları 2 ile 8 mm arasında değişmekte olup, ortalama mikro lif boyu 5 mm uzunluğundadır. Ortalama mikro lif çapı $29,67 \pm 2,3$ μm olup daha homojen yapıdadır. Liflerin ortalama çapları 1mm, boyları ise 6 mm ve 26 mm arasında değişmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda, poliamid 6 lifinin erime sıcaklığı 219°C, poliamid 6,6 lifinin erime sıcaklığı ise 259°C olarak tespit edilmiştir. 80/100 su/alçı oranındaki lifsiz alçı numunelere ait eğilme dayanımı değeri 5,3 MPa, basınç dayanımı değeri 4,3 MPa olarak belirlenmiştir. Alçı kompozitlerin, lif katkısıyla eğilme dayanımında kayda değer bir düşüş olmuş, basınç dayanımları da bir miktar azalmıştır. Lifle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin yüzeyleri, mikro lifle üretilmiş alçı kompozitlerin yüzeylerine göre daha pürüzlü olup, mikro liflerin artışıyla birlikte alçı ile lif arasındaki aderansın azaldığı görülmüştür. Alçı kompozitlerde, lif katkısının temel faydasının, kompozitin parçalanarak dağılmasını önlemesi olduğu belirtilmiştir.

Ali ve Grimer (1969), cam lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitleri incelemişlerdir. Numune üretiminde 50 mm uzunluğunda kesilmiş cam lifi ve iki farklı alçı türü kullanılmıştır. Kompozitlerin su/alçı oranı 0,4 ve 0,6 olarak belirlenmiştir. Lifler, spreyle yardımcıyla alçı hamurunun içine püskürtülmüştür. Kompozitlerin eğilme dayanım değerleri, lif oranı %10'a kadar olan kompozitlerde, lif oranının artışıyla birlikte yükselirken, %10'dan daha yüksek lif oranı içeren kompozitlerde, lif oranının artışıyla ters orantılı olarak düşüş göstermiştir. Kompozitlerin darbe dayanım değerleri ise lif katkısıyla birlikte büyük oranda artmıştır. Saf alçı numunelere kıyasla, %12 lif içeren kompozitlerde, darbe dayanım değeri üç kat artmıştır. Lif oranının artışıyla, kompozitlerin yoğunluk değerlerinin azaldığı gözlenirken, elastisite modülü değerlerinde kayda değer bir değişimin olmadığı belirlenmiştir.

Singh ve Garg (2000), cam lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin mekanik dayanımını ve mikro yapısını inceledikleri çalışmalarında, 12mm, 25mm ve 50mm uzunluklarındaki cam lifleri kullanarak, 150x150x12 mm, 50x150x12 mm ve

250x250x12 mm boyutlarında örnekler hazırlamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, lifle güçlendirilmiş kompozitlerin suya maruz bırakıldığında, lifsiz alçı numunelere kıyasla daha dayanıklı oldukları tespit edilmiştir. Durabilite deneyleri sonucunda, 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, kompozitlerin içindeki cam liflerinde bozulmalar gözlenmiştir. Bu nedenle cam lifi-alçı kompozitlerin, 50°C'nin üzerinde kullanılmamasının gerektiği belirtilmiştir.

Arıkan ve Sobolev (2002), alçı kompozitlerin priz sürelerinin kontrol edilmesi, eğilme ve basınç dayanımlarının iyileştirilmesi amacıyla yaptıkları çalışmalarında, alçı kompozitlerin içine farklı oranlarda suda çözünür polimer, hava itici katkı ve süper plastikleştirici ilave etmiş ve bu kompozitlerin özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. TS 370 standardına göre yapılan çalışmada, hemihidrat alçısı, priz geciktirici olarak sitrik asit, suda çözünen polimer olarak metil selüloz, hava itici katkı olarak olefine sülfonat sodyum tuzu ve süper plastikleştirici kullanılmıştır. Kimyasalların oranları, alçıya göre ağırlıkça %0,01 ile %0,2 arasında değişmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda, kompozit içindeki priz geciktirici miktarının artışıyla, alçının basınç dayanımında ve işlenebilirliğinde azalma gözlenmiştir. Suda çözünen polimer katkısının artışıyla ise kompozitin basınç dayanımı ve priz süresi artarken, kıvamı azalmıştır. Süper plastikleştiricinin artmasıyla, alçı numunelerin priz süreleri ve kıvamları artmış, basınç dayanımları ise azalmıştır. Hava itici katkının artışıyla birlikte, kompozitlerin basınç dayanım değerinde en büyük düşüş gözlenmiştir. Priz süresi ise uzamıştır. Üretilen örnekler içindeki en uygun karışım oranları, priz geciktirici için %0,05, suda çözünen polimer için %0,05, hava itici katkı için %0,013 ve süper plastikleştirici için %0,025 olarak belirlenmiştir. Bu karışım oranında standartlara uygun olarak, priz süresi 1,5 saatten, basınç dayanımı 5 MPa'dan, kıvam ise 150mm'den daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

Torres ve arkadaşları (2000), geri dönüştürülmüş PET ve saf PET'in (PETV olarak kısaltılmıştır) termal ve mekanik özelliklerini inceleyip karşılaştırmışlardır. Çalışmada 20 ppm'den az PVC içeren (PETRb olarak kısaltılmıştır) ve 6000 ppm PVC içeren (PETRc olarak kısaltılmıştır) olmak üzere iki farklı geri dönüşüm ürünü PET granülleri kullanılmıştır. PETV, PETRb ve PETRc'nin camsı geçiş sıcaklıkları sırasıyla 80°C, 81°C ve 80°C olarak, erime sıcaklıkları; 247°C, 249°C ve 251 °C, Young modülü değerleri de sırasıyla 2140 N mm⁻², 2170 N mm⁻² ve 1996 N mm⁻² olarak ölçülmüştür. PETV'nin transparan iken geri dönüştürülmüş PET'in opak

olduğu gözlenmiştir. Geri dönüşüm işleminde, saflık değerinin önemli bir etken olduğu; PETRc'nin PETRb'den daha kirli olduğu, PETRc'nin ise termal ve hidrolitik bozulmaya daha duyarlı olduğu saptanmıştır.

Rubio-Avalos ve arkadaşları (2005), stiren bütadien polimer kauçuğu (SBR) ve alçıyla üretilmiş kompozit numunelerin mikro strüktürel yapılarını ve eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışmada su/alçı oranı 0,5 olarak, kauçuk/alçı oranları ise 0,05, 0,1 ve 0,2 olarak belirlenmiştir. SBR katkısının artışıyla, alçı kompozitlerin yoğunluklarında bir düşüş olmuştur. ASTM C 473 ve ASTM C 348 standartlarına göre 4x4x16 cm boyutlarında üretilmiş kompozitlerin eğilme davranışları incelenmiş ve deneyler sonucunda, SBR katkısının artışıyla kompozitlerin eğilme dayanımında artış olduğu görülmüştür. Kompozitlerin eğilme dayanımındaki artışın, SBR kauçuğunun, alçı kristalleri içindeki bağlayıcı etkisinden kaynaklandığı yorumu yapılmıştır. Su içinde koloidal bir süspansiyon polimeri olan SBR kauçuğunun, alçı hamurunun içinde sürekli bir polimer film oluşturduğu ve oluşan bu filmin, alçı hamurunun içindeki kapiler gözenekleri kapatarak, kompozitin mekanik dayanımı arttırdığı ve stres altında mikro çatlakların yayılmasını önlediği kanısına varılmıştır.

Santos (2009), PPF ile güçlendirilmiş EPS-alçı levhalar konusunda yaptığı çalışmada, EPS parçacıkları ve polipropilen liflerinin, alçı matriksi içinde kullanımına bağlı olarak, kompozitlerin yoğunluğunda ve mekanik dayanım değerlerinde meydana gelen değişimleri analiz etmiştir. Kompozit içindeki EPS bilyelerinin 5mm çapında, kompozit içinde %0, %0,5, %1, %1,5, %2 oranlarında, kısa polipropilen liflerinin 25mm uzunluğunda, 6 dtex çapında, kompozitin içinde %0, %0,5, %1, %1,5, %2 oranlarında kullanıldığını ifade etmiştir. Deney numuneleri, 16x4x4 cm boyutlarında hazırlanmış olup, kompozitlerin su/alçı oranı 0,7 olarak belirlenmiştir. Alçı levha numuneler ise 60x60x1 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Deney sürecinde UNE 102 031 ve UNE 102 032 İspanyol standartlarından yararlanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, kompozitlerin yük altında gevrek olarak kırılmadıkları ve dağılmadıkları gözlenmiştir. Kompozitlerin yoğunluğu, ESP katkısının artışıyla birlikte azalmış, bu azalma, yaklaşık %50 oranında olmuştur. Kompozitlerin eğilme dayanımı ise lifsiz alçıya kıyasla yaklaşık %23 oranında artmıştır.

Küçükgül ve Doğan (2007), “PET şişenin yaşam döngü analizi” başlıklı çalışmalarında, PET’in “beşikten-mezara” ana değişim basamaklarında, madde ve enerji bakımından yaşam döngüsünü incelemişlerdir. PET’in hammaddesi olan petrolün eldesinden, işlenip PET haline dönüştürülmesine kadar olan sürecini ele alarak, bu süreçlerin çevresel etkilerini, atık su üretimlerini, zehirli gaz emisyonlarını, senelik üretim miktarlarını açıklamışlardır. 1 adet PET şişe üretimi için yaklaşık olarak 1,2 kg ham petrolün kullanıldığını, yaklaşık 65 litre suyun tüketildiğini, 200 wh’lık elektriğin tüketildiğini ifade etmişlerdir. Bu değerlerin, PET’in sadece üretim aşamasında harcanan miktarlar olduğu, transfer, taşıma, atık su arıtımı, atıkların bertaraf edilmesi sürecinde harcanan değerleri kapsamadığı belirtilmiştir. Mekanik geri dönüşüm yöntemi ile 1,246 kg’lık PET şişe balyasından 1 kg PET talaşının, kimyasal geri dönüşüm yöntemiyle 1,133 kg’lık PET şişe balyasından 1 kg PET polimerin elde edildiği belirtilmiştir. Geri dönüşüm yöntemiyle, PET şişelerin kullanımı sonucunda oluşan atıklar yeniden değerlendirilmiş, kısıtlı hammadde kaynakları tüketilmemiş, çevre kirliliği de dolaylı olarak önlenmiş olmaktadır.

Siddique ve arkadaşları (2008), daha önceden başkaları tarafından yapılmış, geri dönüştürülmüş plastik malzemelerin beton içinde kullanımlarının incelendiği çalışmaları irdelemişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilmiş sonuçları birbirleriyle karşılaştırarak, geri dönüşüm ürünü olan plastiklerin, beton içinde kullanılmaları sonucunda, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri grafiklerle değerlendirmişlerdir. Tüketim sonrası kalan plastik agregaların, diğer agregaların yerine kullanılabileceği, diğer agregalarla üretilmiş betona oranla, geri dönüşüm ürünü plastik agregalarla üretilmiş betonun daha hafif olduğu, fakat basınç dayanımında diğer agregalarla üretilen kompozitlerden daha düşük değerlere sahip olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla geri dönüştürülmüş PET ile iyi kalite polimer harcı elde edilebilmektedir. Doymamış poliester reçinesi olan geri dönüştürülmüş PET’in, prekast uygulamalar için uygun olduğu ifade edilmiştir. Geri dönüşüm ürünü plastiklerin, zarar görmüş beton yapıların onarımında kullanılabileceği önerilmiştir.

Kim ve arkadaşları (2008), geri dönüştürülmüş PET lifiyle güçlendirilmiş beton kompozitlerde, PET liflerinin geometrilerinin, kompozitlerin plastik rötreleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, kompozit içinde kabartmalı, kıvrımlı/dalgalı ve düz olarak üç farklı geometride ve 50 mm uzunlukta geri

dönüştürülmüş PET lifi kullanmışlardır. Deneyler sonucunda, kompozit içindeki lif oranının değişimiyle plastik rötrenin değiştiği görülmüştür. Özellikle lif hacim oranının %0,25 ve daha düşük olduğu kompozitlerde, lif türlerinin, kompozitin plastik rötresi üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Lif hacim oranının %0,5'ten daha fazla olduğu kompozitlerde ise rötire değişimleri benzer yapıdadır. Kompozitin mekanik özelliklerine en olumlu etkiyi, kabartılmış liflerin yaptığı belirlenmiştir. Kabartılmış liflerle güçlendirilmiş kompozitlerin plastik rötire dayanımlarının da diğer kompozitlere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hacimsel olarak %0,1 oranında lif içeren kompozitlerde, çatlakların yüzeyde olduğu, hacimce %0,25'in üzerinde lif içeren kompozitlerde ise çatlakların sınırlı alanlarda yoğunlaştığı gözlenmiştir.

Awaja ve Pavel (2005), çalışmalarında PET'in geri dönüşümünü incelemişlerdir. Saf PET'in hammadde üretiminden başlayarak, sentezlenmesi, üretim yöntemleri, fiziksel, mekanik ve termik özellikleri açıklanmış, PET'in mekanik ve kimyasal geri dönüşüm yöntemleri irdelenmiştir.

Santos ve Pezzin (2003), geri dönüştürülmüş PET lifi-polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, 0,13 ve 0,17 mm arasında değişen çaplardaki ve 5 mm uzunluğundaki, atık PET şişelerinden üretilmiş PET liflerini kullanmışlardır. Geri dönüştürülmüş PET (rPET olarak kısaltılmıştır) liflerinin, kompozit içindeki oranları, ağırlıkça %3 ,%5 ve %7 olarak belirlenmiştir. rPET lifleri ve polipropilen, tek vidalı ekstrüder ile karıştırılmış, 0,4 mm' lik kalburlardan geçirilerek misket haline getirilmiştir. Mekanik testler için, enjeksiyon üfleme makinesi ile şekillendirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, PP'nin içine rPET liflerinin ilave edilmesiyle, PP'nin gerilme mukavemeti kayda değer oranda değişmiş, kopmada sünme değeri ise %82'ye yakın bir oranda düşmüştür. MFI (erime akışkanlığı) ölçümlerine göre, kompozit içindeki rPET liflerinin oranı arttıkça, MFI değeri düşmüştür. En belirgin düşüş ise %17,3'lük oranla, ağırlıkça %7 rPET lif içeren kompozitlerde gözlenmiştir. rPET liflerinin oranı arttıkça, kompozitlerin darbe dayanımı değerlerinin de arttığı görülmüştür. Numuneler SEM ile incelendiğinde, matriks-lif ve lif-lif birleşimleri arasında devamsızlıklar saptanmıştır. Kompozitlerin yüzey sertliklerinde ise bir değişiklik gözlenmemiştir.

Betioli ve Silva (2005), "Farklı koşullar altında PET liflerinin dayanıklılık tayini" başlıklı çalışmalarında, atık PET şişelerinden elde edilmiş liflerle hazırlanmış

kompozitleri, beş ay süreyle 5°C, 25°C ve 50°C sıcaklıkta, farklı çözelti ve solüsyonlara maruz bırakılmışlardır. Numunelerdeki değişimleri, FTIR ve SEM ile incelemişlerdir. Kompozitlerin çimento-kum oranı 1:3 ve su-çimento oranı 0,61 olacak şekilde Portland çimentosu ve agrega olarak orta büyüklükte quarz kumu (maksimum çapı 2.4 mm) kullanmışlardır. 20x40x160 mm boyutlarında hazırlanmış numunelerdeki liflerin hacimsel oranı %0,8 şeklindedir. Beş ay sonunda, Ca(OH)₂, NaOH, H₂SO₄ ve Lawrence solüsyonuna maruz bırakılan kompozitlerin, bu çözeltilerden olumsuz etkilendikleri, yüzeylerinde pürüzlerin ve bozulmaların olduğu gözlenmiştir. PET liflerinin kullanıldığı numunelerin sertlik indekslerinin zamanla düştüğü tespit edilmiştir.

Rezaeian ve arkadaşları (2008), modifiye edilmiş kısa cam lifleriyle güçlendirilmiş geri dönüştürülmüş PET kompozitlerin reolojik, termal ve mekanik özelliklerini incelenmişlerdir. Numunelerde kullanılan kısa cam lifleri (SGF olarak kısaltılmıştır) ve geri dönüştürülmüş PET liflerinin (rPET olarak kısaltılmıştır) oranları %10, %20 ve %30 olup, numuneler rPETF70/SGF30, rPETF80/SGF20, rPETF90/SGF10 şeklinde kodlanmıştır. Tanecikli rPET'in kaynama noktası 250°C ve yoğunluğu 1.32 g/cm³'tür. Tanecik halindeki rPET ve SGF, 120°C ve 90°C'lik fırında 24 saat kurutulduktan sonra, mikserle 270°C'de 12 dakika karıştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, kompozitlerin kopma dayanımı ve akışkanlık değerleri, kompozit içindeki cam lifinin oranının artışıyla artmıştır. Kompozitlerin mekanik dayanım değerleri ve kristalleşme değerleri, ticari ürünlere kıyasla, daha yüksek elde edilmiştir. rPET ürünlerinin cam lifleriyle iyi bir etkileşim sağladığı belirtilmiştir.

Kráčalík ve arkadaşları (2008), çalışmalarında bazalt lifleriyle güçlendirilmiş geri dönüştürülmüş PET (r-PET olarak kısaltılmıştır) kompozitlerin reolojik, DSC ve SEM analizleri ile mekanik deneylerini yapmışlardır. Kompozitler renksiz r-PET, kesik bazalt lifi (ortalama 4mm uzunluğunda ve 15µm çapında), talk pudrası, % 0,2 oranında antioksidan ve % 1 oranında akışkanlaştırıcı içermektedir. Kompozitler, dört farklı hacim oranına göre hazırlanmıştır.

- 1) %20 bazalt lifi içeren kompozitler,
- 2) %30 bazalt lifi içeren kompozitler,
- 3) %20 bazalt lifi, %10 talk pudrası içeren kompozitler,
- 4) %30 bazalt lifi, % 10 talk pudrası içeren kompozitler.

r-PET granülleri, 120°C’de altı saat süreyle kurutulduktan sonra, bazalt lifleri, talk pudrası, akışkanlaştırıcı ve antioksidanla birlikte çift vidalı ekstrüder ile karıştırılmıştır. Bu işlem 260- 275 °C’de ve vida hızı 200 rpm’de gerçekleştirilmiştir. r-PET kompozitleri, enjeksiyon makinesiyle 260-275 °C’de harmanlanma ve 40°C ile 120°C arasında soğutulup biçimlendirmeyeyle oluşturulmuştur. Kompozitlerin mikro yapıları, taramalı elektron mikroskopuyla incelenmiş, kompozitlerin sertlik, gerilme ve reolojik deneyleri yapılmıştır. Bazalt lifleriyle güçlendirilmiş r-PET kompozitlerin taramalı elektron mikroskopu analizleri sonucunda, liflerin kompozit içinde homojen olarak dağıldıkları, talk pudrasının bulunduğu kompozitlerde, pudra etkisiyle lif ile matriks arasındaki yapışkanlığın arttığı gözlenmiştir. Sadece bazalt lifi ve r-PET içeren kompozitlerin daha düşük birleşim reaksiyonlarına sahip olduğu gözlenmiştir. Kompozitlerdeki bazalt lifinin oranı arttıkça, kompozitlerin mekanik özelliklerinin de iyileştiği, kompozitlerin gerilme ve darbe dayanımlarının da arttığı gözlenmiştir. En fazla bazalt lifi ve talk pudrası içeren (%30 bazalt lifi ve %10 talk pudrası içeren) kompozitlerin, en iyi termal, reolojik ve mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bazalt lifi gibi, talk pudrası ilavesinin de, karışımlar üzerinde olumlu etki yaptığı gözlenmiştir.

Kráčalík ve arkadaşları (2008), “Cam liflerinin, geri dönüştürülmüş PET’in reolojik, termal ve mekanik özellikleri üzerinde etkisi” isimli çalışmalarında, kesik cam lifleri ve geri dönüştürülmüş PET lifleriyle üretilmiş kompozit malzemelerin yapısal özelliklerinin incelemişlerdir. Kompozit içindeki liflerin dağılımlarını taramalı elektron mikroskopuyla inceleyerek, PET’in termal, reolojik ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin saptanması üzerinde çalışmışlardır. Kompozitler, renksiz geri dönüştürülmüş PET (PET-R), kesik cam lifi (lif boyu 4mm, çap 10µm), talk pudrası, %1 akışkanlaştırıcı ve %0,2 stabilizatörden oluşmaktadır. Kompozit içindeki cam lifi oranları ağırlıkça %15, %20 ve %30 olarak belirlenmiştir. PET-R granülleri, 120°C’de altı saat kurutulmuştur. Çift vidalı ekstrüderde, 260-275°C’de ve 200 rpm vida hızında, PET-R granülleri, cam lifleri, talk pudrası, akışkanlaştırıcı ve stabilizatör karıştırılmıştır. Kompozitler, enjeksiyon makinesiyle 260-275°C’de harmanlanma ve 40 ile 120°C arasında soğutulup biçimlendirilme ile son halini almıştır. Yapılan deneyler sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir: Kompozit içindeki lif oranının artışı, numunelerin homojenliğinde bir değişime neden olmamış, lifler bütün karışımlarda, homojen olarak dağılmıştır. En iyi dağılım ve birleşme hali,

ağırlıkça %20 oranında cam lifi içeren kompozitte gözlenmiştir. Bununla birlikte, talk parçacıkları, kompozit malzemelerde bağlayıcı bir etken olmuş, kompozit malzemenin yüksek kayma dayanımına sahip olmasını kolaylaştırmıştır. Çalışmaya göre, cam lifi kullanımı, genel olarak kompozit malzemelerin reolojik özelliklerini artırmıştır. Polimer kompozitlerin içindeki cam lifi oranının artışıyla, kompozitler daha yüksek erime dayanımı ve viskositeye sahip olmuştur. Kompozit içindeki boşluklu yapının artışı ise malzemenin reolojik özelliklerini olumsuz etkilemiştir. En yüksek erime dayanım değeri, ağırlıkça %30 oranında cam lifi içeren kompozitte gözlenmiştir. Kompozit içindeki lif oranının artışıyla, numunelerin camsı geçiş sıcaklığı yükselirken, kristalleşme sıcaklığı düşmektedir. Lif oranı arttıkça, mekanik değerler de artmaktadır. En yüksek sertlik, gerilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri, ağırlıkça %30 oranında lif içeren kompozit numunelerde görülmüştür. Ağırlıkça %20 oranında cam lifi içeren kompozitin en iyi mekanik dayanım değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ashori ve Nourbakhsh (2009), geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen (rHDPE olarak kısaltılmıştır), geri dönüştürülmüş polipropilen (rPP olarak kısaltılmıştır) ve eski gazete kâğıdı (rONP olarak kısaltılmıştır) lifleriyle üretilmiş kompozit panellerin fizibilitesini araştırarak, liflerin ve bağlayıcı malzemelerin, kompozitlerin su emme, içsel bükülme, eğilme ve gerilme değerlerine etkisini incelemişlerdir. Kompozitler içindeki rONP oranları ağırlıkça %55, %70 ve %80 olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda, en iyi gerilme dayanımın değerlerine sahip kompozitlerin ağırlıkça %55 oranında lif içeren rPP, daha sonra ağırlıkça %55 oranında rHDPE içeren kompozitler olduğunu tespit etmişlerdir. Kompozit içindeki lif oranı arttıkça, numunelerin gerilme dayanım değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Bağlayıcı maddenin (MAPP olarak kısaltılmıştır) kompozitin içine ilave edilmesiyle, numunelerin gerilme dayanım değeri artmıştır. En yüksek eğilme dayanımı değerine sahip kompozitin, ağırlıkça %85 oranında rONP ve %4 oranında MAPP içerdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar göstermiştir ki, lifin ve bağlayıcı madde oranının artışı, kompozitlerin eğilme dayanımını artırmıştır. Kompozit içindeki lif oranının artışıyla, içsel bağ dayanımı azalmış, bağlayıcı maddenin eklenmesiyle ise bu değer yükselmiştir. Lif oranının artmasıyla, kompozitlerin su emme değerleri artmıştır. En yüksek su emme değeri, iki saat suda kaynatılmış, ağırlıkça %85 oranında rONP içeren kompozit panele aittir. Su emmenin artışıyla, numunelerin şişme değeri de

yükselmiştir. rHDPE içeren numunelerdeki şişme değerleri ise, rPP içeren numunelere oranla daha düşüktür. Bağlayıcı maddenin artmasıyla, kompozitlerin şişme değeri azalmıştır. Deney sonuçlarına göre, rHDPE içeren numunelerin, rPP içeren numunelere oranla daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu, lif oranının az ve bağlayıcı maddenin fazla olmasının, kompozitlerin mekanik değerlerini arttırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte lif oranının en az olduğu ve bağlayıcı malzemenin bulunmadığı numunelerin, en düşük eğilme dayanım değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Ahmad ve arkadaşları (2008), atık PET ürünlerinin geri dönüştürülmesiyle üretilmiş doymamış poliester reçinesi ve akasya talaşlarından üretilen kompozitlerin dolgu içeriği, dolgu boyutu ve alkali iyileştirmesinin, kompozitin gerilme, eğilme, sertlik ve su emme gibi çeşitli mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kompozit içindeki talaş oranları hacimce %10, %20 ve %30 olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, artan lif hacim oranıyla, kompozitlerin gerilme ve eğilme dayanımları azalmıştır. Konu ile ilgili yapılmış benzer çalışmaların sonuçlarında, lif boyunun kısılmasıyla kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiği belirtilmiştir. Kompozitlerin içine liflerin ilave edilmesiyle, kompozitlerin boşluklu yapısı artmıştır. Boşluklu yapının artmasıyla birlikte kompozitlerin dayanımları azalmıştır. Kompozit içine alkali iyileştiricisinin ilavesiyle, dolgu ve polimer matriksleri arasında bağ kuvvetlenmiş, böylece kompozitlerin mekanik özellikleri iyileştirilmiş ve kompozitlerin su emme kapasitesi azaltılmıştır. Ayrıca geri dönüştürülmüş PET kullanımı ile üretim maliyetleri de azalmıştır.

Lou ve arkadaşları (2007), PET, polipropilen granülleri ve bambu kömürüyle üretilmiş kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini ve işlevliliğini araştırmışlar ve karışım içindeki polimer ve bambu kömürü oranlarını incelemişlerdir. Kompozit içindeki PET oranları; %10, %20 ve %30 olarak, bambu kömürü oranları ise %0, %4, %6, %8, %10 ve %12 olarak kabul edilmiştir. Numunelerin üretilmesi sürecinde önce PET ve PP granüllerinin eritilmiş, daha sonrada enjeksiyonla harmanlanıp bambu mangal kömürüyle birleştirilmiştir. Kompozit malzemelerin mekanik değerlerinin incelenmesi sonucunda, %10 ve %20 poliester içeren PET/PP karışımlarının, diğer kompozitlerden daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Üç kez ekstrüzyon işlemine maruz bırakılmış numunelerin, eğilme dayanımı, darbe

dayanımı ve eğilme modülü hemen hemen değişmemiştir. Fakat %30 poliester içeren PET/PP numunelerin daha düşük mekanik dayanım değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Ronkay ve Czigány (2006), geri dönüştürülmüş PET, cam lifi (GF olarak kısaltılmıştır) ve bazalt liflerinden (BF olarak kısaltılmıştır) üretilmiş kompozitlerde liflerin, kompozit malzemelerin performans özelliklerine etkilerini incelemiştir. Ayrıca çalışmada, kompozitlerin darbe, eğilme ve basınç dayanımı, sertlik, kayma mukavemeti ve lif boyu tayini de incelenmiştir. Numunelerde kullanılan PET, atık şişelerden elde edilmiştir. Kısa cam liflerinin ortalama uzunluğu 4 mm ve ortalama çapları 15 µm, bazalt liflerinin ortalama uzunluğu 1,1 mm ve ortalama çapları 10 µm olarak belirlenmiştir. Cam lifiyle güçlendirilmiş PET matriksindeki cam lifi oranları ağırlıkça %15, %30 ve %45'tir. Benzer şekilde bazalt lifiyle güçlendirilmiş PET matriksin içindeki lif oranları da ağırlıkça %15, %30 ve %45'tir. Deneyler sonucunda, cam lifiyle güçlendirilmiş PET kompozitlerin eğilme ve gerilme dayanımlarının, bazalt lifiyle güçlendirilmiş PET kompozitlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ağırlıkça %15 oranında bazalt lifi içeren kompozitlerin darbe dayanımını değerlerinin, ağırlıkça %15 oranında cam lifi içeren kompozitlerden daha yüksek olduğu, ayrıca diğer oranlardaki cam lifi karışımların daha yüksek darbe dayanımı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Acierno ve arkadaşları (2002), PET ve kopolimerlerinden, tek malzemeli kompozit (MMC olarak kısaltılmıştır) üretimi ve bu kompozitler için hazırlık aşamasının ve matriksler için karakterizasyon işleminin incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında, matriksleri, oligomer, PET hidroliz ve kopolimer olmak üzere 3 farklı yöntemle sentezlemişlerdir. Deneyler sonucunda, lifleri katı bir katman halinde kaplayan oligomerlerin, matrikslerin molekül ağırlıklarını ve bunun sonucunda da erime sıcaklıklarını yükselttiklerini belirlemişlerdir. PET hidrolizinde, kompozitlerin erime sıcaklıklarının düşmesine rağmen, molekül ağırlıklarının arttığı ve erime sıcaklıklarının da istenilen değerlerde elde edilemediği belirtilmiştir. Bu durum, hidrolizin, matriks hazırlamak için uygun bir yöntem olmadığını göstermiştir. Sonuç olarak, bütün yöntemlerde, heterojen yapıda ve istenilen mekanik ve gerilme özelliklerine sahip olmayan kompozitlerin üretildiği belirtilmiştir.

Li ve arkadaşları (1998), Şehir atığı olan PET ve yakılmış bitkilerden elde edilmiş küllerle üretilmiş kompozitlerin dayanım, su emme ve yoğunluk değerlerini

belirlemişler ve yapı malzemesi olarak kullanımlarının uygunluğunu araştırmışlardır. Çalışmalarında, atık PET, 15 ve 30 mm boyutlarında kesilip, yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. PET içinde kullanılmış kül oranları kuru ağırlıkça %0, %10, %20, %30, %40 ve %50'dir. Kompozit malzeme,

- 1) Ağırlık ölçme, PET'i ve külü parçalama,
- 2) Isıtma ve karıştırma,
- 3) Şekillendirme olmak üzere üç aşamada üretilmiştir.

ASTM D 570 standardına göre basınç dayanım testi yapılacak numuneler, 40 mm uzunluğunda ve 2:1 çap oranında kesilmiştir. Kompozitlerin su emiciliklerinin ölçülmesinde ise ASTM D- 695 standardından yararlanılmıştır. PET ve kül arasındaki birleşme reaksiyonları için XRD analizleri yapılmıştır. Kompozitlerin mikro yapılarının incelenmesi için taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM) yapılmıştır. Deneyler sonucunda, kompozitlerin basınç dayanımlarının, kül oranının artmasına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Yapı içinde basınç dayanımının minimum yeterliliğini sağlayan yapı tuğlalarının basınç dayanımına göre kompozitlerin iki, üç kat daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu saptanmıştır. Su emme testlerinde ise, kompozit malzemelerin düşük yoğunluğa sahip olduğu ve hemen hemen su geçirimsiz özellikte olduğu belirlenmiştir. PET'in bozulma sıcaklığı 250-260°C iken, küle kompoze edilmiş PET'in bozulma sıcaklığı 300°C'ye yakın tespit edilmiştir. XRD analizlerine göre PET ve kül arasında kimyasal bir etkileşimin olmadığı, sadece fiziksel bir birleşimin olduğu gözlenmiştir. SEM analizlerinde ise kompozitlerin yüzeylerinin düz ve pürüzsüz bir yapıda olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, PET'e kül ilavesiyle elde edilmiş kompozit malzemelerin sadece basınç dayanımları değil, aynı zamanda erime ve işlenebilirlik özellikleri de iyileştirilmiştir.

Fraïsse ve arkadaşları (2005), "PET/Polikarbonat karışımlarının geri dönüşümü" başlıklı çalışmalarında, PET'in geri dönüştürülme işlemi sonucunda olumsuz etkilenen fiziksel özelliklerini, PET'i polikarbonatla güçlendirerek geliştirmeyi amaçlamışlardır. Kompozitler içindeki PET/PC oranları 80/20, 70/30 ve 50/50 şeklinde belirlenmiştir. Karışımlar çift vidalı ekstrüder ile 270°C'de şekillendirilmiştir. PET'in geri dönüşüm işleminden önce PC misketleriyle kompozit halinde geri dönüştürülmesi, hem bu süreci kolaylaştırmış, hem de kompozitin özelliklerini iyileştirmiştir. Kompozitlerin G' değeri, PC'a yakın ve G'' değerleri de

PET ile benzer tespit edilmiştir. Kompozitlerin camsı geçiş sıcaklık değeri, normal PET'in camsı geçiş sıcaklık değerinden daha yüksek elde edilmiştir. Bu karışımların içinde en düşük T_g değerine sahip olan karışımların ise, PET oranı en yüksek olan numuneler olduğu belirlenmiştir. PET/PC karışımlarının, yapı uygulamaları için yeterli gerilme ve eğilme dayanımlarına sahip olduğu, PET/PC karışımlarının, gerilme ölçümlerindeki E değerinin ise normal PET ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Lei ve arkadaşları (2009), Stiren ve etilen/bütlen (SEBS olarak kısaltılmıştır), maleated polietilen (PE-g-MA olarak kısaltılmıştır) ve 4,4'-metilendi (fenil izokyanat) (MDI olarak kısaltılmıştır) ilave edilerek hazırlanmış R-HDPE/R-PET kompozitlerin faz yapılarını, mekanik özellikleri, kristalleşme davranışları ve termal dayanımlarını incelemişlerdir. Kompozit içindeki R-HDPE/R-PET'in ağırlıkça oranları; 70/30, 50/50 ve 30/70, MDI, PE-g-MA ve SEBS oranları, R-HDPE /R-PET kompozitinin toplam ağırlığının %0,5, %2 ve %5 olarak belirlenmiştir. Numuneler önce granülator ile misket haline getirilmiş, mekanik testler için enjeksiyon makinesiyle şekillendirilmişlerdir. SEBS, PE-g-MA ve MDI'nın, R-PET/R-HDPE kompozitleri üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmanın sonucunda, hiçbir katkı malzemesi içermeyen R-PET/R-HDPE kompozitlerin özellikleri, içindeki polimer oranlarına bağlı olarak değişmektedir. Ağırlıkça 50/50 oranında polimer içeren kompozitin mekanik dayanımlarında, özellikle darbe dayanımında, genel olarak sapmalar görülmüştür. Kompozitlerin kristalleşme değeri, R-HDPE'nin ilave edilmesiyle artmış fakat R-PET'nin ilavesiyle düşmüştür. Katkı malzemelerinin ilave edilmesiyle kompozit malzemelerin özelliklerinde değişimler olmuştur. Bu değişimden en fazla 70/30 oranındaki R-PET/R-HDPE kompozitlerin etkilendiği tespit edilmiştir. %2 oranında PE-g-MA ve %5 oranında SEBS içeren kompozitlerde, R-PET boyutlarında kayda değer oranda bir değişim olmuş, darbe dayanımları ise artmıştır. %0,5 oranında MDI içeren kompozitlerin morfolojileri, MDI ilavesiyle değişmiş ve kompozitlerin gerilme ve darbe dayanımları düşmüştür.

Avila ve arkadaşları (2003), atık PET ve HDPE şişelerin geri dönüşüm yöntemiyle mühendislik uygulamalarında yeniden kullanılabilirliklerini araştırmışlardır. PET ve HDPE'den üretilmiş kompozit malzemelerin optik mikroskoplarla mikro yapılarının incelenmesi, kompozitin mekanik davranışlarının gözlenmesi ve makro mekanik analizlerle gerilme dayanımlarının belirlemesi çalışmanın amacı olmuştur. Kompozit

numuneler için ardışık olarak dört kez geri dönüşüm işlemi yapılmış, her işlem sonunda numunelerin gerilme dayanımları tespit edilmiştir. Geri dönüşüm işlemleri sonunda, kompozitlerin E değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Kompozitlerin katılığındaki değişimin, sadece kristalleşmenin sonucu olarak değil, aynı zamanda kompozitlerin mikro yapılarındaki morfolojik değişimlere de bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bu değişimlerin esas nedeninin ise kompozitlerin geri dönüşüm işlemleri sonunda moleköl ağırlıklarındaki değişimler olduğu belirtilmiştir.

Evstatiev ve arkadaşları (2002), yaptıkları çalışmalarında, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE olarak kısaltılmıştır), geri dönüştürülmüş PET (r-PET olarak kısaltılmıştır) ve mikro liflerle güçlendirilmiş kompozit (MFC olarak kısaltılmıştır) üretmişler ve kompozitlerin üretim sürecini incelemişlerdir. Kompozitlerin taramalı elektron mikroskobu analizlerini (SEM) ve dinamik mekanik termal analizlerini (DMTA) yapmışlar, geniş açılı X-ray dağılımlarını (WAXS) incelemişlerdir. LDPE ve atık PET şişelerini kullanarak, r-PET/LDPE oranları ağırlıkça 30/70 ve 50/50 olacak şekilde, lif çapını 1mm belirleyerek numuneler hazırlamışlardır. Taramalı elektron mikroskobuyla yapılan analizler sonucunda iki önemli sonuç elde edilmiştir.

- 1) Morfolojik olarak iyi tanımlanmış mikro fibriller karışım, oluşumundan sonra camsı bir yapı sergilemiştir.
- 2) PET'in enjeksiyonla şekillendirilmesi aşamasında, camsı özellik gösteren mikrofibriller, eksensel olmayan yönelmelerini kaybetmişler ve az ya da çok izotropik bir durumda, izotropik LDPE matriksleri içinde yerlerini almışlardır.

Gerilme dayanımı deneylerine göre, PET/LDPE karışımlarının gerilme modülü değeri, LDPE'nin gerilme modülü değerinden yaklaşık olarak 10 kat daha fazla, cam lifiyle güçlendirilmiş LDPE'nin gerilme modülü değerinden (%30 ağırlıkça) üç kat daha fazla tespit edilmiştir. PET/LDPE karışımlarının gerilme dayanımları da LDPE'nin gerilme dayanımından iki kat daha fazla elde edilmiştir. Kompozitlerin uzamada kopma değerleri, LDPE'nin uzamada kopma değerinden yedi kat daha az, cam lifiyle güçlendirilmiş LDPE'nin uzamada kopma değerinin yarısı kadar olduğu tespit edilmiştir. Kompozitlerin darbe dayanım değerlerinin ise 50 kJ/m²'den 70 kJ/m²'ye yükseldiği tespit edilmiştir.

Giraldi ve arkadaşları (2004), "Cam lifi ve geri dönüştürülmüş PET kompozitleri: mekanik ve termal özellikler" başlıklı çalışmalarında geri dönüştürülmüş PET, cam

lifi (4,5mm uzunluğunda ve 11 μ m çapında) ve antioksidan kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. PET içindeki cam lifi oranı %30'dur. Ekstrüzyon öncesi 0,65 dl g^{-1} olan akışkanlık (η) değeri, ekstrüzyon sonrasında 0,60 dl g^{-1} 'e düşmüştür. Akışkanlıkta görülen %8 oranındaki azalma, geri dönüştürülmüş PET'in termal ve hidrolik tepkimelere karşı hassas olduğunu göstermiştir. Cam lifiyle güçlendirilmiş geri dönüştürülmüş PET kompozitlerinin darbe dayanımı ve Young modülü değerlerinin, geri dönüştürülmüş PET'in darbe dayanımı ve Young modülü değerlerine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. TGA analizlerinde, cam lifi içeren PET kompozitler ile katkısız PET arasında fark gözlenmemiştir. Kompozit numunelerin kristalleşme değeri, ilk ısıtma sonucunda, geri dönüştürülmüş PET'in kristalleşme değerinden daha düşük tespit edilmiştir. Geri dönüştürülmüş PET'in kazandığı erime/birleşme enerjisinin ise, kompozit numunelerin erime/birleşme enerjisine oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Choi ve arkadaşları (2005, 2009), atık PET şişe parçacıklarının betona ilavesiyle, betonun özelliklerindeki değişimleri inceledikleri çalışmalarında, atık PET şişeleri ve granüle edilmiş fırın cürufundan (GBFS olarak kısaltılmıştır) üretilmiş WPLA'nın (hafif çakıl/agrega) özelliklerinin geliştirilebilirliği araştırılmış ve WPLA ile üretilmiş betonun (WPLAC olarak kısaltılmıştır) basınç dayanımı, elastisite modülü gibi mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozit, Portland çimentosu (3,15 g/cm³ yoğunluğunda), granül fırın cürufu (2,90 g/cm³ yoğunluğunda), kaba agregası (20 mm çapında kesilmiş kaya parçaları) ve ince agregası (temiz nehir kumu) ile WPLA'dan (1,39g/cm³ yoğunluğunda) oluşmaktadır. Numunelerin su-çimento oranları %45, %49 ve %53 ile saf agregası hacmine göre WPLA oranları %25, %50 ve %75'tir. ϕ 100x200 mm boyutlarında hazırlanmış beton numunelerinin, gerilme dayanımları, elastisite modülleri ve yoğunlukları deneysel çalışmanın 28. gününde ölçülmüştür. WPLA'nın basınç ve gerilme dayanımlarının, elastiklik modüllerinin, su-çimento oranı ve WPLA'nın ikame oranından etkilendiği gözlenmiştir. WPLA'nın özgül ağırlığı ve birim hacim ağırlığı, normal agregaya kıyasla %50 oranında daha düşük tespit edilmiştir. WPLA'nın yapısal verimi, kontrol betonuna göre %21 oranında daha düşük hesaplanmıştır. Bu durumun, matriks dayanımı ve WPLA'nın ağırlığından kaynaklandığı belirlenmiştir. WPLA ve çimento hamuru arasındaki geçiş bölgesi genişlemiştir. Bunun nedeni ise, karışıma GBFS'nin eklenmesi ve böylece agregası yüzeyinin güçlenip artması şeklinde açıklanmıştır.

Mondadori ve arkadaşları (2008), PET/cam lifi kompozitlerinin, çift vidalı ve tek vidalı ekstruderle şekillendirilmelerinin, kompozitlerin mikro yapılarına, kristalleşme değerlerine, mekanik ve termal özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Kompozit içindeki PET/GF oranlarını ağırlıkça %0, %20, %30 ve %40 olarak belirlenmiştir. İlk numune grubu, çift vidalı ekstruder ile 50 rpm vida hızında ve 250°C, 260°C, 270°C ve 275°C’de şekillendirilmiştir. İkinci numune grubu, çift vidalı ekstruder kullanılarak 275°C sabit sıcaklığında, 200 rpm vida hızında şekillendirilmişlerdir. Gerilme dayanımı deneyleri, ASTM D 638 standardı, eğilme dayanımı deneyleri, ASTM D 790 standardı, İzod darbe dayanımı testi ise ASTM D 256 standardı ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda, tek vidalı ekstruderin, çift vidalı ekstruderin yerine kullanılabileceği belirtilmiştir.

Corradini ve arkadaşları (2009), geri dönüştürülmüş PET lifi (PETr olarak kısaltılmıştır), şeker kamışı lifi (FC olarak kısaltılmıştır), etilen-metil akrilat (EMA olarak kısaltılmıştır) ve etilen/n-bütül akrilat/glisidil metakrilat (EBGMA olarak kısaltılmıştır) ara yüz bağdaştırıcıları kullanarak kompozit malzeme üretmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, PETr, PETr/EMA, PETr/EBGMA, PETr/FC, PETr/FC/EMA ve PETr/FC/EBGMA’dan oluşan kompozitleri, mikser ile karıştırıp, tork reometresiyle 230°C’de ve 50 rpm vida hızında 10 dakika işledikten sonra 80x80x0.3mm boyutlarındaki kalıplarda şekillendirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, EBGMA bağdaştırıcısının, EMA ve PETr/FC kompozitlerinden daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Bağlayıcıların ve liflerin ilave edilmesiyle kompozitlerin gerilme modülleri değişmemiş, fakat gerilme dayanımları azalmıştır. Şeker kamışı ilavesinin kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında, şeker kamışı lifiyle güçlendirilmiş PETr’nin üretilebileceği ve bu şekilde geri dönüştürülmüş malzemelerin yeniden kullanıma kazandırılabilceği belirtilmiştir.

Jayaraman ve Halliwell (2009), harakeke lifi ve atık plastiklerden oluşan kompozit malzeme üretmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, Yeni Zelanda’da yetişen harakeke (phormium tenax) liflerinden ve atık plastik harmanından, vidasız ekstrüzyon ve enjeksiyonla şekillendirme işlemleriyle kompozit üreterek, kompozitlerin gerilme ve darbe dayanımlarını belirlemişlerdir. PET, HDPE, LDPE ve PP’den oluşan atık plastikler eşit oranlarda katılıp, granülatör ile 6 mm ve daha küçük boyutlarda şekillendirilerek bir plastik harmanı oluşturulmuştur. Plastik

karışım, harakeke lifleri (300-350 μm çapında, 900-2100 mm uzunluğunda ve 1300kg/m^3 yoğunluğunda), polipropilen ve polietilenden oluşmaktadır. Atık plastik harmanı/harakeke lifi kompozit numuneleri ağırlıkça 70/30 oranında olup, kompozitin içindeki bağlayıcı oranı, her biri için %1,5 oranındadır. Numune içindeki lif uzunluğu ise 10mm'dir. Atık plastik/harakeke lifi kompozit numunelerinin gerilme dayanımı değeri, plastik harman kompozit numunelerinin gerilme dayanımı değerinden yaklaşık %15 oranında, gerilme modülü değeri %55 oranında ve darbe dayanımı değeri ise %35 oranında daha yüksek tespit edilmiştir. Ayrıca levha halinde üretilmiş atık plastik/harakeke lifi kompozitlerin daha kolay şekillendirilebildiği ve daha net kenarlara sahip olduğu belirlenmiştir.

Tóth ve arkadaşları (2004), “Radyasyon destekli PET geri dönüşümünde cam lifi güçlendirme ve reaktif katkı kullanımı” başlıklı çalışmalarında, radyasyon iyileştirmesi uygulayarak, geri dönüştürülmüş PET ve kesilmiş cam liflerinden (PET içindeki cam lifleri %10-20 oranlarında bulunmaktadır) oluşan kompozitlerin özelliklerinin iyileştirilmesini amaçlanmışlardır. Kompozitler, reaktif katkı, PET şişeleri ($1,168\text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda) ve E-tipi kısa cam lifinden üretilmiştir. Numune hazırlama sürecinde, karıştırma işleminden sonra, karışımlar, Co-60 gamma ışınlarına maruz bırakılmışlardır. Sonrasında, numuneler ISO 527-2:1993 (E) standardına göre çift vidalı ekstrüder ile işlenip, 270°C 'de enjeksiyonla şekillendirilmişlerdir. Deneyler sonucunda, kompozitlerin gerilme dayanımlarında beklenen olumlu değişimler gözlenmemesine rağmen, eğilme dayanımları ve sertliklerinde kayda değer bir iyileşme görülmüştür. PET/cam lifi kompozitlerin mekanik değerlerinin, radyasyona maruz bırakılmamış numunelere ait değerlerden çok daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kompozitlerin sadece mekanik özellikleri iyileştirilmemiş, aynı zamanda enjeksiyonla şekillendirme sürecinde de olumlu sonuçlar alınmıştır.

Ershad-Langroudi ve arkadaşları (2008), polipropilen, geri dönüştürülmüş PET (rPET olarak kısaltılmıştır) ve kesik pirinç kabuğundan (CRH olarak kısaltılmıştır) üretilmiş kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, polipropilenin içine %40 oranında kesik pirinç kabuğu ve %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35, %40 oranlarında rPET ilave etmişlerdir. Deneyler sonucunda, polipropilenin içine rPET ilavesinin, kompozitlerin darbe dayanımlarını yükseltirken, gerilme dayanımlarını düşürdüğü belirlenmiştir. Kompozitlerin eğilme dayanımı

değerleri kayda değer oranda değişmemelerine rağmen, eğilme modülleri %44 oranında artmıştır. rPET-PP kompozitlerin darbe dayanımları, PP-CRH kompozit numunelerine oranla üç kat daha fazladır. Taramalı elektron mikroskobu analizlerinde, kompozitlerin mekanik dayanım değerlerindeki artışın, dolgu olarak kullanılan rPET'in, morfolojik olarak iyi bir dolgu malzemesi olmasından ve rPET'in, PP matriksleriyle iyi bir bağ kurabilmesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Bizarria ve arkadaşları (2007), kil ve geri dönüştürülmüş PET nano kompozitlerinin mikro yapılarını ve termo mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, ağırlıkça %1, %3 ve %5 oranlarında organik kil içeren geri dönüştürülmüş PET-montmorillonite (MMT olarak kısaltılmıştır) nano kompozitlerinin elde edilebilirliğini ve bu kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Akışkanlık deneyleri sonucunda, rPET'in ve kompozitlerin η değerleri karşılaştırıldığında, akışkanlık değerinde %50'ye yakın bir oranda düşüş olduğu ve kullanılan antioksidanın bu düşüşte bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Nano kompozitlerin gerilme dayanımı ve sertlik değerleri, rPET'in gerilme ve sertlik değerlerinden daha yüksek olarak tespit edilmiştir. En yüksek *E* modülü değeri, %5 oranında kil içeren nanokompozit numunelerde elde edilmiştir. Kil ilavesinin çok az oranlarda olmasının bile, rPET'in mekanik değerlerini yükseltmekte yeterli olduğu belirlenmiştir. WAXS ve SEM analizleri sonucunda, kompozitlerde tabaka şeklinde dökülmelerin olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, küçük boyutlarda etkili bir polimer-kil birleşimine neden olan dağılmalar gözlenmiştir.

Kráčalík ve arkadaşları (2007), kil ve geri dönüştürülmüş PET'ten üretilmiş nano kompozitleri inceledikleri çalışmalarında, üç farklı tür kil kullanarak kompozit hazırlamışlardır. Kompozitlerin termal özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonucunda, kompozitlerin camsı geçiş sıcaklıkları ve kristalleşme değerlerinin, rPET numunelerin camsı geçiş sıcaklıkları ve kristalleşme değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kompozitlerin erime sıcaklık değerlerinde kayda değer bir düşüş görülmemekle birlikte eğilme dayanımı değerlerinde azalma belirlenmiştir.

Pegoretti ve Penati (2004), “Hidrotermal yaşlandırmanın, geri dönüştürülmüş PET ve kısa cam lifi kompozitlerinin molar kütlesi ve termal özellikleri üzerindeki etkisi” isimli çalışmalarında, geri dönüştürülmüş PET (rPET olarak kısaltılmıştır) ve cam lifi

(GF olarak kısaltılmıştır) oranlarını ağırlıkça rPET-15GF, rPET-30GF olarak belirlemişlerdir. Numuneler, çift vidalı ekstruderle 280°C’de ve 310°C’de karıştırılıp şekillendirilmiştir. Üç ay süreyle laboratuvar şartlarında (23°C’de, %40 RH) sabit ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiş numuneler, 70°C, % 80 nemli ortamda ve su içinde, hidrotermal yaşlandırmaya uğratılmışlardır. Hidrotermal yaşlandırma deneyleri sonucunda, numunelerin molar kütlelerinin, zamana bağlı olarak düşüş gösterdiği, su emme değerinin, kompozitlerin içerdiği lifin yoğunluğuyla doğru orantılı olarak arttığı, molar kütledeki düşüşle bağlantılı olarak kompozitlerin camsı geçiş sıcaklık değerlerinin düştüğü saptanmıştır. %80 nemli ortamda bekletilen numunelerin camsı geçiş sıcaklığı değerleri ise suda bekletilen numunelerin camsı geçiş sıcaklığı değerlerinden daha yüksek iken lifsiz rPET numunelerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Youssef ve arkadaşları (2009), atık PET lifi ve akrilonitril-butadien kauçuğu (NBR olarak kısaltılmıştır) kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmalarında, kauçuk içindeki lif oranlarını %0,5, %3, %5, %10, %15, %20 ve %25 olarak belirlemişlerdir. Karışımlar, içlerine çeşitli antioksidan ve kimyasallar eklendikten sonra ekstruder ile şekillendirilmişlerdir. Gerilme dayanımı deneyi ASTM D 412-66T, kopmada uzama deneyi ASTM D 412-66T, sertlik deneyi ise ASTM D 2240, 2000 standartlarının yardımıyla yapılmıştır. Röntgen ışınlarına maruz bırakılmış numunelerde, en yüksek gerilme mukavemeti değerine, %5 rPET lifi içeren kompozitlerin sahip olduğu belirlenmiştir. Röntgen ışınlarının yokluğunda ise, maksimum E ve sertlik değerlerine, % 15 oranında rPET lifi içeren numunelerin sahip olduğu görülmüştür. SEM analizlerinde, radyasyon işleminin, PET lifi ile kauçuk arasındaki birleşmeyi iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Abdel-Azim (1996), PET’ten geri dönüşüm işlemleriyle reçine elde edilmesi ve bu reçinelerin polimer betonlarının içinde kullanımının incelenmesi amacıyla yaptığı çalışmada, silindir şeklindeki polimer beton kompozitler, agregadan (ağırlıkça %50 oranında 10 mm çapında çakıldan), ağırlıkça %35 oranında kumdan ve %15 oranında külden hazırlanmıştır. Agregat: reçine oranı, 9:1 olarak tespit edilmiştir. Numuneler 25 mm çapında ve 50 mm yüksekliğindedir. Kompozit içindeki kimyasallar; dietilen glikol (DG olarak kısaltılmıştır), propilen glikol (PG olarak kısaltılmıştır), maleik anhidrit (MA olarak kısaltılmıştır), sebasik asit (SE olarak kısaltılmıştır), sitiren (Sty olarak kısaltılmıştır) metiletil keton peroksittir (MEKP olarak kısaltılmıştır). Yapılan

deneyler sonucunda, PET atıklarının, PG-DG karışımları ile glikoliz edilerek depolimerizasyona uğrayabildiği ve PG miktarının artmasıyla depolimerizasyon derecesinin de arttığı belirlenmiştir. SE ve MA karışımının glikolize edilmiş PET ürünleriyle, UP (doymamış poliestere) yapımında kullanılması, kür reaksiyon zamanı değerinde kayda değer bir artış sağlamıştır. UP zincirlerinin yapısı, kurlenme zamanını etkilemiştir. SE-MA karışımının kullanılması, kompozitlerin maksimum kurlenme sıcaklık değerini düşürmüştür. Geri dönüştürülmüş PET'ten elde edilmiş doymamış poliestere reçinesinin, polimer betonu yapımında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Daver ve arkadaşları (2008), yaptıkları çalışmalarında atık PET (R-PET olarak kısaltılmıştır) ve farklı oranlardaki pyromellitik dianhidritin (PMDA olarak kısaltılmıştır) reaktif ekstrüzyonla elde edilmesi ve R-PET'in reolojik özelliklerinin geliştirilmesini amaçlamışlardır. R-PET numunelerin, PET ve modifiye edilmemiş R-PET numunelerine oranla daha yüksek akışkanlık değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Kompozit içindeki PMDA oranının artmasıyla, kompozitlerin moleküler ağırlığında artış tespit edilmiştir. Ayrıca kompozitlerin visko elastik özelliklerinin, moleküler yapılarıyla orantılı olduğu belirlenmiştir.

2.4.2 Konu ile ilgili yapılmış çalışmaların irdelenmesi

Geri dönüştürülmüş PET lifi, alçı, alçı matriks içinde kullanılmış farklı güçlendirici malzemelerle üretilmiş kompozitler, geri dönüştürülmüş PET lifi ve farklı polimer türleriyle üretilmiş kompozitler, atık PET ürünleri ve bunların özelliklerinin belirlendiği makaleler bölüm 2.4.1'de açıklanmıştır.

Literatürden belirlendiği üzere, PET ve alçının, kompozit olarak incelendiği tek çalışma, Karaman ve arkadaşları (2006) tarafından yapılmıştır. Alçı içinde atık PET şişelerinin granül haline getirilmesiyle elde edilmiş PET parçacıkları kullanarak, parçacıklarla dayanımı artırılmış kompozit malzeme üretilmiş ve bu kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozit içindeki atık PET parçacıklarının artışıyla, kompozitlerin yoğunluğunun azaldığı görülmüştür. Kompozitlerin gözenekli yapısının artmasıyla da su emiciliklerinin arttığı, buna karşın kompozitlerin ısı iletkenlik değerlerinin, eğilme mukavemetlerinin ve basınç mukavemetlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Diğer taraftan, farklı türde liflerle güçlendirilmiş alçı kompozitler üzerine yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Eve ve arkadaşları, 2001 yılında yayınlanmış çalışmalarında, poliamid (PA olarak kısaltılmıştır) liflerle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin üretilebilirliğini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozit içindeki lif ve alçı arasındaki aderansın yeterli olmaması nedeniyle, kompozitlerin mekanik dayanım değerlerinde düşüş görülmüştür. Ayrıca lifsiz alçı numunelere oranla, kompozitlerin tokluk değerlerinin, kompozit içindeki lif oranının artışına paralel olarak arttığını tespit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar, 2006 ve 2007 yılında yayınlanmış çalışmalarında, PA lifleri ile lateks dolgu maddesini, alçıya ilave ederek kompozit elde etmişler ve bu kompozitlerin priz sürelerini ve mikro strüktürel yapılarını incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, PA liflerinin uzunluğunun veya oranlarının artmasıyla, kompozitlerin priz sürelerinin azaldığını, fakat lif çapının değişmesiyle, alçı kompozitlerin priz süresinde bir değişimin olmadığını tespit etmişlerdir. Kompozitlerin içindeki toplam porozite oranlarının, lif oranının artışına bağlı olarak arttığını fakat lateks ilave edilmesiyle, kompozitlerin boşluk yapılarının azaldığını belirlemişlerdir. Parres ve arkadaşları (2009), atık otomobil lastiklerinden üretilmiş liflerle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, lif katkısıyla kompozitlerin eğilme dayanımı değerlerinde kayda değer oranda azalma, basınç dayanımı değerlerinde ise bir miktar azalma tespit etmişlerdir. Singh ve Garg (2000), cam lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin mikro yapılarını inceledikleri çalışmalarında, 50°C'nin üzerinde, cam liflerinin deformasyona uğradıklarını tespit etmişlerdir. Ali ve Grimer (1969), cam lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, lif oranının %10 ve daha az olduğu kompozitlerde, eğilme dayanımı değerlerinin artarken, daha yüksek lif oranına sahip kompozitlerde, lif oranının artışıyla ters orantılı olarak kompozitlerin eğilme dayanımı değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Rubio-Avalos ve arkadaşları (2005), alçı ve SBR kauçuğundan üretilmiş kompozitlerin mikro strüktürel yapılarını incelemişlerdir. Kompozit içindeki SBR katkısının artışıyla, kompozitlerin eğilme dayanımı değerlerinde artış olduğunu belirlemişlerdir. Santos (2009), PPF ile güçlendirilmiş EPS alçı levha kompozitlerin yoğunluğunun, EPS ilavesiyle azaldığını, eğilme dayanımı değerlerinin ise arttığını tespit etmiştir.

PET, geçtiğimiz yüzyılda, keşfedilip üretilmesiyle, piyasada yerini almıştır. Kullanıcı ihtiyaçlarını istenilen ölçülerde karşılamasıyla ise yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, üretim sonrası oluşan atık miktarının artmasına paralel olarak, geri dönüştürülmüş polimer malzemeler konusunda yapılan çalışmalar da artmış, bu bağlamda, atık malzemelerin özelliklerinin belirlenerek yeniden kullanıma kazandırılması amacıyla yapılan çalışmalar önem kazanmıştır. PET şişe üretiminde en çok tercih edilen polimer türü olan PET ile ilgili olarak, Küçükgül ve Doğan, 2007 yılında, PET şişenin yaşam döngü analizini yapmışlardır. PET'in hammadde olan petrolün topraktan elde edilmesinden, işlenip PET olarak üretilmesine kadar geçen süreci ele alarak, bu süreçlerin çevresel etkilerini, atık su üretimlerini, zehirli gaz emisyonlarını senelik üretim değerleriyle birlikte tablolastırarak açıklamışlardır. 1,246 kg'lık PET şişe balyasından mekanik geri dönüşüm yöntemiyle 1 kg PET talaşı, 1,133 kg'lık PET şişe balyasından kimyasal geri dönüşüm yöntemiyle 1 kg PET polimeri elde edildiğini açıklamışlardır. Torres ve arkadaşları (2000), PET ve geri dönüştürülmüş PET liflerinin termal ve mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, yüksek oranda PVC içeren geri dönüştürülmüş PET'in, en kirli PET geri dönüşüm türü olduğunu, termal ve hidrolitik bozulmaya da daha duyarlı olduğunu saptamışlardır.

Siddique ve arkadaşları (2008), geri dönüştürülmüş plastik malzemelerin beton içinde kullanımını incelenmişlerdir. Geri dönüştürülmüş PET'in beton içinde kullanılmasıyla elde edilmiş numunelerin özelliklerini belirledikleri çalışmalarında, tüketim sonrası elde edilmiş plastik agregaların, diğer agregaların yerine kullanılabileceğini belirtmektedirler. Diğer agregalarla üretilmiş betona kıyasla, geri dönüşüm ürünü plastik agregalarla üretilmiş betonun daha hafif olduğunu, fakat basınç dayanımında, diğer agregalarla üretilen kompozitlerden daha düşük değerlere sahip olduğunu tespit edilmişlerdir. Benzer şekilde Kim ve arkadaşları (2008), geri dönüştürülmüş PET lifiyle güçlendirilmiş beton kompozitler içindeki PET liflerinin geometrilerinin, kompozitlerin plastik rötreleri üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, kompozit içindeki lif oranının değişimiyle lif geometrisi hangi şekilde olursa olsun, plastik rötreinin değiştiğini tespit etmişlerdir. Choi ve arkadaşları (2005, 2009), atık PET şişe parçacıklarından üretilmiş agregaların beton içinde kullanılmasının, betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, PET şişe parçacıklarından elde edilmiş agregayla üretilmiş betonun,

normal betona oranla daha hafif olduğunu, fakat mekanik dayanım değerlerinin daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

PET ayrıca çeşitli polimer türleri ve doğal ve yapay liflerle kompozit malzeme üretiminde kullanılmış ve bu kompozit malzemelerin mekanik, mikro strüktürel ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Mondadori ve arkadaşları (2008), PET/cam lifi kompozitlerinde, üretim işleminin değişmesiyle, kompozitlerin mikro yapılarının, mekanik ve termal özelliklerinin değişmediğini belirlemişlerdir. Corradini ve arkadaşları (2009), geri dönüştürülmüş PET ve şeker kamışı lifinden kompozit üretilbildiğini, bu şekilde geri dönüştürülmüş PET'in yeniden kullanıma kazandırılabilirdiğini tespit etmişlerdir. Bizarria ve arkadaşları (2007), Krácalık ve arkadaşları (2007), kil ve geri dönüştürülmüş PET lifiyle üretilmiş kompozitlerin özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, kompozitlere kil ilavesinin, rPET'in mekanik değerlerini yükselttiğini tespit etmişlerdir.

Literatür çalışmaları genel olarak irdelendiğinde, PET lifi, geri dönüştürülmüş PET lifi ve alçının özellikleri konusunda yeterli sayıda araştırma yapıldığı gözlenmiştir. PET ve geri dönüştürülmüş PET ile üretilmiş kompozitler konusunda pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen, alçı ve PET konusunda yapılmış tek çalışma, atık PET kesikleriyle, parçacıklarla güçlendirilmiş alçı kompozit malzemenin üretimi ve bu kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesidir (Karaman ve arkadaşları, 2006). Geri dönüştürülmüş PET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozit konusunda çalışmaya ise rastlanmamıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kompozit malzemelerin üretiminde, kompoziti oluşturan bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir veya birkaç özelliğinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan kompozitlerin özelliklerini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Aşağıda elyafli kompozitlerin özelliklerini etkileyen faktörler sıralanmıştır:

- Elyafın mekanik özellikleri,
- Matriksin mekanik özellikleri,
- Kompozitin elyaf hacim oranı,
- Elyaf çapı veya kesiti,
- Matriks içindeki elyaf doğrultusu,
- Kompozite uygulanan üretim metodu (Şahin, 2006).

Alçının, geri dönüştürülmüş PET lifleriyle güçlendirilmesinin amaçlandığı çalışmada, kompozitlerin özelliklerini etkileyen bu faktörler göz önüne alınarak deneysel çalışmalar yapılmış ve deney sonuçları değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmaların ilk bölümünde, deneylerin istenilen koşullarda yapılması amacıyla ölçütlerin belirlenmesi, kompozitler için hangi deneylerin yapılacağı, kompozit üretiminde hangi malzemelerin kullanılacağı ve kullanılacak malzemelerin oranlarının, boyutlarının kararlaştırılması belirlenmiştir. İkinci bölümde ise, ilk bölümde elde edilen veriler ışığında, geri dönüştürülmüş PET lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin özelliklerinin incelendiği esas deneyler yapılmıştır.

Alçı kompozitler için yapılacak esas deneylerin koşullarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler kapsamında, öncelikle kompozit bileşeni olarak kullanılacak iki farklı tür alçı incelenmiştir. Bu alçı türlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlendiği deneyler sonucunda, elde edilmiş sonuçlar karşılaştırılıp, kompozit üretiminde kullanılacak alçı türü belirlenmiştir. Bu süreçte, deney yöntemleri ve deneylerin yapım şekilleri, deney sonuçlarıyla birlikte anlatılmıştır. Sonrasında,

kompozit içinde kullanılacak diğer bileşenler tespit edilerek, bu malzemelerin, kompozit içinde hangi oranlarda ve boyutlarda kullanılacağı belirlenmiş ve numune üretim koşulları netleştirilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, alçı-lif arasındaki aderansın artırılmasına yönelik çalışmaları gerekli kılmış ve çalışmanın bu aşamasında, kompozit içinde katkı olarak kullanılacak aderans artırıcı katkı malzemesinin türü ve kompozit içerisindeki oranları belirlenmiştir.

Bütün bu çalışmalar sonucunda, alçı türü, alçı karışımın su/alçı oranı, priz geciktirici miktarı, kompozit içindeki lif hacim oranları, lif boyutu, lif kalınlığı, aderans artırıcı katkı malzemesinin türü ve miktarı, numune türleri ve boyutları belirlenmiş ve deneyler kapsamında uygulanacak yöntemlere karar verilmiştir.

Deneyisel çalışmanın ilk bölümünde, kompozitin matriks bileşenini oluşturan alçıya ait fiziksel ve mekanik deneyler, ikinci kısımda ise, geri dönüştürülmüş PET liflerine ait fiziksel ve mekanik deneyler ile mineralojik yapısının belirlendiği analizler açıklanmıştır. Üçüncü bölümde kompozit üretiminde kullanılan malzemelerin türlerinin, oranlarının ve boyutlarının belirlendiği deneyler yapıp numune üretim yöntemi belirlenmiş ve esas deneylerde kullanılacak numune özellikleri belirlenmiştir. Dördüncü bölümde ise kompozit içinde kullanılacak aderans artırıcı katkı malzemesi türünün ve oranının belirlenmesi için yapılmış deneyler anlatılmıştır. Beşinci bölümde rPET lifi-alçı kompozitlerin ve levhaların özellikleri belirlenerek irdelenmiştir. Deneyisel çalışmalar kapsamında; TS EN 520, TS 901-2, TS 2380, TS EN 1013-2, TS EN 13279-1, TS EN 13279-2, TS EN 13815, TS EN 13950, TS EN 15283-1, TS 7279, TS 1225 ISO 565 standartlarından yararlanılmıştır.

3.1 Alçının Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Alçının fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayin edildiği deneyler öncesinde, piyasada satışı yapılan kartonpiyer alçı ve çalışmalar için özel olarak üretilmiş seperatör çıkışı alçı temin edilmiştir. Her iki tür alçı için fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış olup, elde edilmiş veriler ışığında deneyisel çalışmalar yapılmıştır.

3.1.1 Alçı numunelerin kodlanması

Deneyisel çalışmalarda üretilmiş numunelerin kodlanmalarında kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları şu şekildedir:

A	: Alçı
SÇ-Rakam	: Seperatör çıkışı alçı- Su/alçı oranı
K-Rakam	: Kartonpiyer alçı- Su/alçı oranı
G	: Priz geciktirici katkı
SBE-Rakam	: Stiren butadien esaslı aderans artırıcı katkı- Firma sırası
AK	: Akrilik esaslı aderans artırıcı katkı
PVA-Rakam	: Polivinil asetat esaslı aderans artırıcı katkı-Firma sırası
L-Rakam1-Rakam 2-Rakam 3-Rakam 4	: Lif katkı- Lif hacim oranı- Lif boyu- Lif çapı-Numune numarası

3.1.2 Alçı özgül ağırlık deneyi

Alçı özgül ağırlık deneyi için seperatör çıkışı alçı ve kartonpiyer alçı kullanılmıştır. Alçı 50°C'deki etüvde 24 saat kurutulup, soğutulmak üzere desikatöre bırakılmıştır. Önce boş bir kavanoz ve cam kapağın ağırlıkları tartılmış ve darası alınmış olup içinde boşluk kalmayacak şekilde kavanozun içi suyla doldurularak kavanozun hacmi belirlenmiştir. Aynı işlem gazyağı ile tekrarlanmış ve gazyağının özgül ağırlığı hesaplanmıştır. Desikatörde soğutulup tartılmış alçı, içi gazyağı ile dolu kavanozun içine ilave edilmiş ve kavanozun kapağı kapatılarak tartım yapılmıştır. İki tip alçı için üç farklı ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak alçının özgül ağırlığı belirlenmiştir. Seperatör çıkışı alçının özgül ağırlığı 2,56 gr/cm³ iken, kartonpiyer alçının özgül ağırlığı 2,53 gr/cm³ olarak belirlenmiştir.

3.1.3 Alçı incelik tayini-elek analizi

Alçı tane dağılımını tespit etmek için TS 1225 ISO 565'te belirtilen 32, 63, 125 ve 250 µm göz açıklıklı elekler, elek sarsma makinesi ve 0,1 gr duyarlıklı terazi kullanılmıştır.

İTÜ Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarı'nın elek analizi için yapılabilecek deney imkanlarının genişliği nedeniyle, alçı tane büyüklüğü deneyi şu şekilde yapılmıştır; alçı, 0,1 gr. duyarlıklı terazide 50 ± 5 gram olacak şekilde tartılmış, sırasıyla 250, 125, 63 ve 32 µm göz açıklıklı eleklerden, elek sarsma makinesi (Bkz.

Şekil 3.1) yardımıyla 5 dakika aralıksız olarak geçirilmiştir. 5 dakika sonunda, elek üzerinde kalan alçı miktarı tartılmıştır. Alçı tekrar eleğe dökülüp, eleme işlemine devam edilmiştir. Elekten geçen alçı miktarı dakikada, 0,2 grama ininceye kadar eleme işlemine devam edilmiş ve elek üstünde kalan alçı tartılmıştır.

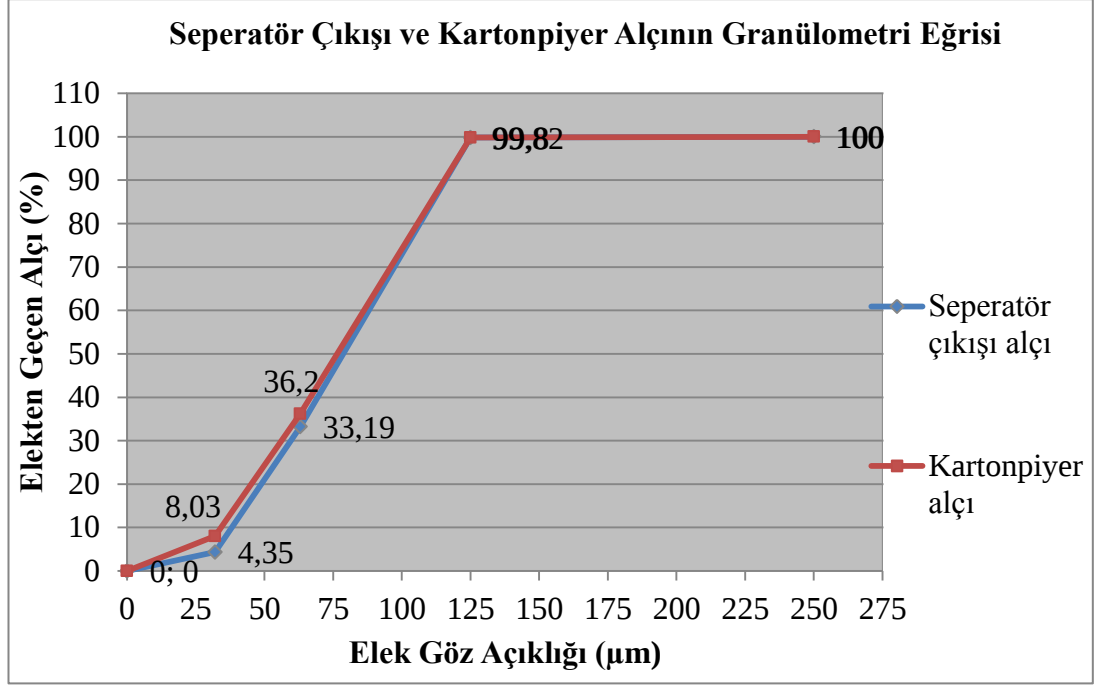


Şekil 3.1: Elek sarsma makinesi.

Granülometri eğrisinde elek açıklıkları absis, yüzdeler ordinat olarak tanımlanmaktadır (Arıoğlu, 2006). Nisan 2010 üretimli kartonpiyer alçısı ve haziran 2010 üretimli seperatör çıkışı alçı için yapılan elek analizi deney sonuçları ve elekten geçen alçının yüzdelik değerleri Çizelge 3.1’de verilmiş, granülometri eğrisi ise Şekil 3.2’de grafikleştirilmiştir.

Çizelge 3.1: Separatör çıkışı ve kartonpiyer alçının elek analizi sonuçları

Alçı Türü	Elek Açıklığı (µm)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Elekten Geçen (gr)	Elekten Geçen (%)
Seperatör Çıkışı	250	0	50,02	100
	125	0,06	49,96	99,8
	63	33,34	16,61	33,19
	32	14,4	2,21	4,35
	Toplama Kabı	1,86		
Kartonpiyer	250	0	50,01	100
	125	0,09	49,92	99,82
	63	31,82	18,1	36,2
	32	14,09	4,02	8,03
	Toplama Kabı	3,39		



Şekil 3.2 : Seperatör çıkışı ve kartonpiyer alçının granülometri eğrisi.

TS EN 13279-1 standardına göre 200 µm açıklıklı elekten, alçının ağırlıkça %1'inden çok, 100 µm açıklıklı elekten, alçının ağırlıkça %10'undan çok alçının geçmesi istenilmektedir. Elek analizi sonuçlarına göre, 125 µm açıklıklı elekten her iki alçı türünde, alçının ağırlıkça %99'u geçmektedir. 250 µm açıklıklı elekten ise alçının %100'ü geçmektedir. Hem seperatör çıkışı alçının, hem de kartonpiyer alçının, standartta istenen değerleri karşıladığı belirlenmiştir.

3.1.4 Alçının normal kıvam tayini

Alçı normal kıvam tayini için, Şekil 3.3'te verilmiş olan Vicat Sondası kullanılmıştır. TS EN 13279-1 standardından yararlanılmış bu testte, 200 gram alçı numunesi, uygun miktarda damıtık su ile iki dakika karıştırılarak, bekletilmeden Vicat halkasına yerleştirilmiştir. Yüzey düzeltilip ıslatıldıktan sonra, vicat halkasının yüzeyine yerleştirilmiştir. Cihaz sıfıra ayarlanarak alçı yüzeyine bırakılmıştır (Postacıoğlu, 1975).

Deney için kullanılmış su, uygun değerlerde ise, sonda 28-32 mm'ye kadar inmelidir. Eğer istenilen değerler elde edilmemişse, su miktarı ayarlanarak bu değerler sağlanmaya çalışılmalıdır. Bu değerleri sağlayan su miktarı, o alçı için normal kıvamı değerini verir. Ölçümler sonucunda, Çizelge 3.2'de verilmiş olan değerler elde edilmiştir.



Şekil 3.3 : Vicat Sondası.

Çizelge 3.2 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçının kıvam tayini sonuçları

Numune Kodu	Su/Alçı Oranı (Ağırlıkça)	Süre (dk)	Batma Değeri (mm)
AK50	50/100	3	28
ASÇ50	50/100	3	21
ASÇ60	60/100	3	0

TS EN 13279-1 standardı uyarınca üretilmiş alçı numuneler için yapılmış deneyler sonucunda, normal kıvam oranı 50/100 olarak bulunmuştur. Bu nedenle daha yüksek su/alçı oranına sahip numuneler için kıvam analizi yapılmasına gerek görülmemiştir. deneysel çalışmalarda, kalıplama kolaylığı da gözönüne alınarak, 65/100 su/alçı oranıyla hazırlanmış numuneler üretilmiştir. 65/100 su/alçı oranına sahip numunelerin deney sonuçlarına dikkat çekmek amacıyla, deney sonuçlarının gösterildiği tablolarda, 65/100 su/alçı oranına sahip numunelerin deney sonuçları farklı renkte işaretlenmiştir.

3.1.5 Alçının priz süresi tayini

TS EN 13279-1 standardı yardımı ve Vicat cihazı, cam plaka, master, kronometre ve karıştırıcı kullanarak, alçı numunelerin priz süreleri hesaplanmıştır.

200 gr alçı numunesi, istenilen su/alçı oranında yaklaşık iki dakika karıştırılıp içine su ilave edildikten sonra iki dakika içerisinde vicat halkasının içine yerleştirilmiştir. Halkadan taşan alçı hamuru, yüzeyden masterla sıyrılarak alınmış ve Vicat iğnesi aletinin içine yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 3.4). Sonrasında batma iğnesi yüzeye

getirilip düşmeye bırakılmıştır. Alçının su ile karıştırılmasından iğnenin dibe inmediği ana kadar geçen süre, alçının priz başlangıç süresini verir. Deneye, aynı koşullarda alçının, iğnenin batmasına izin vermeyecek şekilde sertleşmesine kadar devam edilmiştir. Her batma işleminden sonra iğne temizlenip kurutulmuştur. Bu süre içinde, iğnenin batış seviyeleri tespit edilmiş ve priz süresinin ne kadar sürede tamamlandığı belirlenmiştir. Aşağıda Çizelge 3.3'te kartonpiyer alçı ve seperatör çıkışı alçı için priz süresi tayini sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.4 : Vicat İğnesi.

Çizelge 3.3 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin priz ve katılaşma süreleri

Numune Kodu	Su/Alçı Oranı (Ağırlıkça)	Priz Başlangıcı (dk)	Priz Sonu (dk)	Katılaşma Süresi (dk)
AK50	50/100	24	30	6
ASÇ50		7	11	4
AK55	55/100	13	19	6
ASÇ55		2	3	1
AK60	60/100	13	7	4
ASÇ60		9	13	4
AK65	65/100	6	9	3
ASÇ65		5	9	4
AK70	70/100	15	20	5
ASÇ70		6	12	6
AK75	75/100	12	16	4
ASÇ75		6	12	6
AK80	80/100	14	18	4
ASÇ80		14	23	9

Kartonpiyer alçı ve seperatör çıkışı alçı için yapılmış priz süresi deneylerine göre, katılaşma sürelerinin, 1 dakika ile 9 dakika arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu

priz ve katılaşma sürelerinin alçı numunesi hazırlama sürecindeki karıştırma ve kalıpma aşamaları için yetersiz olduğu belirlenmiş olup, deneyler kapsamında, priz geciktirici katkı malzemesinin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.1.6 Alçı numunelerin sertlik deneyi

Sertlik deneyi, Şekil 3.5'te görülmekte olan yük uygulama tertibatı ile yapılmıştır. Numunenin kalıptan çıkan boyuna iki yan yüzü üzerindeki dört farklı noktaya, yüzeye dik olarak sabit yük uygulayarak numunelerin sertlik değerleri belirlenmiştir. Test sırasında kuvvet uygulanan noktalar arasındaki mesafe, yan yüz uzunluğunun dörtte biri kadar, fakat en dıştaki noktaların iki uçtan en az 20 mm mesafede olacak şekilde belirlenmiştir. İlk olarak 10 N değerinde bir yük uygulandıktan sonra iki saniye içinde kuvvet $200 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$ 'a çıkarılıp 15 saniye uygulandıktan sonra oluşan baskı iz derinliği ölçülmüştür.



Şekil 3.5: Yük uygulama (Shore D) tertibatı.

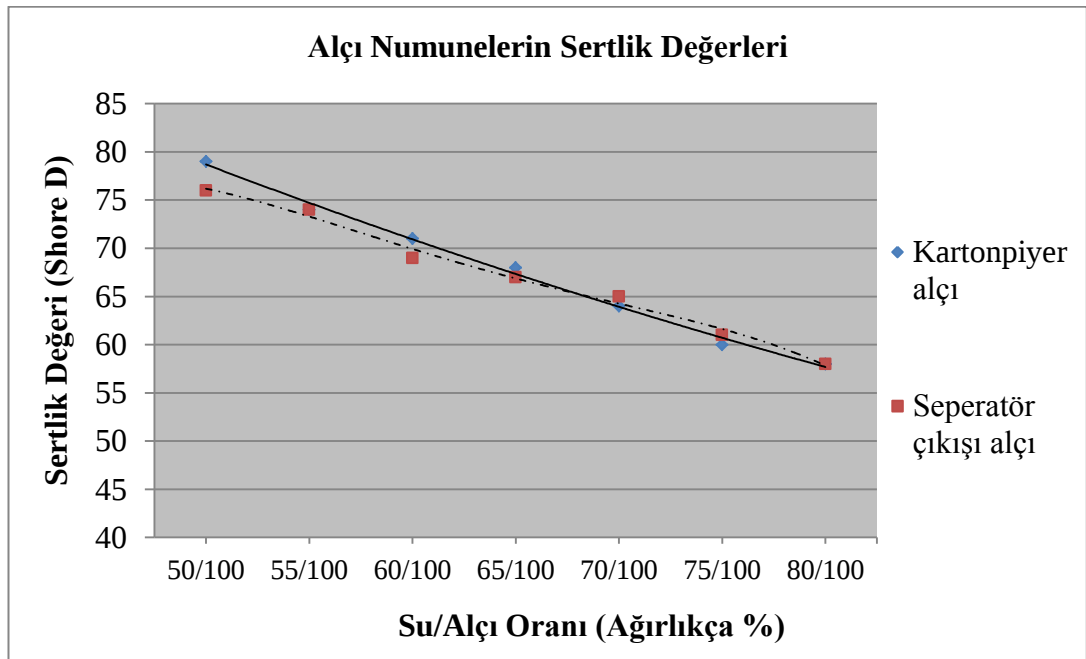
Alçı numunelerin sertlik deneyi sonuçlarının verildiği Çizelge 3.4'te, su/alçı oranı arttıkça, malzemenin yüzey sertlik değerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni ise, numunenin su oranının artmasıyla, kurutulduktan sonra, içindeki boşluk miktarının artmasıdır.

Alçı için TS EN 13279-1 standardında verilmiş en düşük sertlik değeri 10'dur. Bütün alçı numunelerin ise standartta istenilen sertlik değerini sağladığı görülmektedir. 65/100 su/alçı oranına sahip kartonpiyer alçı numunelerin sertlik değeri 68 iken seperatör çıkışı alçı numunelerin sertlik değeri 67'dir. Su/alçı oranının artışına bağlı

olarak alçı numunelerin sertlik değerleri azalmaktadır. Şekil 3.6’da bu sonuçların grafiksel olarak değişimi görülmektedir.

Çizelge 3.4 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin sertlik değerleri

Su/Alçı Oranı (Ağırlıkça)	Kartonpiyer Alçı Numunelerin Sertlik Değeri (Shore D)	Seperatör Çıkışı Alçı Numunelerin Sertlik Değeri (Shore D)
50/100	79	76
55/100	74	74
60/100	71	69
65/100	68	67
70/100	64	65
75/100	60	61
80/100	58	58



Şekil 3.6 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin sertlik değerleri.

3.1.7 Alçı numunelerin buhar geçirgenlik deneyi

Daire şeklinde, 7 cm çapında ve 2 cm kalınlığındaki alçı numuneler, buhar geçirgenlik deneyi için 50°C’deki etüvde kurutulduktan sonra, ortam nemli ağırlığa ulaşması için bir gün ortamda bırakılmıştır. Deney düzeneğini oluşturan plastik bardakların tabanına, genişleştirilmiş polistren yerleştirilip üzerleri CaCl_2 ile doldurulmuştur. Ortam nemli ağırlığa ulaşmış alçı numuneler, CaCl_2 arasında 10 mm hava boşluğu kalacak şekilde plastik bardağa parafin ile sabitlenmiştir. İçerisindeki

sıcaklık ve nem değişimlerinin düzenli olarak kaydedildiği desikatörlerin içine yerleştirilmiş numunelerin ağırlık değişimleri, her 24 saatte bir, 5 haneli hassas terazide tartılmıştır (Özgünler, 2007). Şekil 3.7’de buhar geçirgenlik deneyi düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.7: Buhar geçirgenlik deneyi düzeneği.

Deneyler sonucunda elde edilen veriler, aşağıda verilmiş olan Formül 3.1, Formül 3.2 ve Formül 3.3 yardımıyla hesaplanmış ve alçı numunelerin buhar difüzyon direnç faktörleri belirlenerek Çizelge 3.5’te tablolastırılmıştır.

$$\delta_H = \frac{0,083}{R_B \times T} \times \frac{P_o}{P} \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81} \quad (3.1)$$

δ_H : Havanın su buharı difüzyon direnci,

R_B : Su buharı gaz sabiti (462 Nm/kg⁰K),

T : Hava sıcaklığı (°K),

P : Ortalama hava basıncı (mmHg),

P_o : Normal atmosfer basıncı (mmHg),

$$\mu = \frac{1}{d_{ort}} \left(\delta_H \times A \times \frac{P_2 - P_1}{G} - d_H \right) \quad (3.2)$$

μ : Buhar difüzyon direnç faktörü,

d_{ort} : Numune kalınlığı (m),

A : Su buharı geçişinin olduğu numunenin yüzey alanı (m²),

P_1 : Dış su buharı basıncı (Pascal),

P_2 : İç su buharı basıncı (Pascal),

d_H : Numune ile bardak içindeki CaCl_2 arasında kalan boşluğun kalınlığı (m),

G : Su buharı geçiş oranı (kg/saat),

$$G = \frac{F_{ort}}{t} \quad (3.3)$$

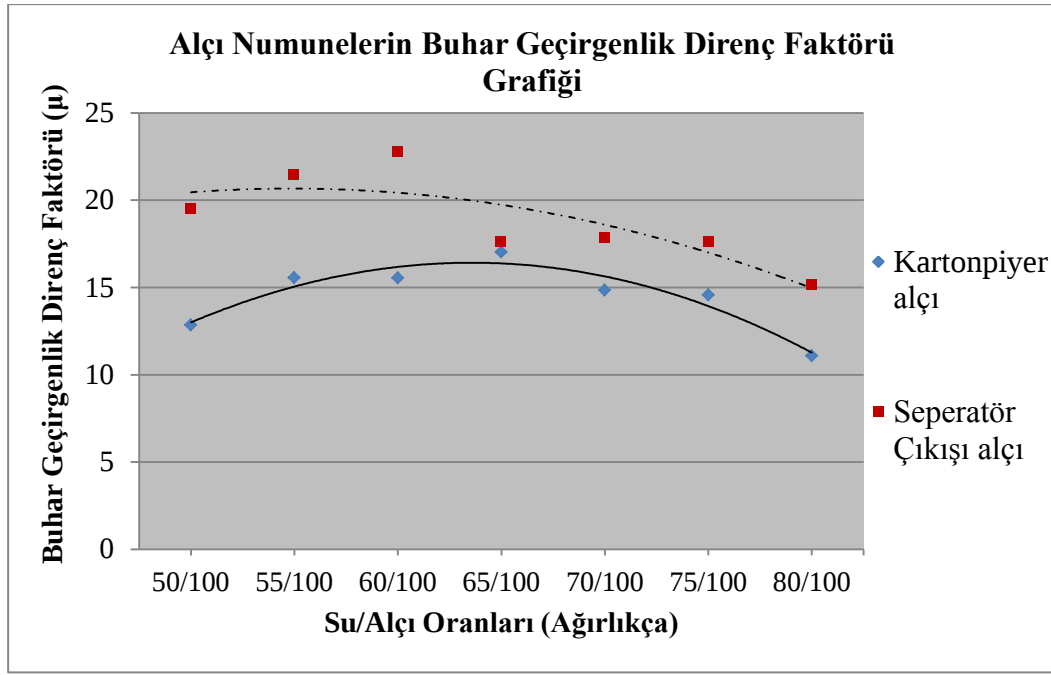
F_{ort} : Numunelerin iki ölçüm arasındaki ağırlık farkları (kg),

t : İki ölçüm arasında geçen süre (saat),

Çizelge 3.5 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin buhar geçirgenlik direnç faktörü sonuçları

Su/Alçı Oranı (Ağırlıkça)	Kartonpiyer Alçı Numunelerin μ Değeri	Seperatör Çıkışı Alçı Numunelerin μ Değeri
50/100	12,84	19,5
55/100	15,56	21,43
60/100	15,54	22,75
65/100	17,02	17,6
70/100	14,85	17,83
75/100	14,56	17,61
80/100	11,08	15,13

Çizelge 3.5 ve Şekil 3.8’de verilmiş olan farklı su/alçı oranlarındaki alçı numunelere ait buhar geçirgenlik direnç faktörü grafiği incelendiğinde, alçı numunelerin su/alçı oranı arttığında, μ değerlerinin azaldığı görülmektedir. En yüksek buhar geçirgenlik direnç faktörü değerinin, 50/100 su/alçı oranına sahip kartonpiyer alçı numunelere ait olduğu tespit edilmiştir. Bütün alçı numunelerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerlerinin birbirine çok yakın olduğu da grafikte görülmektedir.



Şekil 3.8 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerleri.

3.1.8 Alçı numunelerin ultrases geçiş hızı deneyi

Etüvde kurutulup bir gün dışarıda bekletilerek ortam nemli ağırlığına ulaşmış 4x4x16 cm boyutlarındaki prizmatik alçı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri, PROCEQ marka, dijital, TICO ultrases cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Numunenin bir yüzeyine ultrases yayan verici, diğer paralel yüzeyine ise ses dalgalarını alan alıcı yerleştirilmiş, bu sayede sesin vericiden çıkıp alçıya ulaştığı süre bulunarak, ses dalgalarının numune içindeki ses geçiş hızları belirlenmiştir. Alçı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri.

Su/Alçı Oranı	Kartonpiyer Alçı (AK) Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değeri (km/sn)	Seperatör Çıkışı Alçı (ASÇ) Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değeri (km/sn)
50/100	2,74	2,67
55/100	2,57	2,69
60/100	2,54	2,59
65/100	2,50	2,53
70/100	2,31	2,52
75/100	2,24	2,35
80/100	2,28	2,33

İçerdiği boşluk oranının, ultrases geçiş hızı değerini etkilediği görülen alçı numuneler arasında 50/100 su/alçı oranındaki kartonpiyer alçı numunelerin en yüksek ultrases geçiş hızına sahip olduğu görülmektedir. En düşük değerin ise 2,24 km/sn ile 75/100 su/alçı oranına sahip kartonpiyer alçı numuneye ait olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre alçı numunelerin su/alçı oranları azaldıkça, ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı söylenebilir.

3.1.9 Alçı numunelerin rötre deneyi

Rötre, malzemenin katılaştıktan sonra hacimce azalması, diğer ifadeyle büzülmesi durumudur (Yatağan, 2010). Rötre ölçümleri Şekil 3.9’da verilmiş olan, 0,01 mm hassasiyetli kompratörlü rötre aletiyle 4x4x16 cm boyutlarında üretilmiş alçı numunelerle yapılmıştır. Üretim sırasında pimler, kalıpların içine, numunelerin kare yüzeylerinin üzerine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Kalıptan çıkarılmış numunelerin ilk tartım ve rötre ölçümleri yapıldıktan sonra, klimalı özel bir odaya alınmış ve her gün aynı saatte, odanın nem ve sıcaklık değeri de ölçülerek rötre ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.9 : Rötre aleti ve tartı.

Alçı numunelerin rötre değerleri, Formül 3.4 yardımıyla hesaplanmıştır. Seperatör çıkışı ve kartonpiyer alçı numunelerin ağırlık kaybı değerleri Çizelge 3.7’de, rötre ölçüm sonuçları ise Çizelge 3.8’de verilmiştir.

$$r = \frac{\Delta l}{l_1} (\%) \quad (3.4)$$

r: Alçı numunenin rötresi (%)

Δl : Alçı numunenin kalıptan çıkarılmasıyla, ortam nemli durumdaki boyuna gelmesinde boyda saptanmış değişim (mm)

l_1 : Alçı numunenin başlangıçtaki ölçüm boyu (mm)

Çizelge 3.7 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin ağırlık kaybı değerleri.

Su/Alçı Oranı	Kartonpiyer Alçı Numunelerin Ağırlık Kaybı Değerleri (%)	Seperatör Çıkışı Alçı Numunelerin Ağırlık Kaybı Değerleri (%)
50/100	20,8	19,4
55/100	23,8	21,8
60/100	25,8	25,5
65/100	27,3	27,4
70/100	30	28,8
75/100	32,6	31
80/100	32,1	33,1

Kartonpiyer alçı ve seperatör çıkışı alçı numunelerin rötre ölçüm sonuçları incelendiğinde, 24 günlük ölçümler sonucunda numunelerin benzer davranışlar sergilediği görülmüştür. Rötre ölçümlerinin yapıldığı ilk hafta sonunda, numunelerde boyca uzama, sonraki haftalarda ise büzülme meydana geldiği tespit edilmiştir. Alçı numunelerin ağırlık kaybı değerleri, su oranının artmasına bağlı olarak artmıştır. En yüksek ağırlık kaybı değerleri, bünyesinde daha fazla su içeren alçı numunelerde belirlenmiştir.

Çizelge 3.8 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin rötre değerleri.

Su/Alçı Oranı	Kartonpiyer Alçı (AK) Numunelerin Rötre Değerleri (%)	Seperatör Çıkışı Alçı (ASÇ) Numunelerin Rötre Değerleri (%)
50/100	-0,000094	-0,000375
55/100	-0,000052	-0,000313
60/100	0,000146	0,000042
65/100	-0,000125	-0,000021
70/100	-0,000042	-0,000146
75/100	-0,000115	-0,000042
80/100	0,000167	-0,000094

3.1.10 Alçı numunelerin kapiler su emme deneyi

Kapiler, diğer adıyla kılcal su emme, cismin taban yüzeyinin suya değdirilmesi sonucunda suyun, kılcallık yoluyla, malzeme içindeki boşluklar yoluyla zamana bağlı olarak yükselmesi olayıdır. Birimi $\text{cm}^3/\text{cm}^2\sqrt{\text{dak}}$ veya $\text{cm}^3/\text{cm}^2\sqrt{\text{sn}}$ 'dir (Toydemir ve diğ., 2000; Onaran, 1995).

Kılcal su emme deneyi için, 4x4x16 cm boyutlarında üretilmiş numuneler etüvde 40°C'de kurutulduktan sonra dış ortamda bir gün bırakılmış ve deney sırasında suya değecek alt yüzeyleri parafinle kaplanmıştır. Mesnet olarak kullanılan demir tel çerçeve, içine bir miktar su koyulmuş kaba yerleştirildikten sonra, numunelerin sadece alt tabanları değecek şekilde tel üzerine yerleştirilmiş ve belirli aralıklarla tartılmıştır (Bulut, 2007). Şekil 3.10'da deney düzeneği ve su içindeki numuneler görülmektedir. Formül 3.5 yardımıyla numunelerin, kapiler su emme değeri hesaplanmıştır.

$$N = \frac{m_1 - m_0}{A\sqrt{t}} \quad (3.5)$$

N: Kapiler su emme katsayısı ($\text{cm}^3/\text{cm}^2\sqrt{\text{dak}}$)

M: Numunelerin ortam nemli ağırlığı (gr)

m_0 : Numunelerin ilk ağırlıkları (gr)

m_1 : Numunelerin belirli zaman aralıkları sonundaki ağırlıkları (gr)

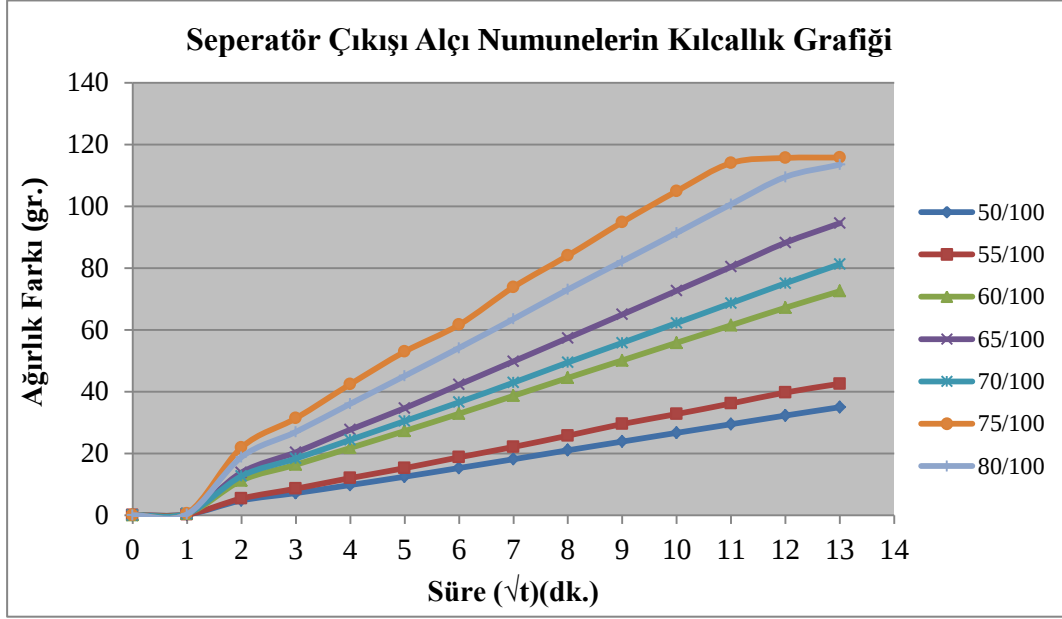
A: Numunelerin suya değen taban alanları (cm^2)

t: Numunelerin suyla temas ettiği süre

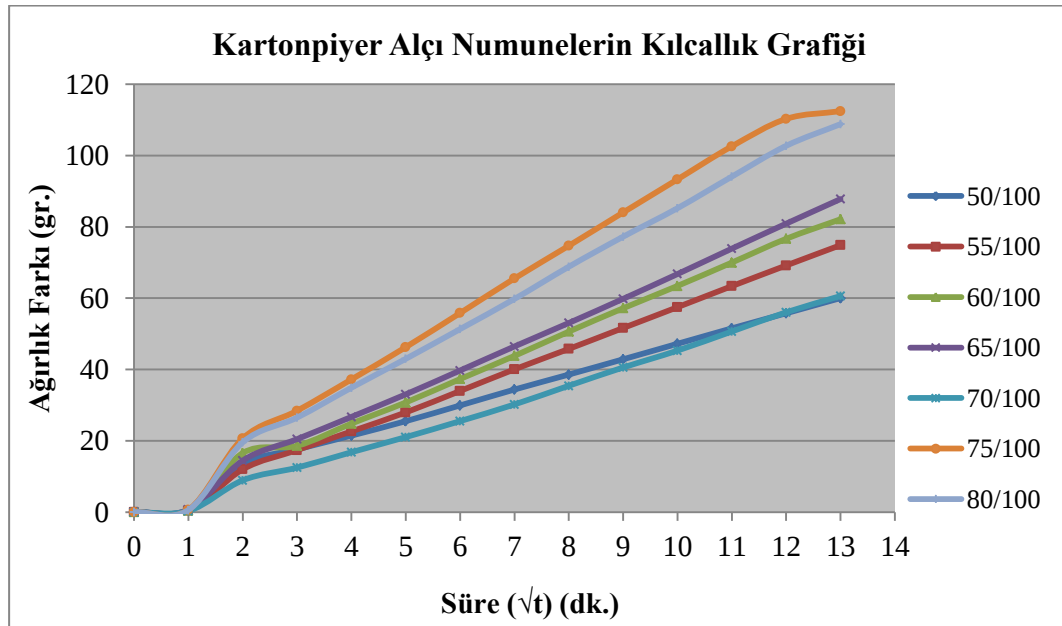


Şekil 3.10 : Kapiler su emme deney düzeneği.

Alçı numunelerin zamana bağlı kılcallık grafikleri, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de görülmektedir. Alçı numunelerin su/alçı oranı arttıkça, ağırlık farklarında artış tespit edilmiştir. En düşük ağırlık farkı değerinin 50/100 su/alçı oranına sahip seperatör çıkışı alçı numunelere ait olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, 50/100 su/alçı oranına sahip alçı numunelerin bünyesindeki boşluk oranının, diğer alçı numunelerden daha az olmasıdır. Benzer sonuçlar kartonpiyer alçı numunelerde de gözlenmiştir.



Şekil 3.11 : Seperatör çıkışı alçı numunelerin kılcallık grafiği.



Şekil 3.12 : Kartonpiyer alçı numunelerin kılcallık grafiği.

3.1.11 Alçı numunelerin su emme deneyi

Alçı numuneler kılcallık deneyinden sonra su emme deneyi için kullanılmıştır. Alçı numuneler 48 saat 20°C'deki içi su dolu kaptan, bütün yüzeyi suyla temas edecek şekilde bekletilmiştir. Suyu doymuş hale getirilmiş alçı numuneler Arşimet terazisiyle su içinde tartılmıştır. Su emme deneyi sonucu elde edilmiş değerler, Formül 3.6, Formül 3.7 ve Formül 3.8 ile hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da tablolastırılmıştır.

$$S_a = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100 \quad (3.6)$$

$$d = \frac{P_0}{a \times b \times L} \quad (3.7)$$

$$d = \frac{P_0}{P_1 - P_2} \quad (3.8)$$

S_a: Su emme yüzdesi (%)

P₀: Ortam nemli ağırlığı (gr)

P₁: Suyu doymuş ağırlığı (gr)

P₂: Su içindeki ağırlığı (gr)

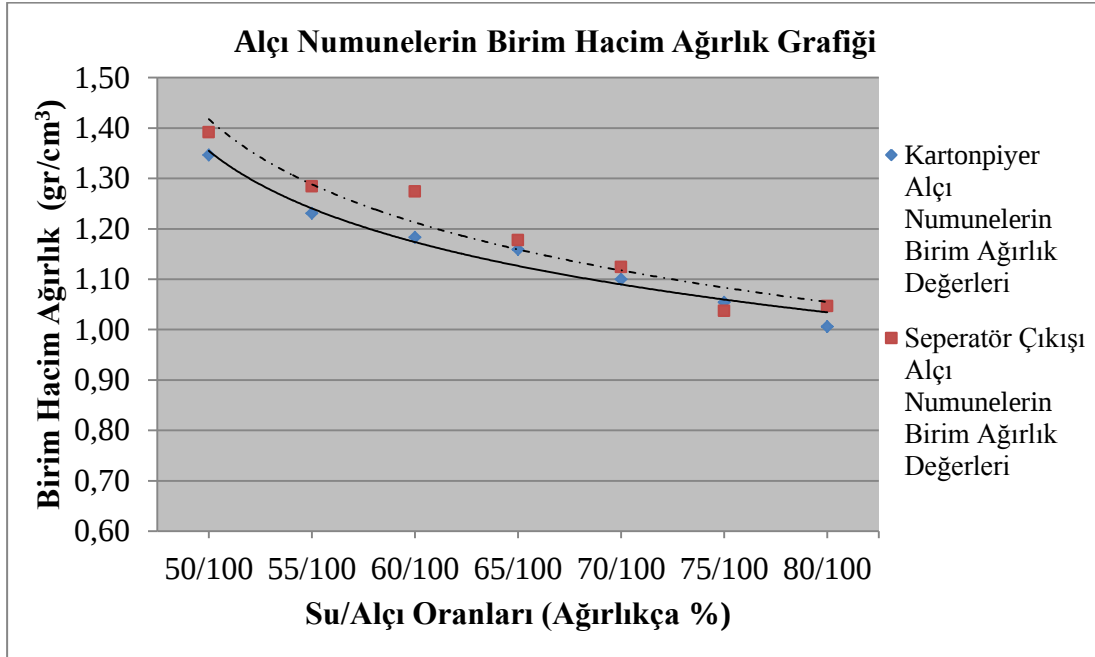
d: Birim hacim ağırlık (gr/cm³)

Çizelge 3.9 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin birim ağırlık değerleri

Su/Alçı Oranı (Ağırlıkça)	Kartonpiyer Alçı (AK) Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değerleri (gr/cm ³)	Seperatör Çıkışı Alçı (ASÇ) Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değerleri (gr/cm ³)
50/100	1,37	1,39
55/100	1,23	1,28
60/100	1,18	1,27
65/100	1,16	1,18
70/100	1,10	1,12
75/100	1,05	1,04
80/100	1,01	1,05

Su emme deneyi sonuçları incelendiğinde, alçı numunelerin su/alçı oranı arttıkça, su emme yüzdelerinin arttığı, fakat birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 3.13). Bu durum, numunelerin su/alçı oranının artması sonucunda daha boşluklu bir yapı kazandıklarını göstermektedir. Bu veriler, aynı zamanda ultrases geçiş hızı ölçümleri sonucunda elde edilen değerlerle de

uyumludur. Ultrases geçiş hızı ölçümlerinde de su oranının artmasıyla alçı numunelerin daha boşluklu yapıda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.13 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin birim hacim ağırlık grafiğı.

Çizelge 3.10 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri.

Su/Alçı Oranı (Ağırlıkça)	Kartonpiyer Alçı Numunelerin Su Emme Yüzdeleri (%)	Seperatör Çıkışı Alçı Numunelerin Su Emme Yüzdeleri (%)
50/100	25	21
55/100	29	23
60/100	31	28
65/100	32	33
70/100	39	35
75/100	42	43
80/100	46	43

3.1.12 Alçı numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi

Eğilmede çekme dayanımı deneyi, Şekil 3.14’te görülen, Seidner firmasının 200 kN yük uygulayabilen Form Test basınç pres ve 10 kN yük uygulayabilen eğilme pres ile Şekil 3.15’te verilmiş 4x4x16 cm boyutlarındaki alçı numuneler üzerinde yapılmıştır.

Mesnet açıklığı 100 mm olarak belirlenmiştir. Mesnetler üzerinde yerleştirilen numunenin tam ortasından yükleme yapılmış ve yükleme işlemine numunenin kırılmasına kadar devam edilmiştir. Alçı numunelerin kırılması için gerekli olan P yükü belirlenerek, aşağıda verilmiş Formül 3.9 yardımıyla alçı numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri Çizelge 3.11’de grafikleştirilmiştir.



Şekil 3.14 : Eğilme presi ve 4x4x16 cm boyutlu prizmatik alçı numune.



Şekil 3.15 : Eğilme presi.

$$\sigma_{\text{eğilme}} = \frac{3}{2} \times \left(\frac{Pxl}{bxh^2} \right) \quad (3.9)$$

$\sigma_{\text{eğilme}}$: Eğilme dayanımı (N/mm²)

P: Kırılma anındaki yük (N)

l: Mesnetler arası açıklık (mm)

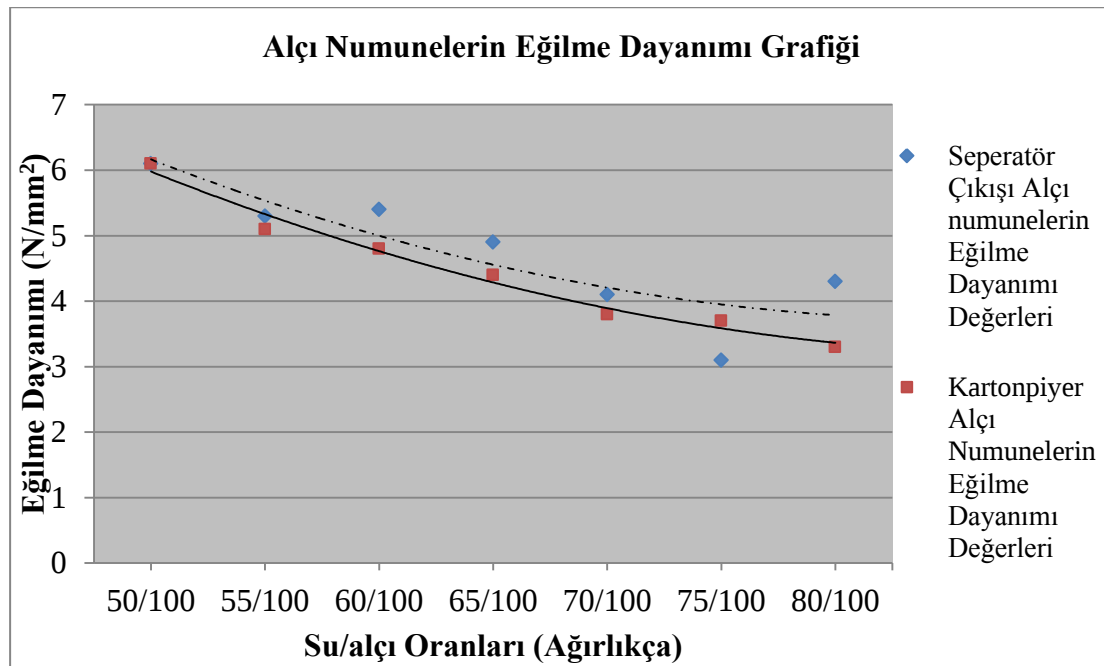
b: Kırılma kesitinin genişliği (mm)

h: Kırılma kesitinin yüksekliği (mm)

Çizelge 3.11 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin eğilme dayanımı değerleri.

Su/Alçı Oranı (Ağırlıkça)	Kartonpiyer Alçı (AK) Numunelerin Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Seperatör Çıkışı Alçı (ASÇ) Numunelerin Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
50/100	6,1	6,1
55/100	5,2	5,3
60/100	4,8	5,4
65/100	4,4	4,9
70/100	3,8	4,1
75/100	3,7	3,1
80/100	3,3	4,3

Kartonpiyer alçı numunelerin eğilme dayanımı sonuçlarına göre, numunelerin su/alçı oranlarının azalmasıyla eğilme dayanımları artmaktadır. Alçı numunelerin su/alçı oranlarının azalmalarına bağlı olarak değişen eğilme dayanım değerleri, aşağıda Şekil 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.16 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin eğilme dayanımı grafiği.

Kartonpiyer alçı numunelerin eğilme dayanımı grafiğinde, su/alçı oranının azalmasıyla orantılı olarak numunelerin eğilme dayanım değerlerinde gözlenen düşüş, seperatör çıkışı alçı numunelerin eğilme dayanım sonuçlarında da benzer

şekildedir. Kartonpiyer alçı ile üretilmiş numuneler içinde en yüksek eğilme dayanımı değeri 50/100 su/alçı oranına sahip karışımda elde edilmiştir. Bu karışımda eğilme dayanımı $4,3 \text{ N/mm}^2$ olarak tespit edilmiş olup, bu sonuç aynı zamanda literatürdeki verilerle de uygundur (Parres ve diğ., 2009). Seperatör çıkışı alçı numuneler içinde en yüksek eğilme dayanımı değeri, kartonpiyer alçı numunelerle benzer şekilde 50/100 su/alçı oranına sahip karışımda elde edilmiştir. En düşük eğilme dayanımı değeri ise 75/100 su/alçı oranına sahip karışımında saptanmıştır.

3.1.13 Alçı numunelerin basınç dayanımı deneyi

Alçı numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi için, daha önceden, eğilme dayanımı deneyinden kalan ve iki parçaya ayrılmış numuneler basınç presinde kullanılmıştır (Bkz. Şekil 3.17).



Şekil 3.17 : Basınç presi.

Yükleme hızının sabit olduğu deneylerde numune kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilmiş ve kırılma anındaki en yüksek yük kayıt edilerek, numunenin dayanabileceği en yüksek basınç gerilmesi tespit edilmiştir. Formül 3.10 yardımıyla, alçı numunelerin basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır.

$$\sigma = P/A \quad (3.1)$$

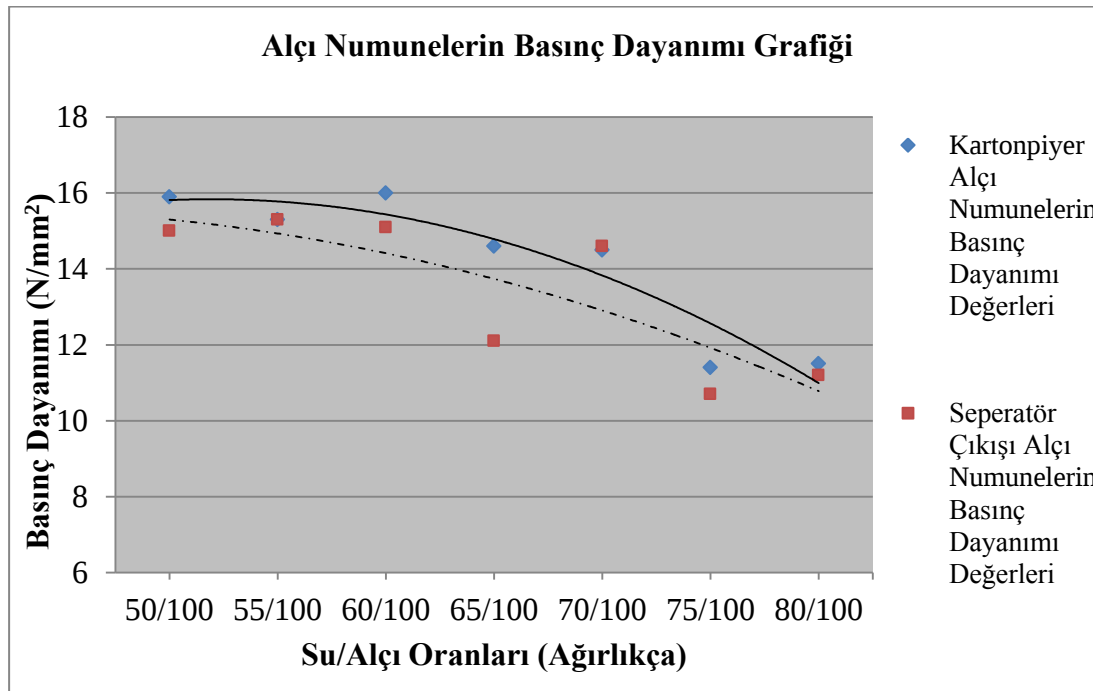
σ : Basınç dayanımı (N/mm^2)

P: Kırılma yükü (N)

A: Yükleme yapıldığı kesit alanı (mm^2)

Çizelge 3.12 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin basınç dayanımı değerleri

Su/Alçı Oranı (Ağırlıkça)	Kartonpiyer Alçı Numunelerin Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Seperatör Çıkışı Alçı Numunelerin Basınç Dayanımı (N/mm ²)
50/100	15,9	15
55/100	15,3	15,3
60/100	16	15,1
65/100	14,6	12,1
70/100	14,5	14,6
75/100	11,4	10,7
80/100	11,5	11,2



Şekil 3.18 : Kartonpiyer ve seperatör çıkışı alçı numunelerin basınç dayanımı grafiği.

Seperatör çıkışı alçı numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde (Bkz. Şekil 3.18 ve Çizelge 3.12) su/alçı oranının artmasıyla, numunelerin basınç dayanımında bir miktar düşüş görülmektedir. Benzer sonuçlar kartonpiyer alçı numunelerin basınç dayanımında da gözlenmektedir. En düşük basınç dayanımı değeri, su/alçı oranının en fazla olduğu alçı numunelerdedir. Her iki alçı türü karşılaştırıldığında, benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Kartonpiyer alçı numuneler arasında en düşük basınç dayanımı değerinin 11, 5 N/mm² ile su/alçı oranının 80/100 olduğu numunelerde, en yüksek basınç dayanımı değerinin ise

16 N/mm² ile 60/100 su/alçı oranına sahip numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Seperatör çıkışı alçı numuneler için ise en yüksek değer 15,1 N/mm² ile 60/100 su/alçı oranında, en düşük değer ise 10,7 N/mm² ile 75/100 su/alçı oranlı numunelerde olduğu belirlenmiştir. Alçı karışımların içindeki su oranının artmasıyla gözeneklilik artmış, buna bağlı olarak basınç dayanımında düşüş görülmüştür ki bu da beklenen bir durumdur.

3.1.14 Alçı numunelerin taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)

Tez çalışması kapsamında, SEM analizleri, alçı numunelerden alınmış parçacıkların üzerleri altınla kaplanarak, İtalya, Trento Üniversite'sinde, Zeiss marka FE-SEM Supra 40 taramalı elektron mikroskobu yardımıyla yapılmıştır (Bkz. Şekil 3.19)

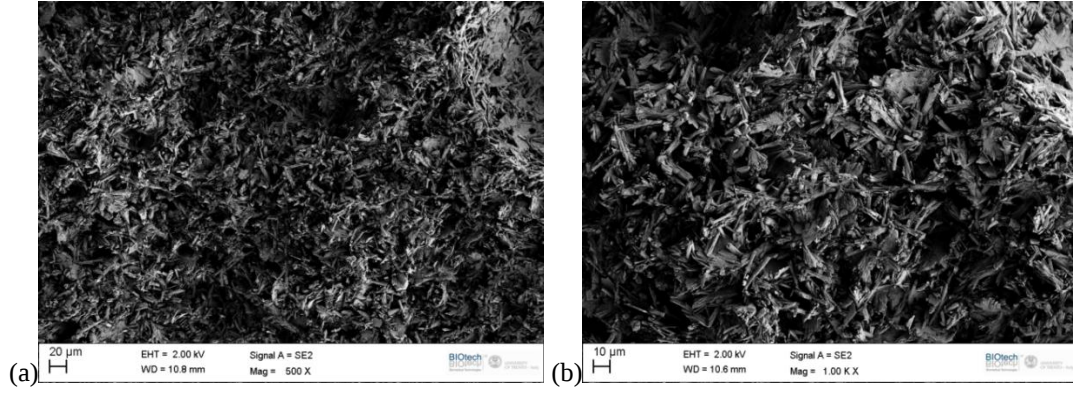


Şekil 3.19 : Taramalı elektron mikroskobu, Trento, İtalya.

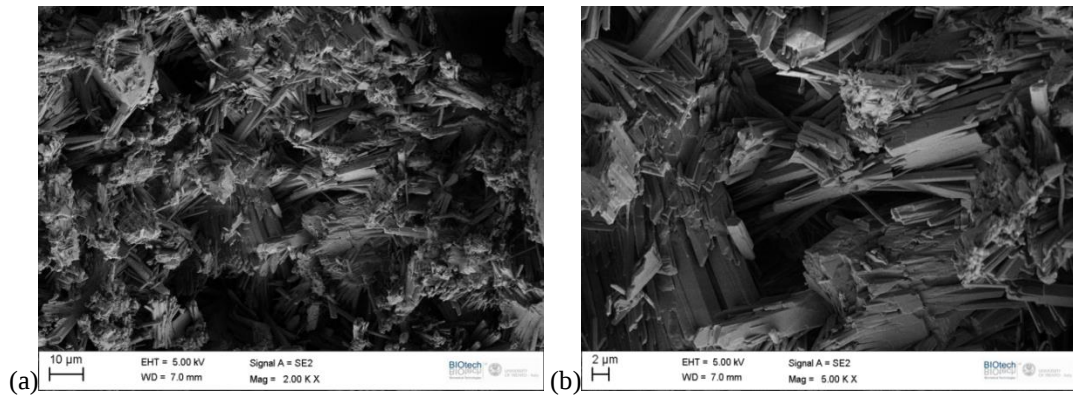
SEM analizleri sonucunda alçı ve rPET liflerinden elde edilmiş görüntüler aşağıda Şekil 3.20-22'de verilmiştir. Alçının hidrasyon sonucunda, kristal ve gözenekli yapıda olduğu ve içinde karmakarışık, rastgele yönelmiş iğne-yapılı küçük kristallerin olduğu gözlenmiştir. Literatür çalışmalarında da benzer sonuçların elde edildiği ifade edilmektedir (Eve ve diğ., 2007).

60/100 su/alçı oranına sahip AK60 kodlu numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 3.20'de verilmiş olup, Şekil 3.20-a'da büyütme oranı 500x, Şekil 3.20-b'de 1000x'tir.

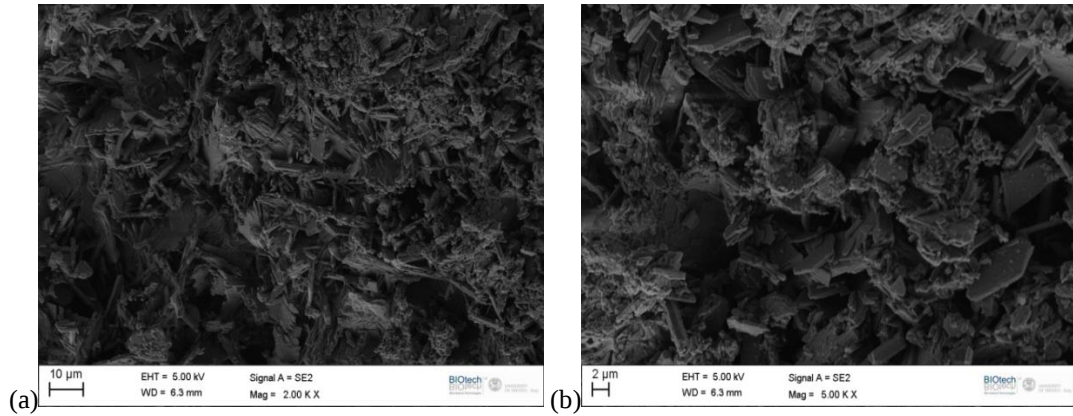
Şekil 3.21 (a)-(b)'de AK65 kodlu ve Şekil 3.22 (a)-(b)'de AK70 kodlu numunelere ait 2.00kx ve 5.00kx oranında büyütülmüş taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları verilmiştir. Alçının iğne benzeri ve boşluklu iç yapısı, SEM fotoğraflarında görülmektedir. Hidrate olmamış alçı granüllerine ise rastlanmamıştır.



Şekil 3.20 : AK60 için (a) 500x, (b) 1.00kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.



Şekil 3.21 : AK65 için (a) 2.00kx, (b) 5.00kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.



Şekil 3.22 : AK70 için (a) 2.00kx, (b) 5.00kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.

3.2 Geri Dönüştürülmüş PET Lifinin Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneysel Çalışmalar

Tez çalışmasının bu bölümünde, “rPET” kısaltmasıyla tanımlanacak geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlendiği deneyler ve sonuçları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. rPET, piyasadan sürekli lif şeklinde 3,3 ve 6,6 dtex çaplarında temin edilmiştir. Deneysel

çalışmalarda, fabrikada üretilmiş sürekli geri dönüştürölmüş PET lifinin, İTÜ Malzeme Laboratuvarında farklı boylarda kuru kesim yöntemiyle kesilmesiyle elde edilmiş kesikli hali kullanılmıştır. Lifler, 23°C ±2°C sıcaklıkta, en fazla %70 bağıl nemli laboratuvar koşullarında incelenmiştir.

3.2.1 rPET lifinin özgül ağırlık tayini

rPET lifinin özgül ağırlık deneyi, Micromeritics AccuPyc 1330 piknometre ile yapılmıştır. rPET lifinin özgül ağırlığı 1,38 gr/cm³ olarak ölçölmüştür. Literatür çalışmalarında PET lifinin özgül ağırlığının 1,36-1,45 gr/cm³ arasında değıştiğı tespit edilmiştir.

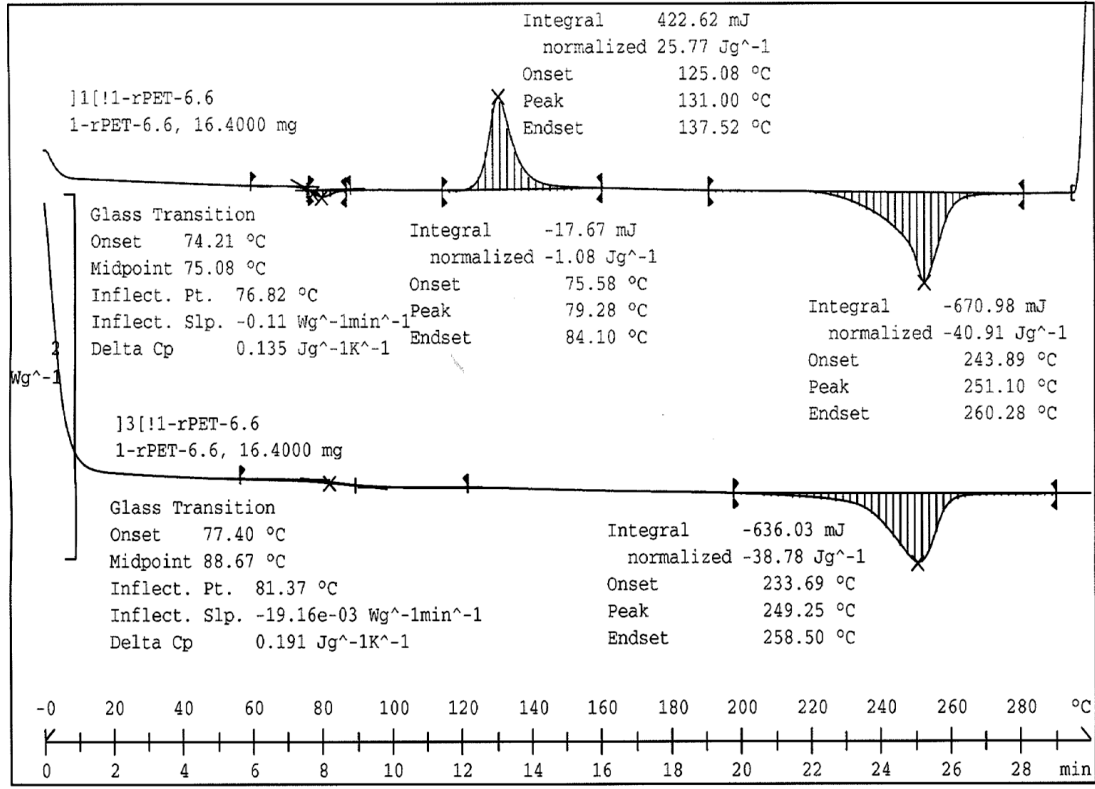
3.2.2 rPET lifinin DSC analizi

rPET lifinin Differential Scanning Calorimetry (DSC) analizi, İtalya Trento Üniversitesi'nin Malzeme Laboratuvarında, TC15 TA Controller ile Mettler DSC 30 cihazı kullanılarak yapılmıştır. DSC analizi özellikle, polimer kökenli malzemelerin farklı aralıklardaki termal davranışlarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu teknikle aynı zamanda malzemelerin bozulmaya başlama sıcaklık dereceleri de belirlenebilmektedir (Parres ve diğ., 2009). Segment gazı olarak N₂, ısıtma hızı 10°C/min., deney sıcaklık aralığı ise önce, 20-200°C; 200-20°C; 20-200°C olarak, ikinci deneyde ise; 0-300°C; 300-0°C; 0-300°C olarak belirlenmiştir. Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te DSC analizi, grafik olarak, Çizelge 3.13'te tablo halinde verilmiştir.

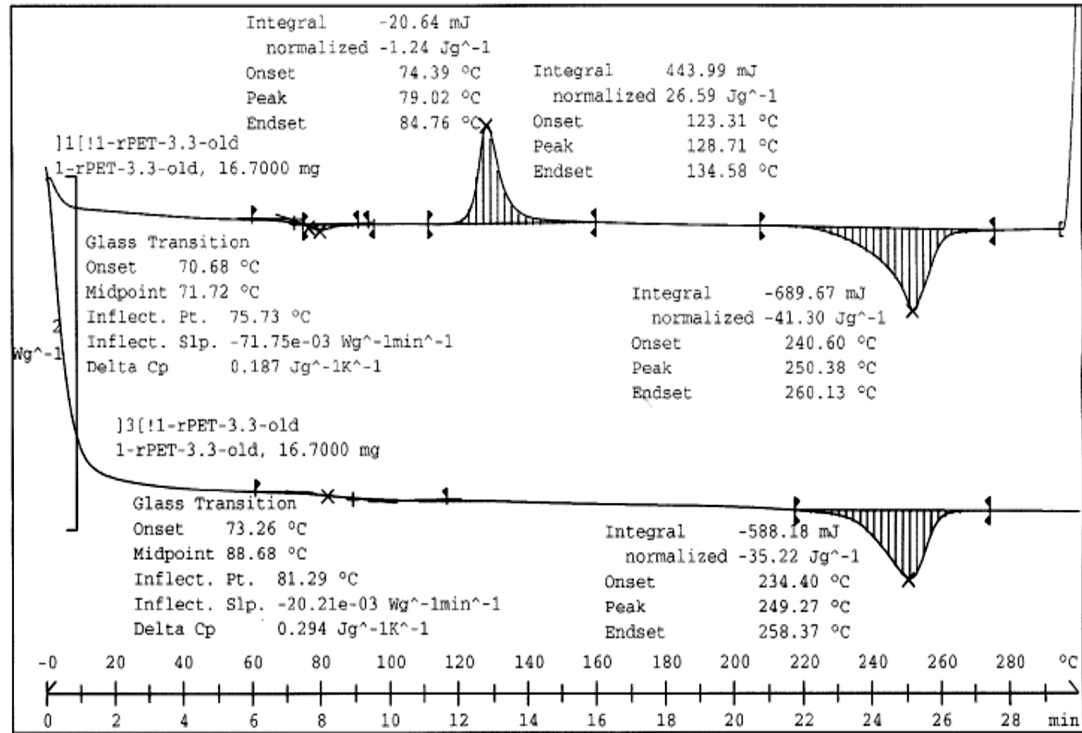
Çizelge 3.13 : rPET liflerine ait DSC analizi sonuçları.

Lif Kalınlığı (dtex)	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Kristalleşme Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)
3,3	76	79	250
6,6	77	79	251

Çizelge 3.13'te göröldüğü gibi rPET liflerine ait camsı geçiş sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığı ve erime sıcaklığı değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. 3,3 dtex rPET lifinin camsı geçiş sıcaklığı 76°C iken, 6,6 dtex rPET lifinin camsı geçiş sıcaklığı 77°C'dir. Kristalleşme sıcaklıkları her iki lif için de 79°C'dir. Erime sıcaklıkları her iki rPET lifi için yaklaşık olarak aynı olup, 3,3 dtex rPET lifi için 250°C iken 6,6 dtex rPET lifi için 251°C'dir. Bu durum, lif kalınlığı-erime sıcaklığı ilişkisinin çok zayıf olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.23 : 6,6 dtex rPET lifi için DSC analizi grafiği.



Şekil 3.24 : 3,3 dtex rPET için DSC analiz grafiği.

3.2.3 rPET lifinin dayanım deneyleri

rPET lifinin dayanım testleri, Şekil 3.25'te verilmiş olan, İtalya'da Trento Üniversite'sinde, Instron 4502 Universal Mechanical Testing Machine kullanılarak yapılmıştır. Lif dayanım deneyleri, 20 cm ve 60 cm uzunluklarındaki 3,3 ve 6,6 dtex rPET lifleri ile yapılmıştır. Lif dayanımının belirlendiği deneysel çalışmada, ilk önce 10 mm/sn hızla yükleme yapılmıştır. Bu hızın yetersiz bulunmasıyla sırayla 30, 100 ve 300 mm/sn hızda deneyler tekrarlanmıştır. rPET liflerinin dayanım deneylerinin sonuçları Çizelge 3.14'te tablolastırılmıştır. Liflere ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri ise Şekil 3.26'da görülmektedir.

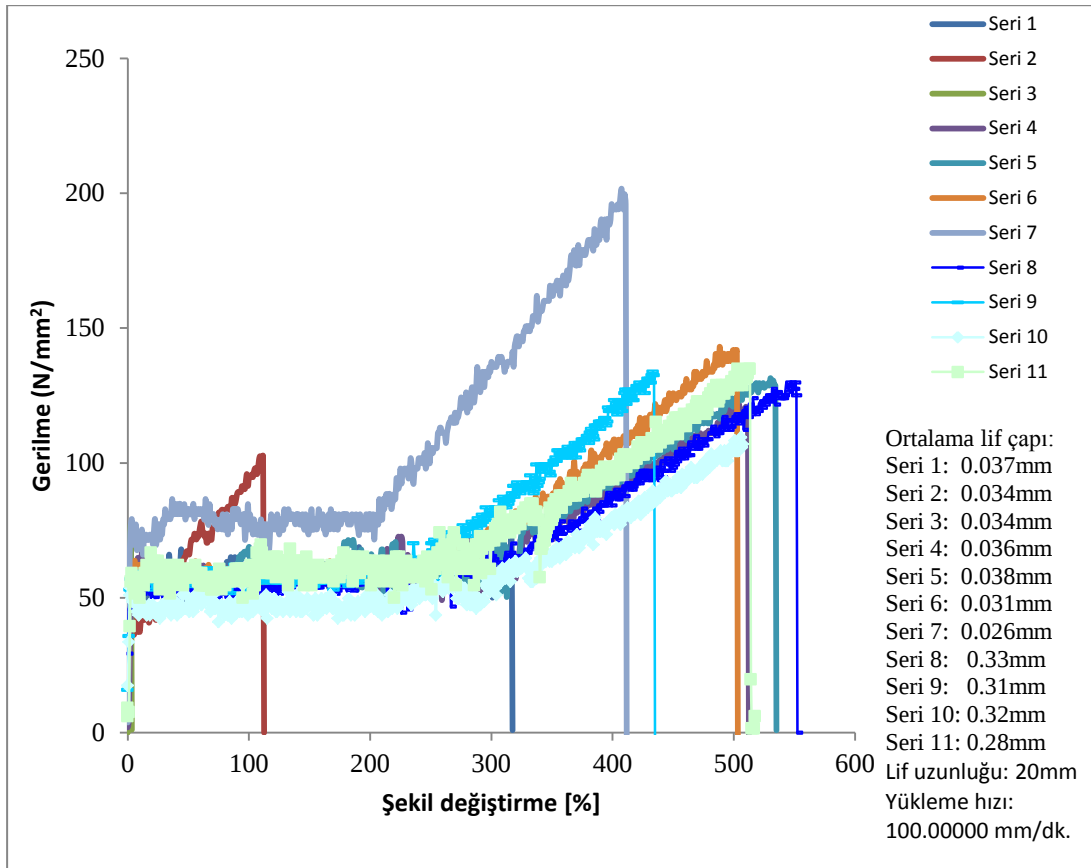


Şekil 3.25 : Universal mekanik dayanım testi makinası.

Çizelge 3.14 : rPET liflerine ait dayanım değerleri.

Deney No	Yükleme Hızı (mm/sn)	rPET (dtex)	rPET Lif Boyu (mm)	Ortalama rPET Lifi Çapı (mm)	Ortalama Şekil Değiştirme (%) (ST. SAP)	Ortalama Gerilim (MPa) (ST. SAP)
1	10	3,3	20	0,034	499	74
2	30			0,028	482	29
3	100			0,033	399 (184)	122 (34)
4	100		60	0,033	256 (184)	80 (30)
5	300			0,032	81 (63)	67 (9)
6	100	6,6	20	0,064	276 (291)	88 (36)
7	100		60	0,066	168(233)	34 (25)
8	300			0,065	58 (105)	62 (9)

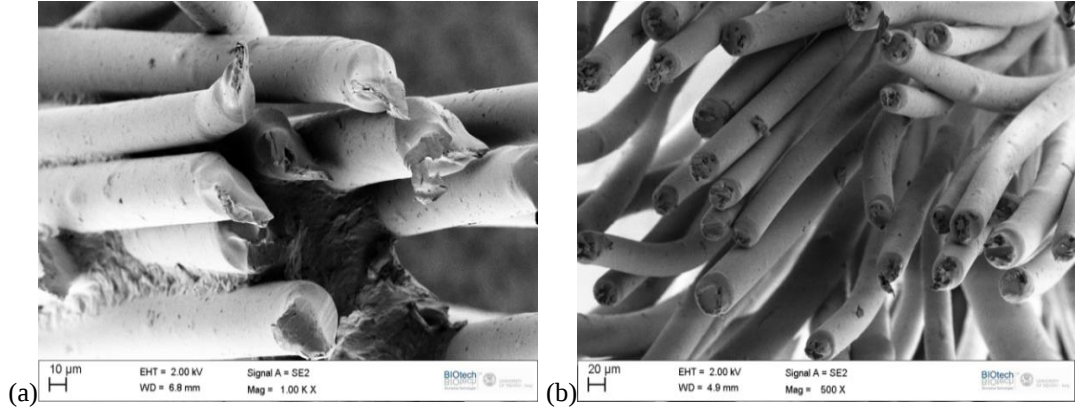
İlk deneyde yükleme hızı 10 mm/sn iken, ikinci ve üçüncü deneyde bu hız sırasıyla 30 ve 100 mm/sn'ye çıkarılmıştır. İlk üç deneyde lif boyu ve çapı sabit olup, birinci ve ikinci deneydeki gerilim yaklaşık %50 azalırken, şekil değiştirme hemen hemen değişmemiştir. Üçüncü deneyde ise gerilim ilk deneye göre yaklaşık iki kat artmış fakat şekil değiştirme %20 azalmıştır. Lif boyunun 60 mm olduğu dördüncü ve beşinci deneyde, gerilim değerleri yakın olmasına rağmen şekil değiştirme dört kat azalmıştır. Daha yüksek hızla, lifler daha kolay kopmuştur. Aynı deneyler 6,6 dtex rPET lifleri ile 100 mm/sn ve 300 mm/sn hızla tekrarlanmıştır. Çizelge 3.14'te, 6 ve 7 nolu deneyler karşılaştırıldığına, 20 mm boyundaki 6,6 dtex rPET lifinin ortalama gerilimi 88 Mpa, şekil değiştirmesi ise %276, 60 mm boyundaki rPET lifinin gerilimi, 20 mm'lik rPET lifine oranla %40 azalarak 34 MPa olmuş, şekil değiştirme ise %168 ölçülmüştür. Hız üç kat artırıldığında, şekil değiştirme üçte iki azalarak %58 olmuş, gerilim yaklaşık iki kat artmıştır. Lif dayanım deneyleri sonucunda genel olarak, yükleme hızı attıkça şekil değiştirmenin azaldığı söylenebilir.



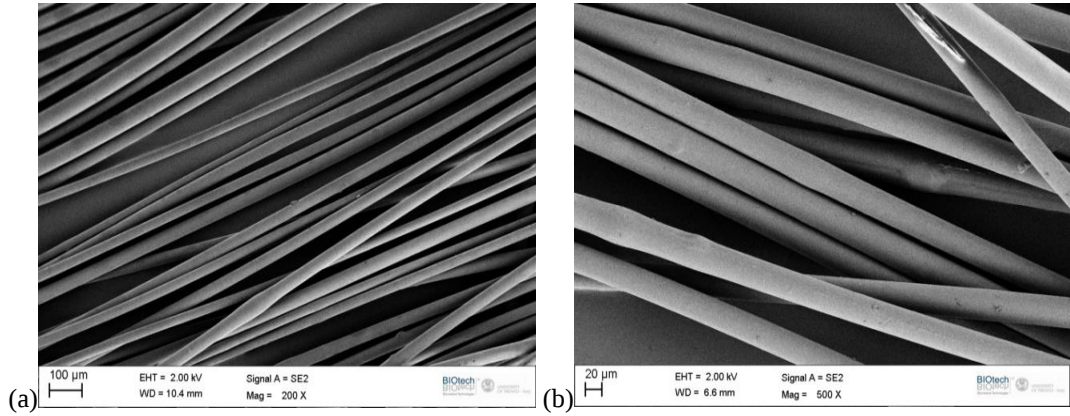
Şekil 3.26 : 3,3 dtex rPET liflerine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.

3.2.4 rPET lifinin taramalı elektron mikroskobu analizi

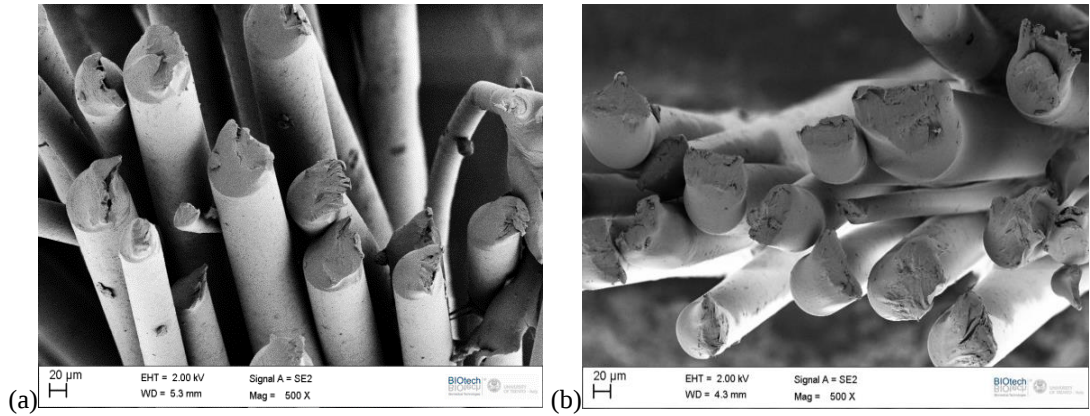
3,3 dtex rPET lifine ait enine kesit ve boyca taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de verilmiştir.



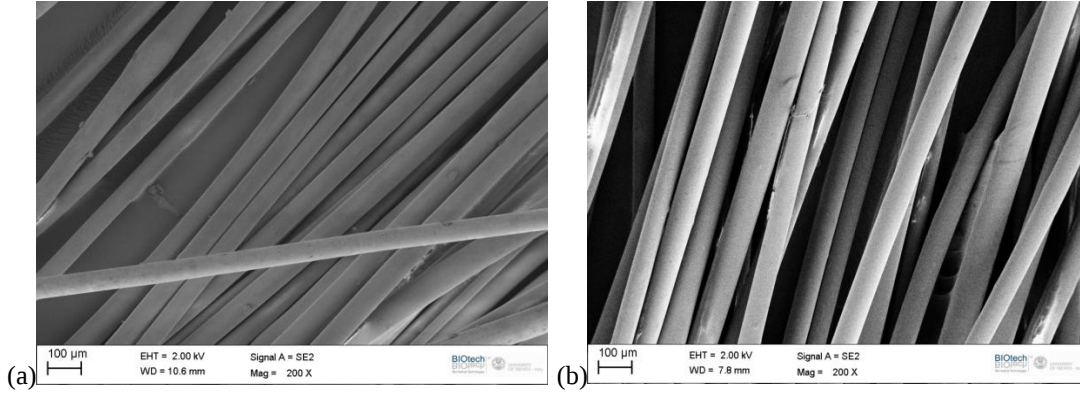
Şekil 3.27 : 3,3 dtex rPET lifinin enine kesit SEM fotoğrafları (a)1.00kx, (b)500x büyütme.



Şekil 3.28 : 3,3 dtex rPET lifinin boyuna SEM fotoğrafları (a) 200x, (b) 500x büyütme.



Şekil 3.29 : 6,6 dtex rPET lifi enine kesit SEM fotoğrafları (a) 500x, (b) 500x büyütme.



Şekil 3.30 : 6,6 dtex rPET lifi boyuna SEM fotoğrafları (a) 200x, (b) 200x büyütme.

Enine kesit görüntüleri incelendiğinde, rPET liflerinin dairesel kesite sahip olduğu görülmektedir. 3,3 dtex rPET lifinin boyuna fotoğrafları ise 200x ve 500x büyütmeyle çekilmiştir. 6,6 dtex rPET lifine ait SEM fotoğrafları Şekil 3.29 ve Şekil 3.30’da verilmiştir. rPET lifinin boyuna fotoğraflarında bazı liflerin çaplarının, diğer liflerden daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durum ise üretim sırasında yapılan hatalardan kaynaklanmaktadır.

3.2.5 Alt bölüm sonucu

İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarında, ilk deneyler kapsamında, alçı kompozitler içinde kullanılacak alçıya ait fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlendiği deneyler yapılmıştır. Alçı deneyleri TS EN 13279-1 standardında tanımlanmış yöntemlere uygun olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılacak alçı türünün belirlenmesi için hem kartonpiyer alçının, hem de seperatör çıkışı alçının fiziksel ve mekanik deney sonuçları karşılaştırılmış ve her iki alçı türünde de benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Kartonpiyer alçının, seperatör çıkışı alçıya kıyasla piyasada daha kolay bulunması ve daha ekonomik olması nedeniyle, daha sonraki deneysel çalışmalarda kullanılmasına karar verilmiştir.

Kompozit içinde kullanılacak alçı matriksin içerdiği su/alçı oranının belirlenmesi için, daha önce yapılmış deneysel çalışma sonuçları incelenmiştir. Kalıplama kolaylığı, ekonomiklik ve istenilen mekanik dayanım değerlerini sağlaması gözönüne alındığında, 65/100 su/alçı oranına sahip kartonpiyer alçı seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda, 65/100 su/alçı oranına sahip alçı matriks hazırlanmasına karar verilmiştir.

65/100 su/alçı oranına sahip kartonpiyer alçıya ait alçının fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıda Çizelge 3.15’te verilmiştir.

Çizelge 3.15 : 65/100 su/alçı oranına sahip kartonpiyer alçı numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri.

65/100 Kartonpiyer alçı numunelerin mekanik ve fiziksel özellikler							
Priz Süresi (dk)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Sertlik (Shore D)	μ Değeri	Ultrases Geçiş Hızı km/sn	Rötre Değeri (%)
9	1,16	12,1	4,4	68	17,02	2,5	- 0,000125

Geri dönüştürülmüş PET liflerinin fiziksel, mekanik, kimyasal özellikleri ve mikro strüktürel yapılarının belirlendiği taramalı elektron mikroskobu analizleri, İtalya Trento Üniversitesi’nin Malzeme Laboratuvarında ve İTÜ MEMS Laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler kapsamında 3,3 ve 6,6 dtex rPET lifleriyle alçı kompozitlerin hazırlanmasına karar verilmiştir. 3,3 ve 6,6 dtex rPET liflerinin fiziksel, mekanik ve reolojik deney sonuçları Çizelge 3.16’da verilmiştir. Deneyler sonunda elde edilmiş veriler ışığında, asıl deneysel çalışmalar başlamıştır.

Çizelge 3.16 : rPET elyafının fiziksel, termal ve mekanik özellikleri.

Lif Çapı (dtex)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Kristalleşme Sıcaklığı (°C)	Erim Sıcaklığı (°C)	Gerilme Dayanımı (N/mm ²) (100 mm/sn Yükleme Hızında)
3,3	1,38	76	79	250	101
6,6	1,38	77	79	251	61

3.3 Kompozitlerin İçerdiği Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi

Alçı kökenli malzemeler, iç mekân kullanımlarında, yaşam konforuna olumlu katkılarıyla, üretim sırasında kolay uygulanabilmeleri, uygulama sonrasında ise mükemmel ve pürüzsüz görünümüleriyle yüzyıllardır en çok tercih edilen malzemelerden olmuştur. Alçıyla üretilmiş kompozit malzemelerden beklenen performans özellikleri; kontrol edilebilir priz süresi, iyi işlenebilirlik, yüksek basınç ve eğilme dayanımı, beton veya tuğla gibi malzemelerle birlikte kullanıldığı zaman iyi aderans yapması, suya dayanım ve iyileştirilmiş ısı ve ses izolasyonudur (Arıkan ve Sobolev, 2002).

Deneyler sonucunda elde edilmiş veriler göz önüne alınarak, 3,3 ve 6,6 dtex olarak iki farklı lif çapında rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitler hazırlanmıştır. Öncelikle deneysel çalışmada kullanılacak priz geciktirici türü ve miktarı, rPET lifinin boyu, kompozit içindeki rPET liflerinin hacim oranları ve aderans artırıcı katkı malzemesi türü ve miktarları belirlenmiştir. Deneyler kapsamında, 3,3 ve 6,6 dtex lif çapına sahip rPET lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin mekanik, fiziksel özellikleri ve mikro yapılarının incelendiği deneyler yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır.

3.3.1 Priz geciktirici türünün ve miktarının belirlenmesi

Deneysel çalışmalarda alçının priz süresinin, numunelerin hazırlanması ve kalıplanması için yeterli olmadığı daha önce belirtilmişti. Bu nedenle, priz geciktirici olarak kompozitlerde ağırlıkça %0.025 oranında sitrik asit ($C_6H_8O_7$) kullanılmasına karar verilmiştir. Priz geciktirici katkıyla priz süresi 1 saatten biraz daha uzun sürmektedir. Priz geciktirici miktarının, kompozitlerin mekanik dayanımlarında etkili olduğu bilindiği için, alçı hamurunun işlenebilmesine olanak sağlayacak minimum süre göz önüne alınarak priz geciktirici miktarı belirlenmiştir. Arıkan ve Sobolev çalışmalarında, priz geciktirici katkı malzemesiyle birlikte alçının işlenebilirliğinde bir miktar azalmanın olduğunu, su/alçı oranı sabit kalmak koşuluyla priz geciktirici miktarının artışıyla, alçının basınç dayanımında bir düşüşün meydana geldiğini açıklamışlardır (Arıkan ve Sobolev, 2002).

3.3.2 Numune hazırlama yönteminin ve rPET lifinin özelliklerinin belirlenmesi

Kompozit malzemelerin performansında, güçlendirici olarak kullanılan lifin boyu, çapı ve yüzey bitişleri...gibi özellikler önem kazanmaktadır. Güçlendirici olarak alçı kompozitler içinde kullanılacak olan rPET lifinin boyunun ve hacim oranlarının belirlenmesi için deneysel çalışmalar incelenerek seçimler yapılmıştır.

Alçı, rPET lifi ve suyla üretilcek numunelerin hazırlanması sırasında önce mikser yardımıyla karıştırma işlemi yapılmıştır. Farklı hızlarda mikserle karıştırıldığında, liflerin mikserle yapışarak topaklandıkları ve rPET liflerinin alçı hamurunun içinde homojen olarak dağılmadıkları gözlenmiştir. Bu nedenle rPET lifi-alçı hamuru elle karıştırılmıştır. Benzer şekilde Ali ve Grimer'de (1969), cam lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin üretiminde, alçı hamurunun içinde topaklanmalara neden olduğu için alçı hamurunu mikserle karıştırmanın mümkün olmadığını belirtmiştir.

Deneysel çalışmaların başlangıcında, üretici firmadan temin edilmiş son ürün halindeki kuru ve kesikli rPET liflerinin suyla buluşması sonucunda, homojen olarak dağılmadıkları tespit edilmiştir. Bu nedenle üretici firmadan, üretim sırasında son işleme girmemiş, ıslak ve kesiksiz lif temin edilmiştir. Sürekli rPET lifleri, laboratuvarıda istenilen boyutta kesilerek suyun içine eklenmiştir. Bu durumdaki rPET liflerinin suyun içinde kolayca ve homojen olarak dağıldıkları, topaklanmadıkları görölmüştür.

Numune üretimi sırasında, rPET liflerinin alçı tozuna ilave edilip, karışıma daha sonra su eklenmesi sonucunda, liflerin homojen olarak dağılmadığı tespit edilmiştir. Çünkü kuru karışım içindeki lifler topaklanmaya daha yatkın bir yapıdadır (Arıoğlu ve diğ., 2008). Bu nedenle, suyun içine önce lifler katılıp homojen bir şekilde dağılması sağlanmış, karışıma daha sonra alçı tozu ilave edilmiştir.

Kompozit üretimi, literatürde de belirtildiğı gibi benzer şekilde yapılmaktadır (Eve ve diğ., 2002; Parres ve diğ., 2009). Eve ve arkadaşları çalışmalarında, poliamid liflerini alçıyla karıştırarak numune üretmişler ve bu numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Poliamid liflerin hidrofilik yapıda olması sebebiyle, numune üretimi sırasında suyla karşılaştığı sırada suyu bünyelerine çekerek kompozitlerin hacmini arttırmakta, daha sonra etüvde kurutulmaları sırasında bünyelerindeki suyu verdikleri için çevrelerinde boşluk oluşmaktadır. Bu nedenle lif ile alçı arasında zayıf bir aderansın oluştuğı gözlenmiştir. Ayrıca liflerin alçının hidrasyonunu olumsuz yönde etkilediğı görölmüştür. Priz süresinde bir azalma olmamakla beraber hidrate olmamış alçı granüllerinin oluşmasına yol açtığı belirtilmiştir. Bunun nedeni ise poliamid liflerinin hidrofilik olması yani kompozitin karıştırılması sırasında su ve kalsiyum iyonlarını emmesi ve priz sürecinin ileriki safhalarında emdiğı suyu ve kalsiyum iyonlarını geri vermesidir (Eve ve diğ., 2002). rPET lifi, hidrofobik olması sebebiyle deneyler kapsamında önce son ürün halinde yani kesilmiş ve kurutulmuş olarak firmadan temin edildiğı şekilde alçıyla karıştırılıp, numune üretilmeye çalışılmış, fakat lifler suyun içinde dağılmadığı için deneysel çalışma için uygun numune üretimi yapılamamıştır. Bu nedenle, lif temin edilen firmadan, son işleme girmemiş yani kesiksiz ve nemli haldeki lifler temin edilmiştir. Böylece su içinde liflerin kolayca dağılabilmesiyle, alçı kompozit numuneler üretilmiştir.

3.3.3 rPET lifinin boyunun belirlenmesi

Deneyisel çalışmada kullanılacak rPET lifinin boyunun belirlenmesinde üç farklı yöntem uygulanmış olup, üç çalışma sonucunda elde edilmiş sonuçların birbirini doğruladığı belirlenmiştir.

İlk yöntemde Formül 3.11 ve Formül 3.12 yardımıyla kritik lif boyu hesaplanmıştır. Deneyler, 6,6 dtex rPET lifleriyle yapılmıştır. “Pull-off deneyi” olarak adlandırılan deney düzeneği şu şekilde yapılmıştır: Lifler, alçı hamurunun içine, doğrusal olarak yerleştirildikten sonra, numuneler kurutulup, bir gün ortama bırakılmış ve ortam nemli ağırlığa ulaşmışlardır. Deney düzeneğini oluşturan numunelerdeki liflerin uçlarına ağırlıklar takılmış ve lifin alçıdan sıyrılarak ayrıldığı en düşük ağırlık bulunarak kritik lif boyu hesaplanmıştır.

$$\sigma = P/A \quad (3.11)$$

σ : Çekme dayanımı (N/mm²)

P: M/9,81 (N)

M: Lifin taşıyabildiği maksimum ağırlık (gr)

A: Sıyrılma alanı (mm²)

$$A = 2\pi r \times h \quad (3.12)$$

r: Lifin yarıçapı (mm)

h: Kritik lif boyu

Deneyisel çalışmada rPET lifinin taşıyabildiği en fazla ağırlığın 20 gr olduğu tespit edilmiş ve hesaplamalar sonucunda kritik lif boyunun 10 mm olduğu bulunmuştur.

İkinci yöntemde, kritik lif boyu Formül 3.13'te verilen Kelly-Tyson bağıntısıyla (Ronkay ve Czigány, 2006; Tóth ve diğ., 2004) hesaplanmış ve ilk yöntemle benzer şekilde 10 mm olarak hesaplanmıştır.

$$l_{crit} = \frac{\sigma \times d}{2 \times \tau} \quad (3.13)$$

l_{crit} : Kritik lif boyu

σ : Lifin gerilme dayanımı

d: Lifin çapı

τ : Kayma gerilmesi

Çizelge 3.17 : Farklı boyda rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı numunelerin mekanik dayanım ve fiziksel özellik değerleri.

Numune Kodu	Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Sertlik (Shore D)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Tokluk (kpm)
AG0	0	0	1,16	9,83	4,43	55	2,3	2,7
AGL-1-1	1	1	1,12	9,04	4,51	56	2,34	5,8
AGL-1-2	1	2	1,09	6,11	3,57	51	2,14	6,6
AGL-1-3	1	3	1,13	9,15	3,88	59	2,27	4,9
AGL-1-4	1	4	1,13	8,64	3,85	59	2,29	6,8

Kritik lif boyunun belirlenmesinde denenmiş üçüncü yöntemde, farklı lif boylarında rPET lifleriyle hazırlanmış alçı kompozitlerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.17’de görüldüğü gibi, 65/100 su/alçı oranındaki alçı hamurunun içine 1, 2, 3 ve 4 cm uzunluğundaki rPET lifleri, hacimce %1 oranında katılarak kompozit numuneler hazırlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, 1cm boyundaki rPET lifleriyle hazırlanmış numunelerin, en yüksek eğilme dayanımı değerine sahip olduğu, basınç dayanımı sonuçlarının ise lifsiz alçı numunelerin basınç dayanımı değerleriyle yakın olduğu görülmüştür. Bu kompozitlerin birim ağırlığı değeri lifsiz alçıdan düşük iken sertlik değeri lifsiz alçıyla hemen hemen aynıdır. 2 cm’lik rPET lifi-alçı kompozitlere ait basınç ve eğilme dayanımı, lifsiz alçı numuneler ve diğer kompozitlerle kıyaslandığında en düşük değerlerde olup, 3 ve 4 cm boyunda rPET lifi içeren kompozitlerin dayanım değerlerinin birbirine yakın fakat lifsiz alçı numunelerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Eve ve arkadaşları (2002), farklı boylarda poliamid lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, lif boyunun artmasıyla, kompozitlerin eğilme ve basınç dayanımlarının azaldığını tespit etmişlerdir. En yüksek eğilme ve basınç dayanımı değerlerine sahip numunelerin, 1,2 cm poliamid lifi içeren kompozitler olduğunu, lif boyunun artmasıyla kompozitlerin mekanik dayanım değerlerinin düştüğünü belirtmişlerdir. Lif boyunun 12 cm olduğu kompozitlerde ise en düşük basınç ve eğilme dayanımı değerlerinin elde edildiğini

açıklamışlardır. Dayanım değerlerinin düşmesinin nedeni, lif boyunun artmasıyla, liflerin kompozit içinde homojen olarak dağılmaması ve buna bağlı olarak kompozitlerin boşluklu yapısının artması olarak açıklanmaktadır.

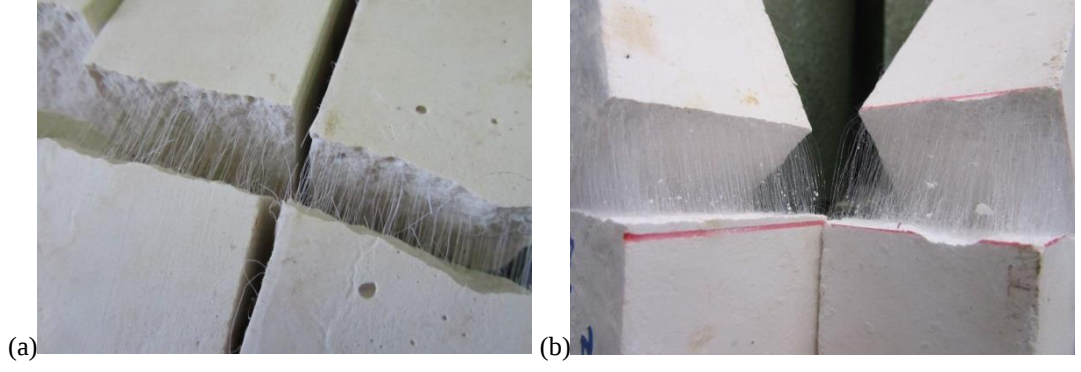
Çizelge 3.17’de görüldüğü gibi, en yüksek dayanım değerlerine sahip rPET lifi-alçı kompozitlerin içerdiği lif boyunun 1 cm olduğu görülmüştür. Esas deneyler için üretilecek kompozitlerde, lif boyu 1 cm olarak belirlenmiştir.

3.3.4 rPET lifinin hacim oranlarının belirlenmesi

Alçı kompozitlerin güçlendirilmesinde kullanılan rPET liflerinin hacimsel olarak oranlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Çizelge 3.18’de verilmiştir. Tablodaki verilmiş numune kodlarında; “A” alçıyı, “G” priz geciktirici maddeyi, ilk rakam, lif boyunu, ikinci rakam ise lif hacim oranını ifade etmektedir.

Lif hacim oranlarının belirlenmesi amacıyla yapılacak deneylerde lif boyu 2cm, lif hacim oranları ise % 0,1, %0,15, %0,2, %0,25, %0,5, %1, %2 ve %5 olarak belirlenmiştir. Lifsiz alçının kontrol grubu olarak belirlendiği çalışmada %1’den daha yüksek lif hacim oranına sahip, yani hacimce %2 ve %5 rPET lifi içeren alçı kompozitlerin, üretimleri sırasında, liflerin homojen olarak dağılmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle %1’den daha fazla lif hacim oranına sahip numunelerin üretilmemesine karar verilmiştir. Şekil 3.31’de, rPET liflerinin alçı matriks içinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir.

rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri, lif hacim oranının artmasıyla ters orantılı olarak azalmaktadır. Bunun nedeninin ise, lif oranının artmasıyla, matriks içindeki boşluklu yapının da artması olduğu düşünülmektedir. Eve ve arkadaşları (2007), poliamid lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, lif oranının artmasıyla, liflerin homojen olarak dağılmalarının daha zor olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca numunelerin kurutulmaları sırasında, hidrofilik özellikte olan poliamid liflerinin, emdikleri suyu geri vermesi nedeniyle, kendi çevrelerinde boşluk oluşturduklarını belirtmişlerdir. Bu nedenlerle lif ile matriks arasındaki aderansın zayıf olduğu yorumunu getirmişlerdir. rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerlerinin azalmasının nedeninin, benzer şekilde kompozit içinde porozite miktarının artması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.31 : Farklı lif hacim oranlarında üretilmiş rPET lifi-alçı numuneler (a-b).

Çizelge 3.18 : rPET lifi-alçı kompozit numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri.

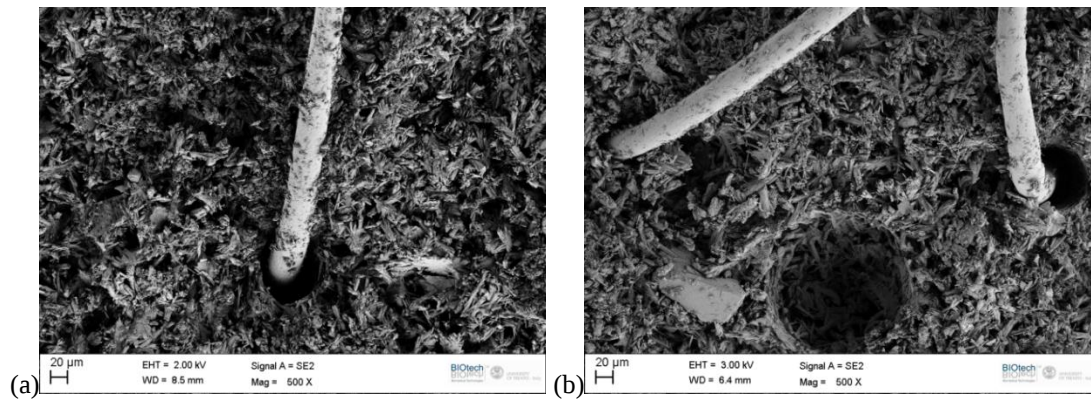
Numune Kodu	Lif Boyu (cm)	Lif Hacim Oranı (%)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Sertlik (Shore D)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Tokluk (kpm)
A0	2	0	1,16	9,8	4,4	55	2,88	2,7
AGL2-0,1		0,1	1,14	10,5	4,7	57	2,22	2,6
AGL2-0,15		0,15	1,14	11,1	4,6	58	2,25	2,8
AGL2-0,2		0,2	1,14	9,2	4,4	58	2,21	3,1
AGL2-0,25		0,25	1,13	8,1	3,7	53	2,27	3,5
AGL2-0,5		0,5	1,12	7,4	4,1	53	2,21	3,8
AGL2-1		1	1,09	6,1	3,6	51	2,14	6,6
AGL2-2		2	1,13	6,8	3,5	57	2,14	7,1
AGL2-5		5	1,14	9,8	3,8	60	2,23	6,5

Lif hacim oranının artmasıyla, kompozitlerin eğilme ve basınç dayanımlarının düştüğü görülmüştür. Bu durum, lifler ile alçı arasındaki aderansın zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Konu ile ilgili yapılmış benzer çalışmada, lif oranının artmasıyla, kompozitlerin dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. En yüksek eğilme ve basınç dayanım değerlerine, %0 ile %1 arasında poliamid lifi içeren kompozitlerin sahip olduğu, bu değerlerin ise şahit lifsiz alçı numunelerin eğilme ve basınç dayanım değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Eve ve diğ., 2002). rPET lifi-alçı kompozitler arasında en yüksek eğilme ve basınç dayanımı değerleri, %0,1 ve %0,15 oranlarında rPET lifleri içeren numunelerde elde edilmiştir. Benzer şekilde Parres (2009), atık otomobil lastiklerinden elde edilmiş poliamid lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin özelliklerini incelediği çalışmasında, lif oranının

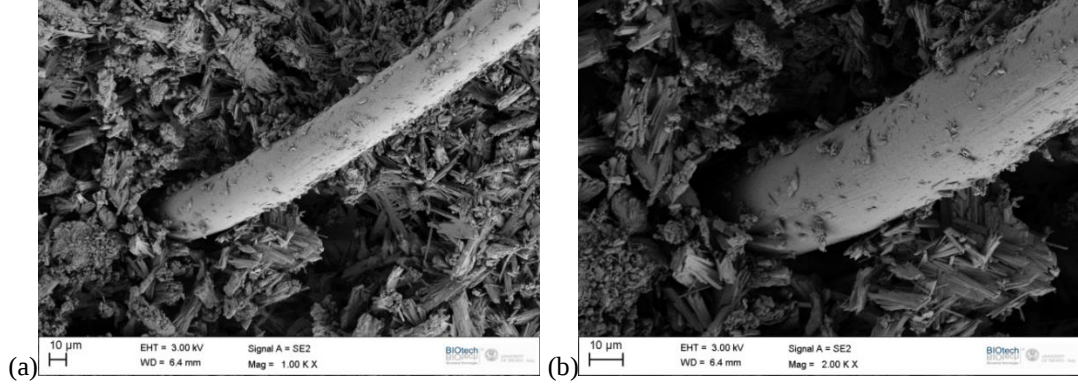
artmasıyla kompozitlerin eğilme ve basınç dayanım değerlerinin azaldığını ifade etmiştir.

Liflerin alçı kompozit içinde kullanılmasıyla lifler, kompozitin iki parçaya ayrılmasını önlemekte yani kompozitlerin tokluk değerini artırmaktadırlar (Eve ve diğ., 2002; Parres, 2009). Tokluk değerinin ise lif oranının artmasıyla oldukça yükseldiği görülmüştür. Bu durum göz önüne alınarak, deneysel çalışmalarda daha önceden belirlenmiş hacim oranlarına ek olarak % 0,05 ve % 0,075 oranlarında rPET lifleri içeren numunelerin de üretilmesine karar verilmiştir.

rPET lifi-alçı kompozitlerin SEM görüntüleri Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de görülmektedir. 55/100 ve 60/100 su/alçı oranlarında, 6,6 dtex rPET lifi içeren alçı kompozitlerin SEM görüntüleri Şekil 3.32 ve Şekil 3.33’te verilmiştir. Bu fotoğraflarda, alçının kristalli mikro yapısı, rPET lifleri, liflerin üzerine yapışmış dihidrat kristalleri ve liflerin alçıyla birleşim detayları görülmektedir. Her ne kadar, rPET liflerinin üzerine yapışmış dihidrat kristalleri, alçı matriksi ile lifler arasında bir miktar aderansın olduğunu gösterse de, liflerin çevresinde oluşmuş boşluklar dikkat çekmekte, bu boşlukların varlığı ise liflerle alçı matriksi arasında aderansın zayıf olduğuna işaret etmektedir. Bu durum numunelerin mekanik deney sonuçlarıyla da desteklenmektedir. rPET liflerinin çevresinde oluşan bu boşluklarının nedeninin, numune üretimi sırasında, nemli haldeki rPET liflerinin, etüvde kurutulmaları sonucunda kuruyarak suyunu kaybetmesi ve büzülmesi olduğu düşünülmektedir. Literatür araştırmalarında da benzer sonuçlar bulunmuştur (Eve ve diğ., 2007).



Şekil 3.32 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlere ait SEM fotoğrafları (a) 500x, (b) 500x büyütme.



Şekil 3.33 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlere ait SEM fotoğrafları (a) 1.00kx, (b) 2.00kx büyütme.

3.3.5 Aderans artırıcı katkı malzemesinin türünün belirlenmesi

Taramalı elektron mikroskopuyla incelenmiş alçı kompozitlerde, alçı ve elyaf arasındaki aderansın yetersizliği, kompozit içindeki matriks ve faz arasındaki aderansın artırılmasına yönelik arayışları gerektirmiştir. Farklı firmalardan temin edilmiş farklı aderans artırıcı katkı malzemeleriyle çeşitli ön çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda aderans artırıcı katkı malzemesi türüne ve kompozit içindeki oranlarına karar verilmiştir.

İlk deneysel çalışmada, 1 cm boyunda, hacimsel olarak %0,1 elyaf içeren kompozitlerin içerisine, suyun hacimce %1'i oranında, farklı aderans artırıcı katkı malzemeleri ilave edilmiştir. Bu deneysel çalışmada kullanılmış aderans artırıcı katkı malzemeleri; akrilik, stiren butadien emülsiyon ve PVA kökenlidir. Aderans artırıcı katkı malzemesi içeren kompozitlerde, stiren butadien emülsiyon içeren katkı malzemeleriyle üretilmiş numuneler; “AGLSBE 1” ve “AGLSBE 2”, akrilik içeren aderans artırıcı katkı malzemesiyle üretilmiş numuneler; “AGLAK”, PVA içerenler; “AGLPVA 1”, “AGLPVA 2” ve “AGLPVA 3” şeklinde kodlanmıştır.

İkinci çalışmada, aderans artırıcı katkı malzemesi oranı, suyun hacimce %5'i olacak şekilde yeniden tekrarlanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.19 ve Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.19 incelendiğinde, PVA 3 ile üretilmiş alçı kompozit numunelerin mekanik dayanımında en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. AGLPVA 3 kompozitler, katkısız alçı (AG0) numunelerle kıyaslandığında, kompozitlerin basınç dayanımında %27, eğilme dayanımında ise %18 oranında iyileşme olduğu görülmektedir. Bu numuneler, lifli fakat aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmemiş numuneler (AGL) ile kıyaslandığında, kompozitlerin basınç dayanımı değerinin yaklaşık %12

oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Alçı kompozitler içindeki aderans artırıcı katkı malzemesi oranının %5 olduğu ikinci çalışmaya ait sonuçlar Çizelge 3.20’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en iyi basınç ve eğilme dayanımı sonuçları ilk çalışma sonuçlarıyla benzer şekilde “PVA 3” aderans artırıcı katkı malzemesi kullanılmış numunelerde gözlenmiştir. Numunelerin birim hacim ağırlıklarının, katkısız alçı numunelerle kıyaslandığında daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda, kompozitler arasında en yüksek dayanım değerlerine sahip olması nedeniyle, PVA 3 kodlu aderans artırıcı katkı malzemesi kullanılmasına karar verilmiştir. Esas deneyler kapsamında yapılacak çalışmalarda, PVA 3 kodlu aderans artırıcı katkı malzemesi kompozit içinde suyun ağırlıkça %5’i oranında kullanılmıştır.

PVA 3; PVA dispersiyon esaslı, sıva ve şaplar için aderans ve geçirimsizlik artırıcı katkı malzemesi olarak tanımlanmaktadır. İç ve dış mekânlarda, düşey ve yatay uygulamalarda, harç, sıva, şaplarda, tamirat için hazırlanan harçlarda kullanılan PVA 3’ün pH değeri, 4 ile 6 arasında değişmektedir.

Kompozitlere PVA 3 ilavesiyle, alçı kompozitlerin içindeki alçı kristalleri arasında sürekli bir polimer film oluştuğu ve bunun alçı içindeki kapiler boşlukları etkili bir şekilde kapladığı düşünülmektedir. Ayrıca film tabakasının gerilme dayanımı nedeniyle oluşan mikro çatlakların yayılmalarını önleyerek, alçının kırılgenliğine da bir miktar azalttığı düşünülmektedir. Kompozitlerin içine aderans artırıcı katkı malzemesi ilavesiyle, daha az kırılgen ve daha elastik yeni bir malzeme elde edilmiştir.

Çizelge 3.19 : Hacimce %1 aderans artırıcı katkı malzemesi içeren alçı kompozitlerin mekanik dayanım ve fiziksel özellik değerleri.

Numune Kodu	Su/Alçı Oranı	Aderans Artırıcı Katkı Oranı (%)	Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Sertlik Değeri (Shore D)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
AG0	65/100	0	0	0	1,16	55	2,88	9,83	4,43
AGL			0,1	1	1,14	58	2,27	11,17	5,07
AGLSBE 1		1	0,1	1	1,14	54	2,12	9,73	4,9
AGLSBE 2			0,1	1	1,13	55	2,15	10,36	4,7
AGLAK 3			0,1	1	1,14	58	2,17	11,51	4,99
AGLPVA 1			0,1	1	1,12	57	2,26	10,86	4,88
AGLPVA 2			0,1	1	1,15	57	2,14	11,28	4,56
AGLPVA 3			0,1	1	1,15	57	2,22	12,48	5,21

Çizelge 3.20 : Hacimce %5 aderans artırıcı katkı malzemesi içeren alçı kompozitlerin mekanik dayanım ve fiziksel özellik değerleri.

Numune Kodu	Su/Alçı Oranı	Aderans Artırıcı Katkı Oranı (%)	Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Sertlik Değeri (Shore D)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
AG0	65/100	0	0	0	1,16	55	2,88	9,83	4,43
AGL			0,1	1	1,14	58	2,27	11,17	5,07
AGLSBE 1		5	0,1	1	1,1	50	2,19	10,39	4,55
AGLSBE 2			0,1	1	1,12	51	2,19	9,45	4,08
AGLAK 3			0,1	1	1,11	54	2,21	10,38	4,55
AGLPVA 1			0,1	1	1,12	59	2,18	12,86	5,06
AGLPVA 2			0,1	1	1,1	56	2,22	12,88	4,92
AGLPVA 3			0,1	1	1,11	60	2,21	15,14	5,81

Farklı oranlarda aderans artırıcı katkı malzemesi kullanılarak hazırlanan lifsiz alçı kompozitlere ait mekanik ve fiziksel özellik değerleri Çizelge 3.21’de verilmiştir. Kompozit içindeki su/alçı oranının 65/100, kompozit içindeki sıvı ağırlığın sabit olması koşuluyla, suyun ağırlıkça % 1 ile % 6 arasında değişen oranlarda aderans artırıcı katkı malzemesi kullanılarak hazırlanmış numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Aderans artırıcı katkı malzemesi miktarı arttıkça, numunelerin mekanik mukavemetlerinin, tokluk, sertlik ve buhar geçirgenlik difüzyon katsayısı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Birim ağırlık değerlerinde ise kayda değer bir değişimin olmamıştır. Aderans artırıcı katkı malzemesi oranları %8 ve %10 olacak şekilde yeni karışımlar hazırlanmıştır. Aderans artırıcı katkı malzemesi oranının %1 ile %10 arasında değiştiği, kompozit içindeki liflerin 1 cm, hacimce oranının %0,1 olduğu kompozitler için yapılmış deneylere ait sonuçlar Çizelge 3.22’de görülmektedir. Numunelerin kodlanmasında ”A” alçıyı, ”G” priz geciktirici katkıyı, ”L” lif katkısını, ”PVA 3” aderans artırıcı katkı malzemesini ve sonrasındaki rakamlar sırasıyla; lif hacmi, lif boyu ve lif çapını ifade etmektedir. Aderans artırıcı katkı malzemesinin miktarının artışına bağlı olarak numunelerin mukavemetlerinde ve tokluk değerinde bir artış gözlenmiştir. Deneylerde kullanılacak aderans artırıcı katkı malzemesi oranının, ekonomik olması da göz önüne alınarak %5 oranında olmasına karar verilmiştir.

Aderans artırıcı katkı malzemesinin liflerle kullanıldığında alçının özelliklerine etkisi Çizelge 3.21 ve Çizelge 3.22’de verilmiş deney sonuçlarıyla değerlendirilmiştir. Çizelge 3.18’de (Bkz. Sayfa 91) hacimce %0,1 oranında lif katkılı numunelerin basınç dayanımı 11 N/mm², eğilme dayanımı 5,1 N/mm² olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.21’de AG5 olarak kodlanmış, %5 oranında aderans artırıcı katkı malzemesi içeren lifsiz alçı numunelerin basınç dayanımı 11,8 N/mm², eğilme dayanımı 5,3 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Çizelge 3.22’de görüldüğü gibi, AGLPVA 3 kodlu, hem %5 oranında aderans artırıcı katkı malzemesi, hem de hacimce %0,1 oranında rPET lifi içeren numunelere ait basınç dayanımı değeri 15,14 N/mm², eğilme dayanımı değeri ise 5,81 N/mm² olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında, sadece lif katkısının değil, aderans artırıcı katkı malzemesinin rPET lifiyle birlikte kullanılmasının, alçı numunelerin mekanik dayanımlarını iyileştirdiği görülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, aderans artırıcı katkı malzemesinin rPET lifiyle birlikte alçı içinde kullanılarak, numuneler üretilmesine karar verilmiştir.

Çizelge 3.21 : Ağırlıkça farklı oranlarda aderans artırıcı katkı malzemesi içeren lifsiz alçı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellik değerleri.

Numune Kodu	Su/Alçı Oranı	Lif Hacim Oranları (%)	Aderans Artırıcı Katkı Oranları (%)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Sertlik Değeri (Shore D)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Tokluk (kpm)	Buhar Geçirgenlik Difüzyon Direnç Faktörü (μ)
AGPVA 3-0	65/100	0	0	1,12	53	2,22	6,92	3,137	2,5	14,18
AGPVA 3-1			1	1,11	52	2,13	8,14	3,457	2,32	14,81
AGPVA 3-2			2	1,11	56	2,14	9	4,055	2,86	13,75
AGPVA 3-3			3	1,13	55	2,29	12,66	4,28	2,54	14,33
AGPVA 3-4			4	1,13	58	2,31	12,65	4,52	2,67	15,28
AGPVA 3-5			5	1,12	57	2,23	11,84	5,3	2,63	15,61
AGPVA 3-6			6	1,12	59	2,3	13,83	4,79	2,94	15,04

Çizelge 3.22 : Ağırlıkça farklı oranlarda aderans artırıcı katkı malzemesi içeren lifli ve lifsiz alçı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellik değerleri.

Numune Kodu	Su/Alçı Oranı	Lif Hacim Oranları (%)	Aderans Artırıcı Katkı Oranları (%)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Sertlik Değeri (Shore D)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Tokluk (kpm)	Buhar Geçirgenlik Difüzyon Direnç Faktörü (μ)
A0	65/100	0	0	1,12	53	2,22	6,92	3,137	2,5	14,18
AGLPVA 3-0,1-1		0,1	1	1,11	52	2,13	8,85	3,457	2,5	14,35
AGLPVA 3-0,1-2			2	1,14	56	2,29	10,99	4,055	2,58	14,87
AGLPVA 3-0,1-3			3	1,12	55	2,21	10,47	4,28	2,68	14,90
AGLPVA 3-0,1-4			4	1,13	57	2,26	11,74	4,52	2,83	14,74
AGLPVA 3-0,1-5			5	1,13	58	2,25	12,44	5,3	2,73	16,12
AGLPVA 3-0,1-6			6	1,14	58	2,2	13,58	4,79	2,82	15,52
AGLPVA 3-0,1-8			8	1,14	63	2,36	15,71	5,869	2,86	16,28
AGLPVA 3-0,1-10			10	1,14	61	2,26	16,21	6,083	3,07	16,86

3.3.6 Alt bölüm sonucu

Alçı ve rPET lifinin özelliklerinin ayrı ayrı belirlenmesi sonrasında, bu bölümde 3,3 ve 6,6 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş 65/100 su/açı oranındaki alçı kompozitlerin içerdiği malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri belirlenmiştir.

Numune üretim sürecinde, alçının priz süresinin, numunelerin hazırlanması ve kalıplanması için yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle kompozitlerin içine priz geciktirici olarak, alçının ağırlıkça %0,025'i oranında sitrik asit ($C_6H_8O_7$) ilave edilmesine karar verilmiştir.

Üretilcek numunelerin hazırlanması sırasında önce mikser yardımıyla karıştırma işlemi yapılmış, rPET liflerinin miksere yapışarak topaklandığı ve liflerin karışımın içindeki homojen olarak dağılmadıkları gözlenmiştir. Suyun içine önce lifler ilave edilmiş, daha sonra karışıma alçı tozu katılarak, elle karıştırma yöntemiyle numuneler hazırlanmıştır. rPET lifleri, üretici firmadan, üretim sırasında son işleme girmemiş, ıslak ve kesiksiz halde temin edilip, laboratuvar ortamında istenilen boyutlarda kesilmiştir.

Kompozit içinde kullanılan rPET liflerinin kritik lif boyu, “Pull-off” deneyi yardımıyla ve Kelly-Tyson bağıntısıyla hesaplanmış ve 1cm olarak belirlenmiştir. Ayrıca 1, 2, 3 ve 4 cm olacak şekilde dört farklı lif boyda rPET lifleriyle numuneler üretilmiştir. Numuneler için yapılmış mekanik ve fiziksel deneyler sonucunda, 1 cm rPET lifleriyle üretilmiş kompozitlerin en yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kompozitlerin içindeki rPET lifinin hacim oranlarının belirlenmesi için yapılan deneyler sonucunda, lif hacim oranlarının %0, %0,05, %0,075, %0,1, %0,15, %0,2, %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 olmasına karar verilmiştir. %2 ve % 5 lif hacim oranlarına sahip numuneler üretilmesine rağmen, liflerin kompozit içinde fazla yoğun olması nedeniyle, homojen dağılmadıkları gözlenmiştir. Bu nedenle hacimce %1'den daha yüksek oranda lif içeren kompozitlerin üretilmemesine karar verilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobu analizleriyle, kompozitlerin mikro yapıları incelenmiştir. Kompozitlerin SEM fotoğraflarında, liflerin alçıyla birleşim yerlerinde boşluklar olduğu görülmüştür. Bu boşluklar nedeniyle, rPET lifleriyle alçı matrisi arasında yeterli aderansın olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu gözlemler sonucunda lif

ile alçı arasındaki aderansı artırmaya yönelik olarak, aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş kompozitler üretilmesine karar verilmiştir.

Aderans artırıcı katkı malzemesinin türünün belirlenmesi amacıyla altı firmadan, stiren butadien emülsiyon, akrilik ve PVA esaslı farklı aderans artırıcı katkı malzemeleri temin edilmiştir. Hacimce %0,1 oranında lif ve ağırlıkça %1 oranında aderans artırıcı katkı malzemesi içeren kompozitler üretilmiştir. Bu deneyler sonucunda, PVA dispersiyon esaslı aderans artırıcı katkı malzemesiyle üretilmiş numunelerin en yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip olduğu belirlenmiş ve deneysel çalışmalarda PVA 3 kodu içeren, bu aderans artırıcı katkı malzemesinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Aderans artırıcı katkı malzemesinin kompozit içindeki oranını belirlemek amacıyla ağırlıkça %1-%10 arasındaki oranlarda katkı malzemesi içeren lifsiz alçı kompozitler hazırlanmıştır. Sadece yeterli mekanik dayanım değerlerini sağlaması değil, aynı zamanda daha ekonomik olması nedeniyle de, sonraki deneysel çalışmalarda, ağırlıkça %5 oranında aderans artırıcı katkı malzemesi içeren numuneler üretilmiştir.

Yukarıda belirtilmiş kararlara dayalı olarak üretilen numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri topluca Çizelge 3.23'te verilmiştir. Çizelgede şahit-lifsiz alçı numuneler "AG0", sadece aderans artırıcı katkılı alçı numuneler "AGPVA3", sadece lif katkılı alçı numuneler "AGL" ve aderans artırıcı katkılı ve lifli alçı numunelerin "AGLPVA3" şeklinde kodlanmıştır. Çizelgede de görüldüğü gibi, tek tek lif veya aderans artırıcı katkı malzemesinin, alçının mekanik dayanımı artırdığı tespit edilmiştir. Her iki katkının (aderans artırıcı katkı malzemesinin ve lifin) bir arada kullanıldığı alçı kompozitlerin mekanik dayanım değerlerinin ise, diğer kompozitlere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, aderans artırıcı katkı malzemesinin, lif ile alçı arasındaki aderansı iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca aderans artırıcı katkı malzemesi ilavesiyle, alçı kompozitlerin içindeki alçı kristalleri arasında sürekli bir polimer film oluştuğu ve bu film tabakasının alçı içindeki kapiler boşlukları etkili bir şekilde kapladığı düşünülmektedir. Ayrıca film tabakasının kompozit içinde oluşmuş mikro çatlakların yayılmalarını önleyerek, alçının kırılganlığına da engel olduğu düşünülmektedir. Bu katkı malzemesiyle, daha az kırılgan ve daha elastik bir malzeme üretilmiştir.

Çizelge 3.23 : Şahit alçı, lifli alçı, lifsiz-aderans artırıcı katkılı alçı kompozitler ve lifli-aderans artırıcı katkılı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri.

Numune Kodu	Lif Hacim Oranları (%)	Aderans Artırıcı Katkı Oranları (%)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)	Sertlik Değeri (Shore D)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)
AG0	0	0	1,16	55	2,88	9,83	4,43
AGPVA3	0	5	1,12	56	2,34	11,84	5,3
AGL	0,1	0	1,14	58	2,27	11,17	5,07
AGLPVA3	0,1	5	1,11	60	2,21	15,14	5,81

4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel çalışmalar kapsamında, Bölüm 3.2’de, alçının ve rPET liflerinin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri belirlenmiş ve bu sonuçlara göre 3,3 ve 6,6 rPET lifleriyle güçlendirilmiş, 65/100 su/alçı oranına sahip kartonpiyer alçı numunelerin üretilmesine, Bölüm 3.3’te ise, kompozit içindeki malzemeler ve bunların özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar sonucunda, priz geciktiricinin %0,025 oranında sitrik asit, lif boyunun 1 cm ve lif hacim oranlarının %0, %0,05, %0,075, %0,1, %0,15, %0,2, %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 olmasına, lif ile alçı arasındaki aderansı iyileştirmek amacıyla kompozitlerde, PVA esaslı “PVA 3” kodu içeren, ağırlıkça %5 oranında aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmesine karar verilmiştir.

Verilen kararlar doğrultusunda bu başlık altında 3,3 ve 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitler üretilerek, bu numunelerin mekanik, fiziksel ve mikro yapıları ile ilgili deneyler ve analizler yapılmış olup elde edilen veriler, alt başlıklar altında değerlendirilmiştir.

4.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Fiziksel özellikler kapsamında, geri dönüştürülmüş PET lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin öncelikle birim hacim ağırlıkları belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.1’de tablo içinde ve Şekil 4.1’de grafiksel olarak verilmiştir.

Lifsiz alçı numunelerin birim hacim ağırlık değeri $1,12 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Hacimce %0,05, % 0,25, %0,5, %0,75 ve %1, 3,3 dtex rPET lifi içeren alçı kompozitlere ait birim hacim ağırlık değerleri ise $1,12 \text{ gr/cm}^3$ olarak elde edilmiştir. Lif hacim oranı arttıkça, kompozitlerin birim hacim ağırlık değeri, lifsiz alçı numunelere kıyasla değişmemiştir. Lif hacim oranının %0,75, %0,1, %0,15, %0,2 ve % 0,5 olduğu kompozitlerin birim hacim ağırlık değerlerinde önemsiz bir artış olmuş ve $1,13 \text{ gr/cm}^3$ ’e yükselmiştir.

Çizelge 3.18’de aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş lifsiz alçı ve rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, lif hacim oranlarının

artışıyla, kompozitlerin birim hacim ağırlık değerlerinde azalma tespit edilmiştir (Bkz. Sayfa 91). Buna karşılık Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi, aderans artırıcı katkı malzemesinin kompozitlere ilave edilmesiyle, kompozitlerin birim hacim ağırlık değerlerindeki düşüş azalmıştır. Bu durumda aderans artırıcı katkı malzemesinin, alçı matriksin içinde, film tabakası gibi boşlukları doldurduğu ve liflerin çevresini sararak lif ile alçı arasındaki aderansı artırarak, kompozitlerin boşluklu yapısını, azalttığı yorumu yapılabilir. Benzer şekilde, Eve ve arkadaşları (2007), poliamid lifi-alçı kompozitlerin boşluk oranının, lateks-poliamid lifi-alçı kompozitlerin boşluk oranından fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

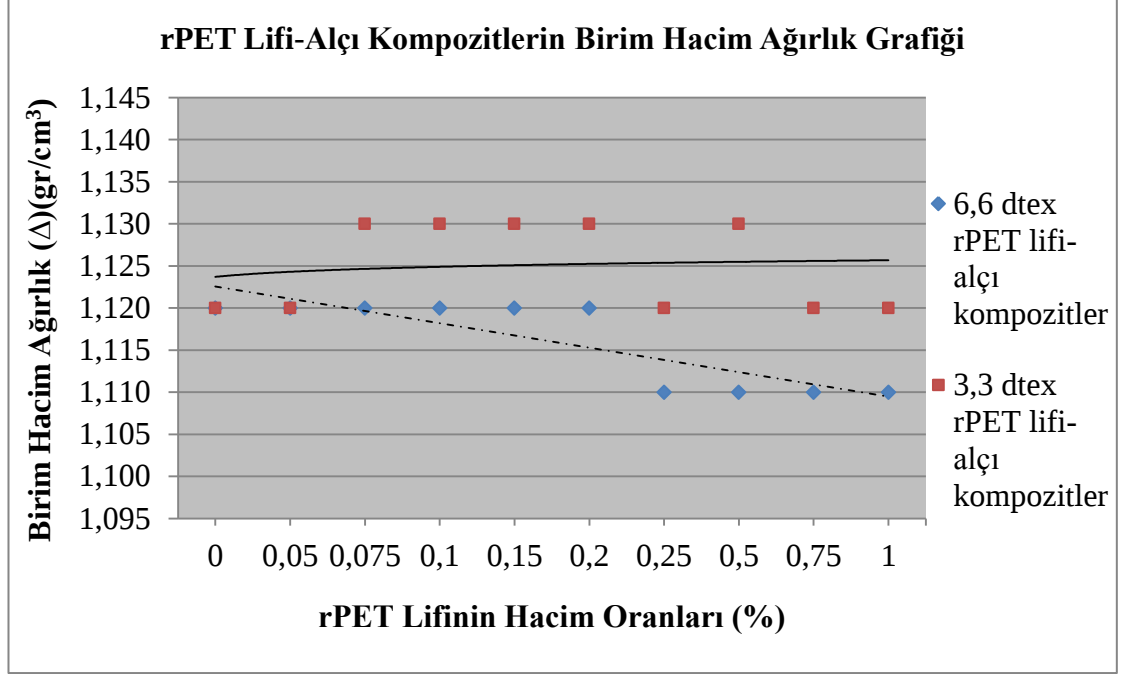
%0,05 ile %0,2 oranları arasında 6,6 dtex rPET lifi içeren alçı kompozitlerin birim hacim ağırlıkları, lifsiz alçı numunelerle benzer olup 1,12 gr/cm³’tür. Hacimce %0,25 ile %1 oranları arasında lif içeren numunelerin birim hacim ağırlığı, 1,11 gr/cm³’tür. Kompozitlerin lif hacim oranlarının artışına bağlı olmaksızın aderans artırıcı katkı malzemesinin ilave edilmesiyle, numunelerin birim hacim ağırlıklarında önemsiz bir düşüş gözlenmiştir.

Çizelge 4.1 : rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)
0	0	0	1,12	1,12
0,05	1	5	1,12	1,12
0,075			1,13	1,12
0,1			1,13	1,12
0,15			1,13	1,12
0,2			1,13	1,12
0,25			1,12	1,11
0,5			1,13	1,11
0,75			1,12	1,11
1			1,12	1,11

3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri, 6,6 dtex rPET lifli kompozitlere göre biraz daha yüksek tespit edilmiştir. Lif hacim oranları, hem 3,3 hem de 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerde aynı olmasına rağmen, lif sayısı 3,3 dtex rPET lifi içeren kompozitlerde, 6,6 dtex rPET lifi içeren kompozitlerden daha

fazladır. Bu durumun daha küçük çapta rPET lifi kullanılmış kompozitlerde, lif sayısının fazla olması nedeniyle daha fazla boşluk oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.1 : rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık grafiği.

4.2 Sertlik Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri Shore D ile ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Lifsiz alçı numuneler, kontrol grubu olarak belirtilmiştir.

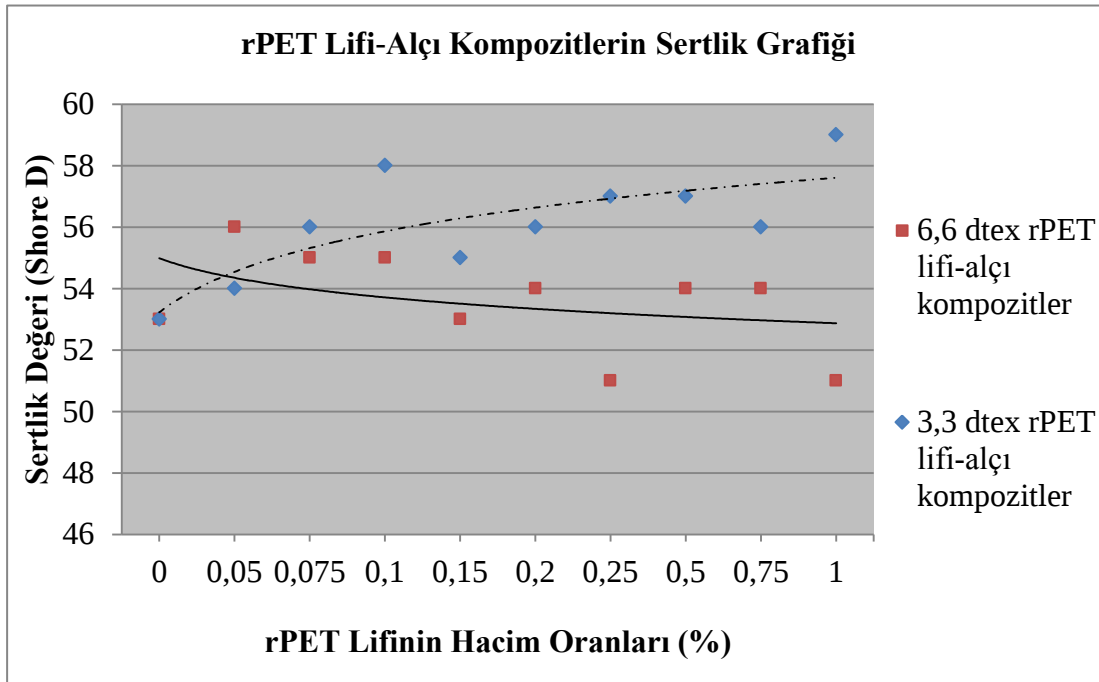
3,3 dtex rPET lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozit numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde, lifli kompozitlerin sertlik değerlerinin, lifsiz alçı numunelerin sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değeri, hacimce %1 oranında rPET lifi içeren kompozitlerden elde edilmiştir.

6,6 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin sertlik değerleri ile lifsiz alçı numunelerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, lif hacim oranının düşük olduğu kompozitlerde değerler biraz daha yüksek, lif hacim oranının yüksek olduğu kompozitlerde ise sertlik değeri hemen aynı tespit edilmiştir. Lifli ve lifsiz alçı kompozitlerin Shore D sertlik değerleri, 50 ile 59 arasında değişmekte ve birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Kompozitler içindeki su/alçı oranının her numunede aynı kalmasıyla numunelerin sertlik değerlerinde kayda değer bir değişim olmadığı

yorumu yapılabilir. Kompozit üretiminde ve deneysel çalışmalarda dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise, üretim sırasında homojen dağılmamış liflerin ve matriks içindeki yoğun kısımların varlığıdır. Bu durumun, kompozitlerin sertlik değerlerinde küçük değişimlerin olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.2 : rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Sertlik Değeri (Shore D)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Sertlik Değeri (Shore D)
0	0	0	53	53
0,05	1	5	54	56
0,075			56	55
0,1			58	55
0,15			55	53
0,2			56	54
0,25			57	51
0,5			57	54
0,75			56	54
1			59	51



Şekil 4.2 : rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik grafiği.

4.3 Buhar Geçirgenlik Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

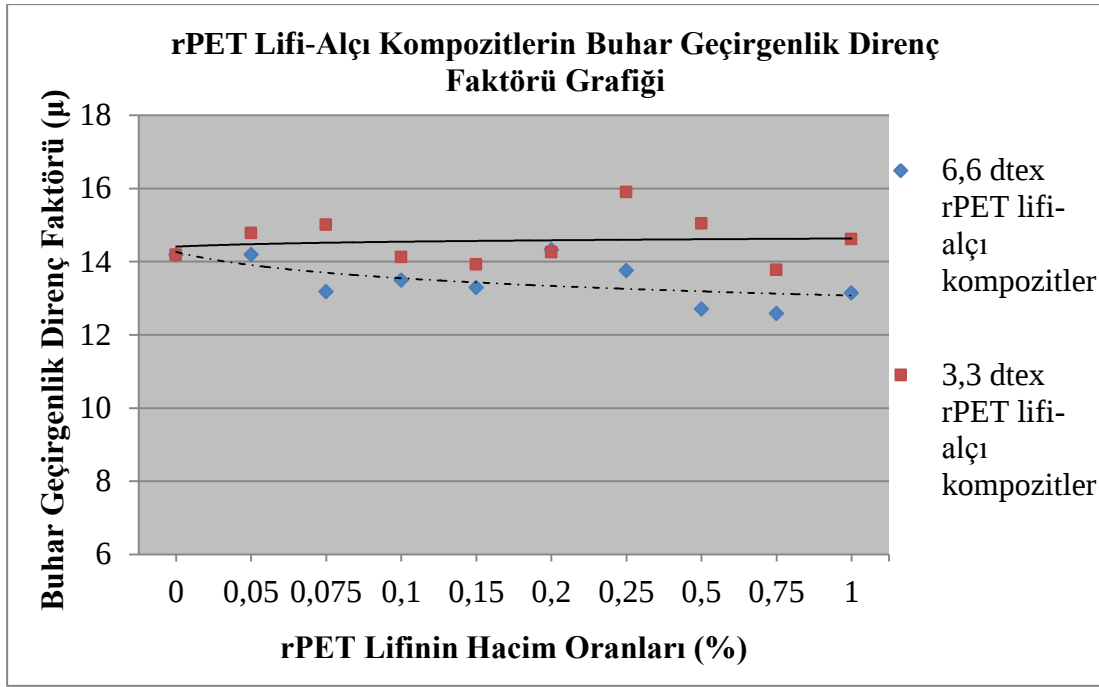
3,3 ve 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin buhar geçirgenlik difüzyon faktörü (μ) değeri sonuçları aşağıda Şekil 4.3 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. 3,3 dtex rPET-alçı kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerlerinin lifsiz alçı numunelerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerleri 13,77 ile 15,89 arasında değişmektedir.

Lifsiz alçı numunelerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değeri 14,18 iken, 6,6 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin en düşük μ değeri 12,58, en yüksek μ değeri ise 14,32'dir. Lifsiz alçı numuneler ve lifli kompozitler birbiriyle karşılaştırıldığında, buhar geçirgenlik değerlerinde kayda değer bir değişim görülmemektedir. Şekil 4.3'te kompozitlere ait μ değerlerinin birbirine yakın olduğu ve ortalama değerin 14 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3 : rPET lifi- alçı kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Buhar Geçirgenlik Direnç Faktörü (μ)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Buhar Geçirgenlik Direnç Faktörü (μ)
0	0	0	14,18	14,18
0,05	1	5	14,78	14,19
0,075			15	13,18
0,1			14,13	13,49
0,15			13,92	13,29
0,2			14,25	14,32
0,25			15,89	13,76
0,5			15,04	12,70
0,75			13,77	12,58
1			14,61	13,14

rPET lifi-alçı kompozitlerinin içerdiği su/alçı oranının bütün numunelerde sabit olması nedeniyle, kompozitlerin buhar geçirgenlik değerlerinin değişmemesi beklenebilir. Ancak lif miktarının değişimiyle birlikte buharın geçiş yollarında değişimler olmuştur. Buharın geçiş yollarında oluşan bu değişimlerin, buhar geçirgenlik direnç faktörü değerinde az miktarda düşüşe neden olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 4.3 : rPET lifi-alçı kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü grafiği.

4.4 Ultrases Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

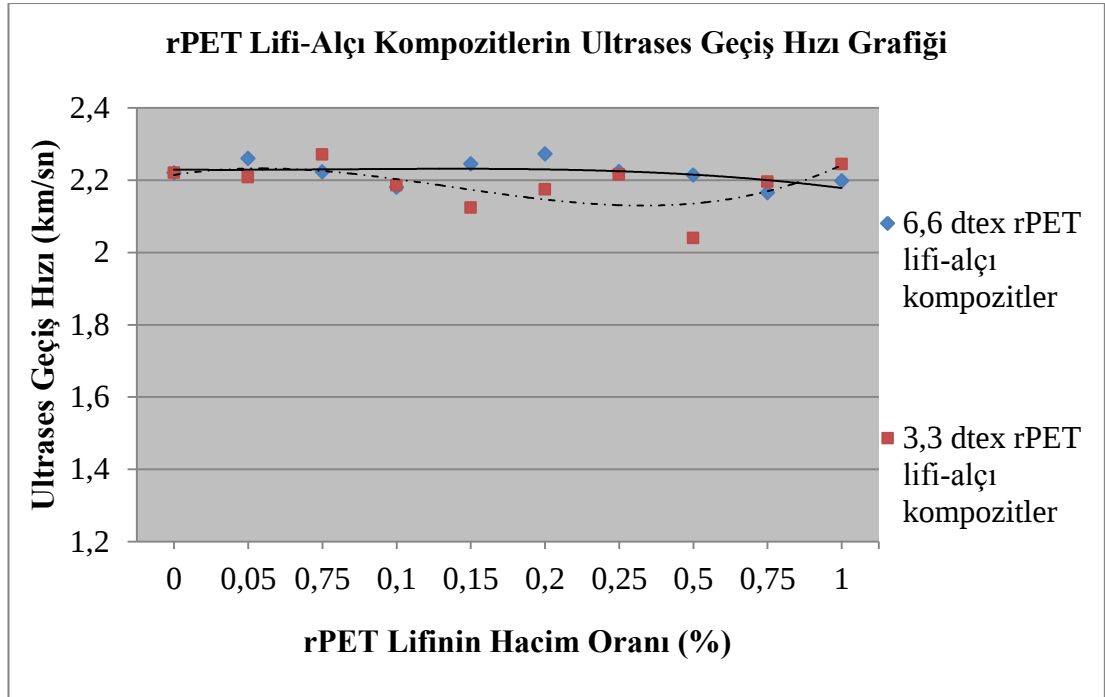
Kompozitlerin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları, Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Lifsiz alçı numunelerin ultrases geçiş hızı 2,22 km/sn olarak ölçülmüştür. Lifli kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerlerinin 2,12 km/sn ile 2,27 km/sn arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.4 : rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
0	0	0	2,22	2,22
0,05	1	5	2,21	2,26
0,075			2,27	2,22
0,1			2,19	2,18
0,15			2,12	2,24
0,2			2,17	2,27
0,25			2,21	2,22
0,5			2,04	2,21
0,75			2,1	2,17
1			2,24	2,2

6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları incelendiğinde, lifsiz alçı numunelerin ultrases geçiş hızı değeri 2,22 iken, lifli alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerlerinin 2,17 ile 2,27 km/sn arasında değiştiği görülmektedir. 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin deney sonuçlarıyla benzer şekilde, 6,6 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerlerinde önemli sayılabilecek bir farklılık görülmemektedir.

Bütün numune değerleri incelendiğinde 3,3 dtex ve hacimce %0,5 rPET lifi içeren kompozitlerin ultrases değerinin diğer numunelerin değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş lifli kompozitlerde, lif oranının artışına bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerinin ve birim hacim ağırlık değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.18, Sayfa 91). Bu durum, lif artışıyla birlikte kompozitlerin boşluk oranının arttığını göstermektedir. Bununla birlikte aderans artırıcı katkı malzemesi ilavesiyle, sabit su/hacim oranlarındaki kompozitlerin lif hacim oranlarındaki değişime rağmen ultrases geçiş hızı değerlerinde değişim olmamasının, aderans artırıcı katkı malzemesinin ilavesiyle kompozitlerin boşluk oranının azalmasından kaynaklandığı yorumu yapılabilir. Deney sonuçlarına göre 3,3 ve 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin, çok boşluklu bir yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 : rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı grafiği.

4.5 Rötire Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

6,6 ve 3,3 dtex PET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin rötire deneyleri sonuçları ve ağırlık kaybı yüzdeleri Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.5 : rPET lifi-alçı kompozitlerin rötire değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Rötire Değeri (%)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Rötire Değeri (%)
0	0	0	-0,000125	-0,000125
0,05	1	5	0,000219	0,000281
0,075			0,000417	0,000031
0,1			0,000552	0,000188
0,15			0,000333	0,000333
0,2			0,000448	0,000063
0,25			0,000531	0,000047
0,5			0,000510	0,000042
0,75			0,000687	0,000292
1			0,000500	0,000354

Çizelge 4.5 incelendiğinde, lifsiz şahit alçı numunelerin rötire değerinin azaldığı, 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerde, lif hacim oranı arttıkça, rötire değerinin de arttığı görülmektedir. Bu ise beklenen bir sonuçtur. En yüksek rötire değeri, en fazla lif hacim oranına sahip olan yani hacimce %1 oranında rPET lifi içeren alçı kompozitlerde görülmektedir. Benzer şekilde, Eve ve arkadaşları (2006), farklı hacim oranlarında poliamid liflerle ve lateks katkısıyla güçlendirilmiş alçı kompozitlerin rötire değerlerini inceledikleri çalışmalarında, lif hacim oranının artışına bağlı olarak kompozitlerin rötire değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir. Bu durumun nedeni ise, kompozit içindeki lif miktarının artmasına bağlı olarak kalsiyum sülfat dihidrat miktarının artması şeklinde açıklanmıştır. Kompozitler içine lateks katkısının ise rötreyi artırdığı tespit edilmiştir. rPET lifi ve aderans artırıcı katkı malzemesinin bir arada kullanılmasıyla, rPET lifi-alçı kompozit numunelerin rötire değerlerinin arttığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.6’da verilmiş olan ağırlık kaybı sonuçlarının birbirine yakın olması, su/alçı oranının bütün numunelerde aynı olmasıyla açıklanabilir. 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerde görülen rötire oranının, 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin rötire

değerinden daha fazla olduğu görülmektedir. 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitler arasında en yüksek rötne değerine, 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerle benzer şekilde, en yüksek lif hacim orandaki kompozitlerin sahip olduğu, benzer şekilde kompozitlerin ağırlık kaybı yüzdelerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Literatür çalışmalarında, Kim ve arkadaşları (2008), kabartılmış, dalgalı ve düz formda olmak üzere üç farklı rPET lifiyle güçlendirilmiş beton kompozitlerinin özelliklerini incelemişlerdir. Kabartılmış rPET lifiyle güçlendirilmiş rPET liflerinin, betonun rötresinin kontrol edilmesinde en etkili lif türü olduğunu tespit etmişlerdir. Kabartılmış rPET lifleriyle güçlendirilmiş beton numunelerin en yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip olduğunu, farklı lif türleriyle üretilmiş numunelerin mekanik dayanımları arasındaki farkın ise yaklaşık üç kat olduğunu belirtmişlerdir. Bu tez çalışmasında, düz formda rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin özellikleri incelenmiştir. Farklı yüzey özelliklerine sahip rPET liflerinin alçı içinde kullanılmasıyla yeni çalışmalar yapılabilceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.6 : rPET lifi-alçı kompozitlerin ağırlık kaybı yüzdeleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Ağırlık Kaybı Yüzdeleri (%)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Ağırlık Kaybı Yüzdeleri (%)
0	0	0	27,3	27,3
0,05	1	5	26,7	27
0,075			26,4	26,5
0,1			26,9	27,1
0,15			27	26,9
0,2			25,1	27,2
0,25			26,1	26,5
0,5			26,6	27,1
0,75			26,2	27,4
1			26,3	26,6

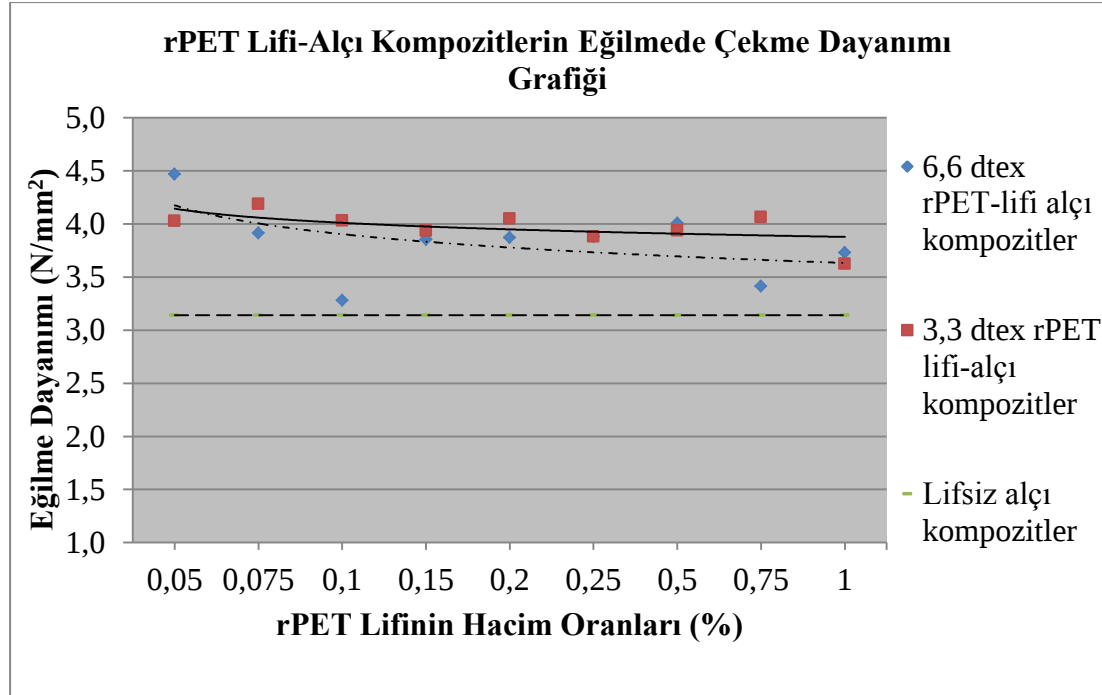
4.6 Eğilmede Çekme Dayanımını Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4x4x16 cm boyutlarında hazırlanmış rPET lifi-alçı kompozitler üzerinde yapılan eğilmede çekme dayanımı sonuçları, Çizelge 4.7’de ve Şekil 4.5’te verilmiştir. 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlere ait eğilmede çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, lifsiz alçı numunelere kıyasla, diğer bütün lifli alçı kompozitlerin

eğilme dayanımlarının daha fazla olduğu görülmektedir. 4,47 N/mm² olarak ölçülmüş en yüksek eğilme dayanımı değeri, % 0,05 oranında rPET lifi içeren alçı kompozitlerde tespit edilmiştir. Lifsiz alçı numunelerin eğilme dayanım değeri 3,14 N/mm² olup, alçının içine rPET lifi ilavesinin, alçının eğilme dayanımını %42 oranında iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7 : rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
0	0	0	3,1	3,1
0,05	1	5	4,0	4,5
0,075			4,2	3,9
0,1			4	3,3
0,15			3,9	3,9
0,2			4,1	3,9
0,25			3,9	3,9
0,5			3,9	4,0
0,75			4,1	3,4
1			3,6	3,7



Şekil 4.5 : rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilmede çekme dayanımı grafiği.

3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilmede çekme dayanımı değerleriyle benzer şekilde, 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri, lif hacim oranının artmasıyla azalmaktadır. Literatür çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Eve ve arkadaşları (2002), poliamid lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, lif hacim oranının artışıyla birlikte, kompozitlerin eğilme dayanımı değerlerinin azaldığını ifade etmişlerdir. Hacimce %0 ve %1 arasında poliamid lifi içeren numunelerin, en yüksek eğilme dayanımına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumun, lif ile matriks arasındaki aderansın zayıf olması ve liflerin kompozit içindeki miktarının artmasıyla, alçı matriksindeki boşluk miktarının artmasıyla açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Santos (2009), polipropilen lifi-alçı kompozitlerin mekanik özelliklerini incelediği çalışmada, alçının içine polipropilen lif ilavesiyle, alçının eğilme dayanımı değerinin de arttığını ifade etmiştir.

rPET lifi-alçı kompozitlerin içindeki rPET liflerinin artmasıyla matriksin boşluklu yapısının artmasına bağlı olarak kompozitlerin eğilme dayanımı değerinin de azaldığı düşünülmektedir. Şekil 4.5'te, aynı hacim oranı ve farklı lif çapına sahip alçı kompozitlerin eğilme dayanım değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Aran (1990), üretim koşulları ne kadar sıkı kontrol edilirse edilsin, kompozitlerin, özellikleri bakımından, üretim sonrasında genelde hata oranı en yüksek malzemelerden olduğunu belirtmiştir. Bu hataların miktarının, üretim yöntemlerine göre değişebilmekle birlikte en yüksek hata oranına, elle üretim yönteminde rastlandığını ifade etmiştir. Ayrıca Aran (1990), elyaf takviyeli kompozitlerde, ortalama elyaf hacim oranının az olması, elyafın yanlış yerleştirilmesi veya kırılması, homojen dağılmamış liflerin ve matriksçe yoğun kısımların varlığı, delaminasyonlar, malzemenin katılaşması sonucunda oluşan hatalar, üretim bitiminde soğuma sırasında oluşan reçine çatlakları, matriks tarafından ıslatılmamış olan elyafli bölgelerin bulunması nedeniyle kusurların oluştuğunu ifade etmiştir. Bu kusurların kompozit malzemelerin dayanımlarının düşürdüğünü ve zorlamaların artışıyla büyüdüklerini ifade etmiştir. Bu durumun, deneysel çalışmalarda göz önüne alınmasında fayda olduğu düşünülmektedir.

4.7 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3,3 ve 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanım deneyi sonuçları Çizelge 4.8 ve Şekil 4.6’da verilmiştir.

3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin arasında %0,075 lif hacim oranına sahip numunelerinin en yüksek basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir. Lifli alçı kompozitlerin basınç dayanım değerleri, şahit lifsiz alçı numunelerin basınç dayanımı değeriyle karşılaştırıldığında, alçının dayanımının %62 oranında iyileştiği görülmektedir. Lif hacim oranı arttıkça, a kompozitlerin basınç dayanımlarında azalma olmuştur. Su oranının artışına bağlı olarak matriks fazının basınç dayanımının da düştüğü bilinmektedir (Taşdemir ve diğ., 2003). Lifli alçı kompozitler arasında en düşük basınç dayanımı değeri, 8,63 N/mm² olarak, lif hacim oranı %0,5 olan kompozitlerde elde edilmiş olup, bu değer şahit lifsiz alçı numunelerin basınç dayanımı değerine göre %25 oranında daha fazladır.

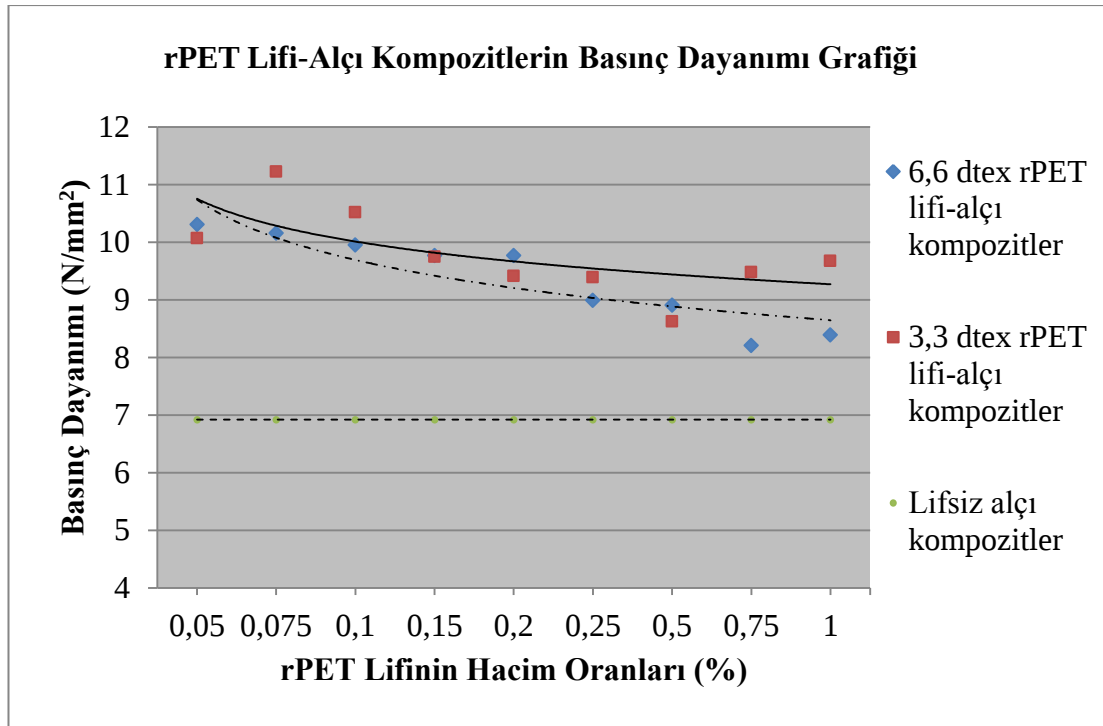
Çizelge 4.8 : rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Basınç Dayanımı (N/mm ²)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Basınç Dayanımı (N/mm ²)
0	0	0	6,9	6,9
0,05	1	5	10,1	10,3
0,075			11,2	10,2
0,1			10,5	10
0,15			9,8	9,8
0,2			9,4	9,8
0,25			9,4	9
0,5			8,6	8,9
0,75			9,5	8,2
1			9,7	8,4

6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlere ait basınç dayanım değerleri incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımı değerinin, hacimce %0,05 oranında lif içeren kompozitlerin olduğu görülmektedir. Lifsiz alçının basınç dayanımı değeriyle karşılaştırıldığında, kompozitlerin dayanımında yaklaşık %49 oranında bir artış olmuştur. Lif hacim oranı arttıkça, basınç dayanımı değerinde bir düşüş olmasına rağmen, lifli alçı

kompozitler içinde en düşük basınç dayanımı değerine sahip kompozitler, lifsiz alçının basınç dayanımından yaklaşık %19 daha fazladır.

Elyaf çapının, kompozitlerin mekanik dayanımları üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir. Küçük çaplı elyafla üretilmiş kompozitlerde yeterli ara yüzey bağı temin edildiğinde, daha büyük çaplı lifle güçlendirilmiş kompozitlerden daha yüksek dayanım elde edilmektedir (Şahin, 2006). 3,3 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin basınç dayanımlarının, 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımlarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, kompozitlerde yeterli ara yüzey bağı temin edildiği yorumu yapılabilir.



Şekil 4.6 : rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı grafiği.

Eve ve arkadaşları (2002), poliamid lifi-alçı numunelerin basınç dayanım değerlerini inceledikleri çalışmalarında, eğilme dayanım değerleriyle benzer şekilde basınç dayanım değerlerinde azalma tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin matriks içinde oluşan kayma gerilmeleri olduğu düşünülebilir. Çizelge 3.18’de (Bkz. Sayfa 91) aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmemiş rPET lifi-alçı kompozitlere ait basınç dayanım değerleri incelendiğinde, kompozitler içindeki lif hacim oranının artışıyla, kompozitlerin basınç dayanımında düşüş tespit edilmiştir. Bu kompozitler arasında, hacimce % 0,15 oranında lif içeren numunelerin basınç dayanımı değerinin, diğer kompozitlerin basınç dayanımı değerinden daha yüksek olduğu tespit

edilmiştir. Lif hacim oranı arttıkça, kompozitlerin basınç dayanımının azaldığı, şahit lifsiz alçı numunelerin basınç dayanım değerinden de düşük değerlerin elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 4.8 incelendiğinde, aderans artırıcı katkı malzemesinin ilavesiyle, numunelerin basınç dayanım değerlerinin de arttığı görülmüştür. Her ne kadar lif oranının artışıyla, basınç dayanım değerinde düşüş görülse de, bütün kompozitlerin basınç dayanımı değerleri, lifsiz şahit alçı numunelerin basınç dayanımı değerinden daha yüksektir.

Lifsiz şahit alçı numunelerle karşılaştırıldığında, kompozitlerin sadece eğilme dayanımları değil, aynı zamanda basınç dayanım değerleri de artmıştır. Basınç dayanımındaki görülen bu artış, liflerin, kompozitlerin içinde oluşan kayma gerilmelerini ve yanal şişmeleri engellemelerinden ve yatay çekme gerilmelerini karşılamalarından kaynaklanmaktadır.

Siddique ve arkadaşları (2008), Soroushian ve arkadaşlarından (2003) yaptıkları alıntılarında, sadece farklı türde geri dönüştürülmüş polimer lifleriyle güçlendirilmiş beton kompozitlerin basınç dayanımlarının, polimer lif etkisiyle bir miktar arttığını tespit etmişlerdir. Eve ve arkadaşları (2007), poliamid lifi-alçı kompozitlerin porozitelerinin lateks dolgusu ilavesiyle azaldığını belirlemişlerdir. rPET lifi-alçı kompozitlerde, aderans artırıcı katkı malzemesinin, liflerin çevresini sararak, lif ile alçı arasında zayıf olan aderansı iyileştirdiği yorumu yapılabilir. Böylece matrisin porozitesi azalmakta, kompozitlerin mekanik dayanımları da artmaktadır.

4.8 Charpy Çarpma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

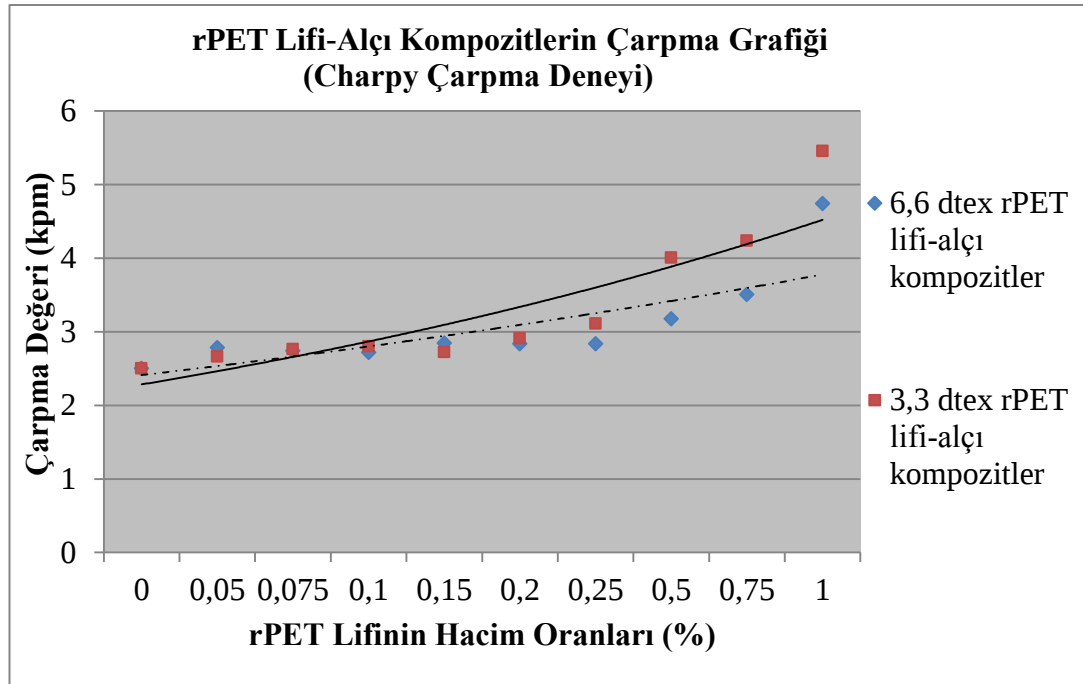
3,3 ve 6,6 dtex çaplı rPET lifiyle güçlendirilmiş, 1x1x16 cm boyutlarındaki alçı kompozitlerle yapılmış Charpy çarpma deneyleri sonucunda elde edilmiş sonuçlar, Çizelge 4.9 tablo ve Şekil 4.7’de grafik şeklinde verilmiştir.

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.7 incelendiğinde, 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin beklenildiği üzere, lif hacim oranları arttıkça, çarpma değerleri de artmıştır. En yüksek çarpma değeri, en fazla lif içeren (hacimce %1 oranında) alçı kompozitlerde elde edilmiştir. Lifsiz alçı numunelerle karşılaştırıldığında, çarpma değeri 2 kat artmıştır. Lifsiz alçı karışımının çarpma değeri 2,5 kpm iken, en düşük çarpma değerine sahip kompozit, 2,66 kpm ile %0,05 lif içeren alçı kompozit numunelerde

tespit edilmiştir. 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin deney sonuçlarına göre, lif hacim oranının artmasıyla çarpma değeri de artmıştır. En yüksek çarpma değerine sahip kompozitler, hacimce %1 oranında lif içermektedir. Lifsiz alçı kompozitlerin çarpma değeriyle kıyaslandığında, lifler, çarpma değerini yaklaşık 2 kat artırmıştır. En düşük çarpma değeri ise 2,72 kpm ile %0,1 lif hacim oranına kompozitlerindir. İki farklı lif grubunun çarpma değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9 : rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma deneyi sonuçları.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Çarpma Değeri (kpm) (Charpy)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Çarpma Değeri (kpm) (Charpy)
0	0	0	2,5	2,5
0,05	1	5	2,7	2,8
0,075			2,8	2,7
0,1			2,8	2,7
0,15			2,7	2,8
0,2			2,9	2,8
0,25			3,1	2,8
0,5			4	3,2
0,75			4,2	3,5
1			5,5	4,7



Şekil 4.7 : rPET lifi-alçı kompozitlerin çarpma grafiği.

Literatürde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ali ve Grimer (1969), cam lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin darbe dayanımlarının, kompozitlerin lif hacim oranının artışıyla paralel olarak arttığını, hacimce %10 oranında lif içeren alçı kompozitlerin darbe dayanımlarının 3 kat arttığını tespit etmişlerdir. Siddique ve arkadaşları (2008), Bayesi ve Zeng'den (1993) yaptıkları alıntılarında, polipropilen liflerle güçlendirilmiş seramik malzemelerden olan betonun darbe dayanımının, lif katkısıyla birlikte kayda değer oranda arttığını ifade etmişlerdir. Siddique ve arkadaşları (2008), Soroushian ve arkadaşlarından (2003) yaptıkları alıntılarında, farklı türde geri dönüştürülmüş polimer lifleriyle üretilmiş beton kompozitlerin darbe dayanımlarının incelendiği çalışmada, bütün geri dönüştürülmüş polimer lifleriyle güçlendirilmiş beton kompozitlerin darbe dayanımı değerlerinin, lifsiz beton şahit numunenin darbe dayanımı değerinden daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda, geri dönüşüm veya saf olan bütün polimer liflerinin seramik matriks içindeki mikro çatlakların büyümesini engellediği görülmüştür.

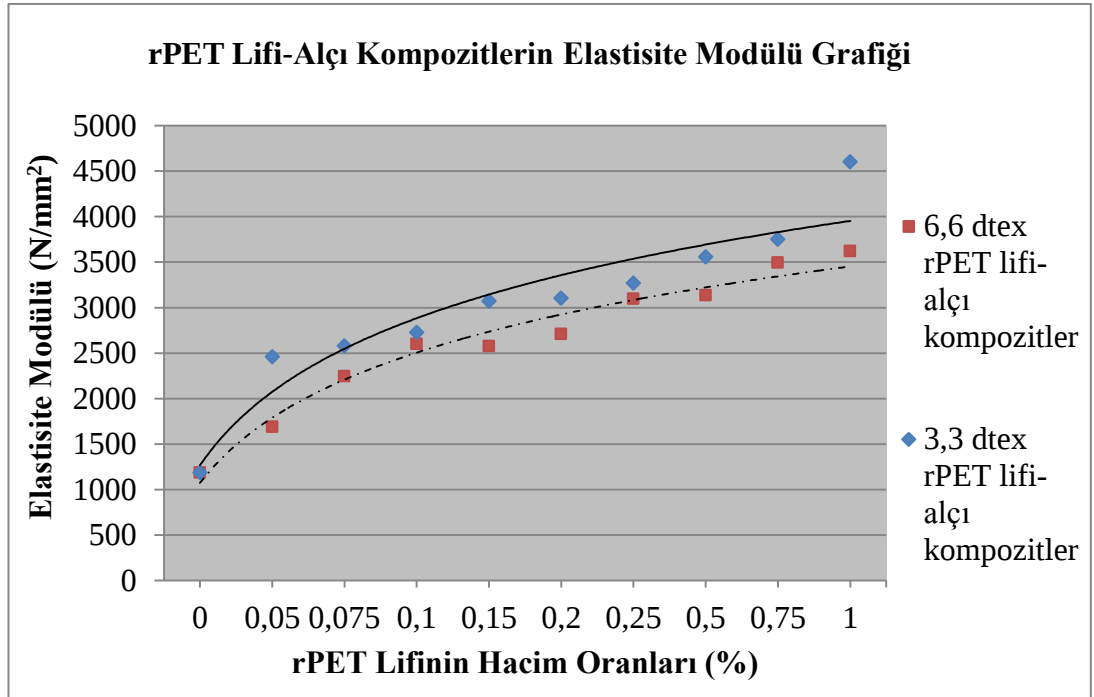
4.9 Elastisite Modülü Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elastisite modülü ve tokluk değeri, $\Phi 7 \times 16$ cm boyutlarında üretilmiş silindir numunelerin basınç dayanımı deneyleriyle hesaplanmıştır. Çizelge 4.10 ve Şekil 4.8'de 3,3 ve 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlere ait elastisite modülü değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10 : rPET lifi-alçı kompozitlerin elastisite modülü değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Elastisite Modülü (N/mm ²)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Elastisite Modülü (N/mm ²)
0	0	0	1184	1184
0,05	1	5	2459	1689
0,075			2578	2244
0,1			2724	2600
0,15			3070	2575
0,2			3103	2709
0,25			3266	3094
0,5			3556	3134
0,75			3748	3491
1			4600	3619

3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin grafikleştirildiği Şekil 4.8’de, lif hacim oranının artışıyla birlikte kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin de arttığı görülmektedir. %1 hacim oranında lif içeren kompozitlerin en yüksek elastisite modülü değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. 6,6 dtex rPET lifiyle üretilmiş alçı kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin verildiği Çizelge 4.10 incelendiğinde, benzer şekilde, lif hacim oranının artışıyla birlikte kompozitlerin elastisite modülü değerlerinin de arttığı görülmektedir. En yüksek elastisite modülü değerinin, hacimce %1 oranında lif içeren alçı kompozitlerin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8 : rPET lifi-alçı kompozitlerin elastisite modülü grafiği.

rPET lifi-alçı kompozitlerin mekanik deney sonuçlarına göre, lif hacim oranının artışına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımında küçük oranda düşüşler olmasına rağmen, elastisite modülü değerlerinde artış görülmektedir. Formül 3.14’te verilen statik elastisite modülü bağıntısına göre, farklı lif hacim oranlarındaki kompozitlerin gerilme dayanımları kayda değer oranda değişmemesine rağmen, şekil değiştirme, lif artışına bağlı olarak azalmakta ve dolayısıyla elastisite modülünde artışa neden olmaktadır. Dinamik elastisite modülü bağıntısı ise Formül 3.15’te verilmiştir. Bağıntıda, ultrases hızıyla elastisite modülü arasında doğru orantı bulunmaktadır. Alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızında kayda değer değişim olmamasına rağmen, kompozitlerin statik elastisite modülleri artmıştır. Bu durum, rPET liflerinin, yük altında şekil değiştirmeyi engellemelerinden kaynaklanmaktadır.

$$E_s = \sigma / \epsilon \quad (3.14)$$

E_s : Statik Elastisite Modülü (N/mm²)

σ : Gerilme Dayanımı (N/mm²)

ϵ : Şekil Değişirme

$$E_d = 10^5 x V^2 x \frac{\Delta}{g} \quad (3.15)$$

E_d : Dinamik Elastisite Modülü (N/mm²)

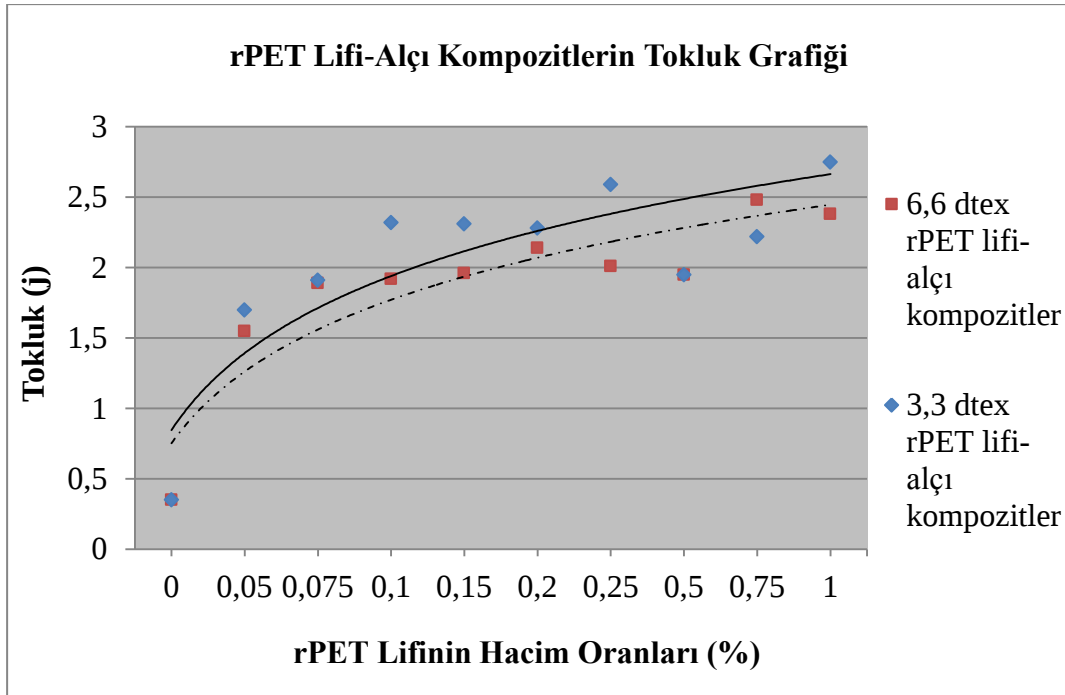
V : Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)

Δ : Birim Hacim Ağırlık

g : Yerçekimi İvmesi (9,81 m/sn²)

4.10 Tokluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3,3 ve 6,6 dtex rPET lifi ile güçlendirilmiş alçı kompozitlerin tokluk değerleri, Çizelge 4.11 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 : rPET lifi-alçı kompozitlerin tokluk grafiği.

3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin tokluk değerleri incelendiğinde, lif hacim oranının artmasıyla, kompozitlerin tokluk değerinde bir artış olduğu görülmektedir.

Tokluk değeriinde görülen bu artış, bütün lifle güçlendirilmiş kompozitlerde beklenen bir durumdur. Lifler, stres altındaki kompozitlerde oluşan mikro çatlakların büyüyerek makro çatlaklara dönüşmesini engellemekte, böylece kompozitlerin ani kırılmalarını önlemektedir. Darbeler karşısında, alçı numunelerin dayanımı liflerle artırılmıştır. En düşük lif hacim oranına sahip kompozit ile en yüksek lif hacim oranına sahip kompozitin tokluk değerleri arasında yaklaşık %62 oranında fark vardır. Lifsiz alçı numunelere göre ise kompozitlerin tokluk değerlerinde oldukça yüksek bir artış olmuştur. Lif katkısıyla birlikte, şahit alçı karışıma kıyasla, tokluk değeriinde 7 kata kadar iyileştirme sağlanmıştır.

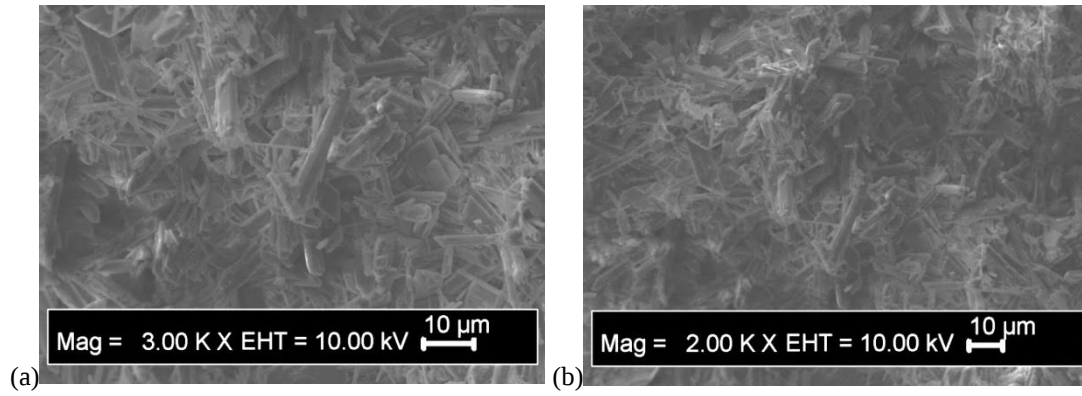
6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin tokluk değerlerinin verildiği Şekil 4.9 incelendiğinde, tokluk değerlerinin 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerle benzer şekilde, lif hacim oranının artmasıyla birlikte arttığı görülmektedir. 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitler içinde en yüksek tokluk değerine, %1 lif hacim oranındaki numunelerin sahip olduğu tespit edilmiştir. Lifsiz şahit alçı karışımla karşılaştırıldığında, rPET lifi katkısının, kompozitlerin tokluk değerini 6 kata kadar iyileştirdiği görülmektedir. Benzer şekilde Parres (2009), atık otomobil lastiklerinden elde edilmiş poliamid lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin, lif katkısıyla birlikte darbeler karşısında kırılma geriliminin azaldığını belirtmiştir. Gerilme-şekil değiştirme grafiği yardımıyla hesaplanmış tokluk sonuçları Charpy çarpma deneyi sonuçlarını da desteklemektedir.

Çizelge 4.11 : rPET lifi-alçı kompozitlerin tokluk değerleri.

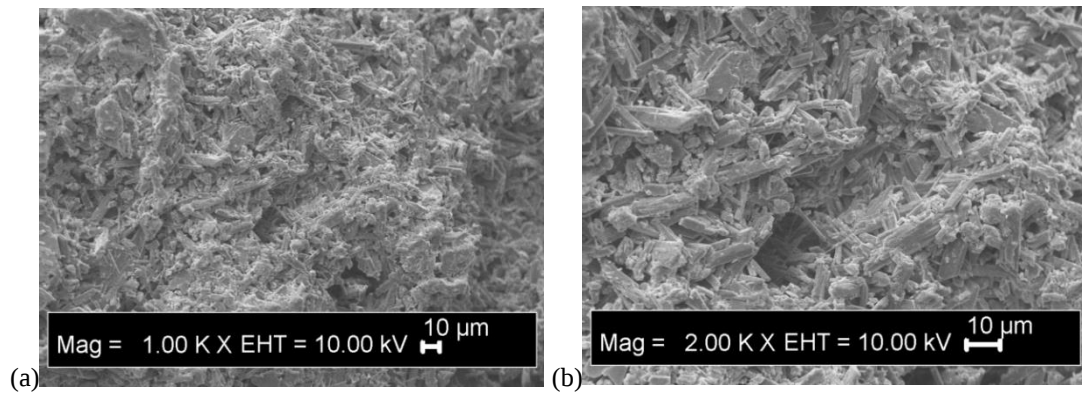
Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Tokluk Değeri (j)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Tokluk Değeri (j)
0	0	0	0,4	0,4
0,05	1	5	1,7	1,6
0,075			1,9	1,9
0,1			2,3	1,9
0,15			2,3	2
0,2			2,3	2,1
0,25			2,6	2
0,5			2	2
0,75			2,2	2,5
1			2,8	2,4

4.11 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

rPET lifi-alçı kompozitlere ait SEM fotoğrafları Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.10 a-b’de 3.00Kx ve 2.00 Kx büyütülmüş, Şekil 4.11 a-b’de 1.00Kx ve 2.00Kx büyütülmüş alçı kompozitlere ait SEM fotoğraflarında alçı numunelerin mikro yapıları görülmektedir. Alçının mikro yapısı incelendiğinde, alçının içinde karmakarışık, rastgele yönelmiş iğnemsî, küçük kristallerin olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.12-13-14-15-16’da, 3,3 dtex ve 6,6 dtex rPET lifi ve aderans artırıcı katkı malzemesi içeren alçı kompozitler içindeki rPET liflerinin yerleşimleri görülmektedir. Aderans artırıcı katkı malzemesinin de etkisiyle, rPET lifiyle alçı arasında aderansın yeterli oranda sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4.10 : 6,6 dtex çaplı hacimce %0,05 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkı alçı kompozite ait (a)3.00Kx (b)2.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.

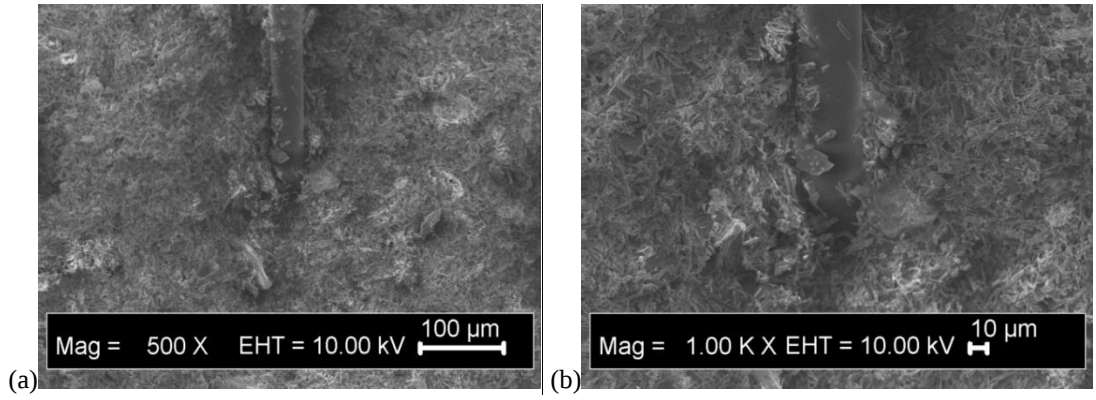


Şekil 4.11 : 6,6 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkı alçı kompozite ait (a) 500x (b) 1.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.

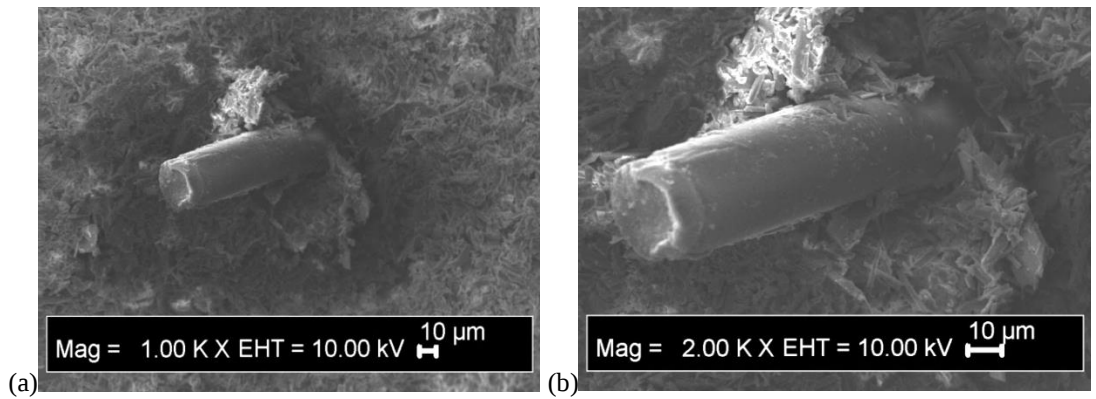
Rubio-Avalos ve arkadaşları (2005), alçı kompozitlerde, polimer katkılardan olan stiren bütadien lateks ilavesiyle, alçının eğilme dayanımının iyileştirildiğini tespit etmişlerdir. Su içinde kolloidal davranış sergileyen lateks katkısının, alçı matriks içinde, kapiler boşlukları doldurduğu ve alçı kristallerinin yüzeylerini kapladığını,

matriksin içinde polimer bir film tabakası, diğer bir ifadeyle polimer bir ağ tabakası oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Böylece yük karşısında, kompozitlerin içindeki mikro çatlakların yayılmasının önlenerek, kompozitlerin eğilme dayanımlarının artırıldığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, aderans artırıcı katkı malzemesiyle birlikte, alçı matriksin içinde polimer bir film tabakasının oluştuğu ve rPET liflerinin çevresini saran aderans artırıcı katkının, alçı ile rPET lifi arasındaki aderansı artırdığı yorumu yapılabilir.

Daha önceden yapılmış çalışmalarda, aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmemiş rPET lifi-alçı kompozitler içinde, alçı matriksi içinde dağılmış rPET liflerinin çevresinde boşluk oluştuğu, bu boşluklar nedeniyle alçı ve lifler arasında yeterli aderansın sağlanamadığı gözlenmiştir (Bkz. Şekil 3.32 ve 3.33, sayfa: 92-93).



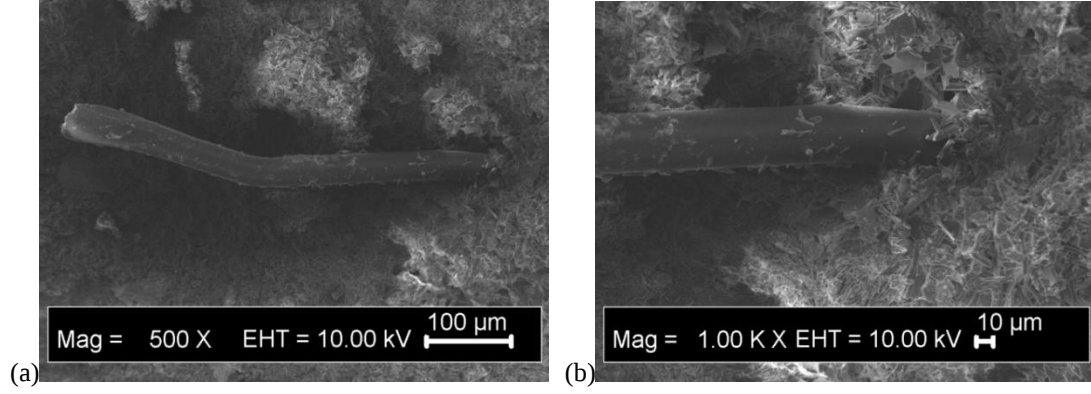
Şekil 4.12 : 3,3 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 500x (b) 1.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.



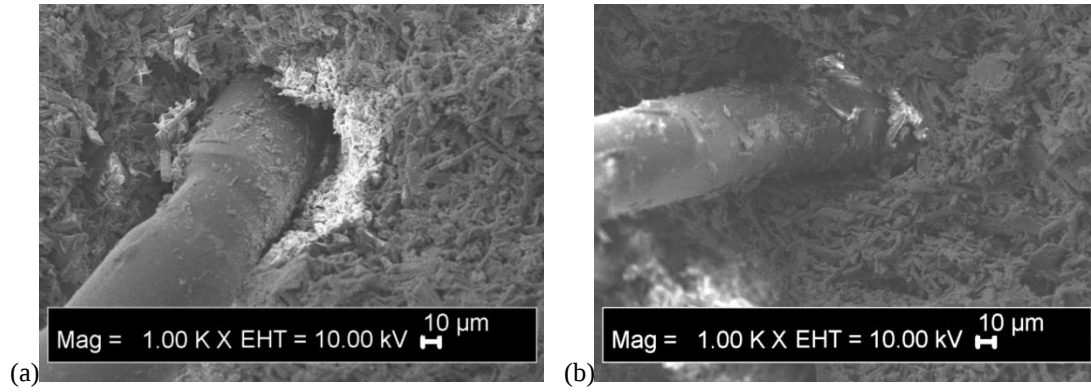
Şekil 4.13 : 3,3 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 1.00Kx (b) 2.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.

rPET lifi ve alçı arasındaki aderansın iyileştirilmesi amacıyla kompozite eklenmiş olan aderans artırıcı katkı malzemesiyle birlikte, liflerin çevresindeki boşlukların oluşmadığı, lifleri saran aderans artırıcı katkı malzemesinin liflerin alçıyla

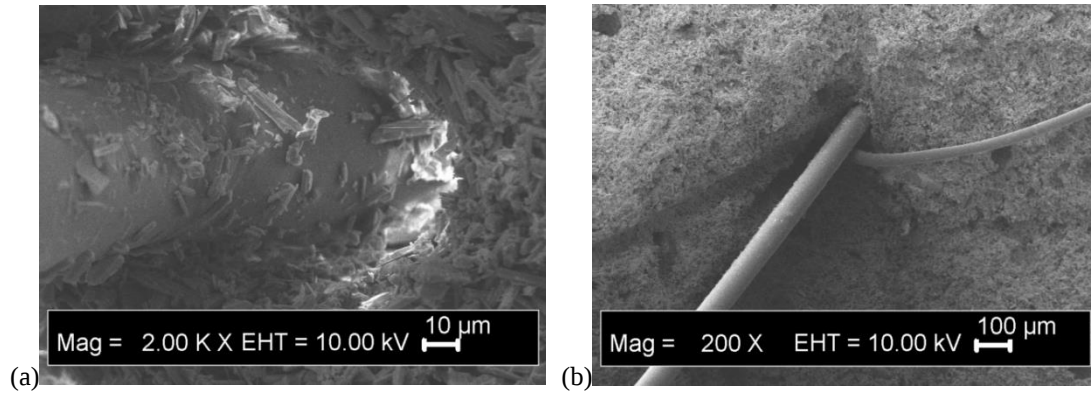
birleşimini artırarak, aderansı iyileştirdiği, Şekil 4.12-16'de verilmiş olan SEM fotoğraflarında da görülebilmektedir. Lif ile alçı arasındaki aderansın iyileşmesine bağlı olarak, kompozitlerin mekanik dayanımlarındaki artış, bütün lif hacim oranlarında, deneyler sonucunda da elde edilmiştir.



Şekil 4.14 : 3,3 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 500x (b) 1.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.



Şekil 4.15 : 6,6 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 1.00Kx (b) 1.00Kx büyütülmüş SEM fotoğrafları.



Şekil 4.16 : 6,6 dtex çaplı hacimce %1 rPET lifi içeren aderans artırıcı katkılı alçı kompozite ait (a) 2.00Kx (b) 200x büyütülmüş SEM fotoğrafları.

4.12 Levhaların Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmada, rPET lifi-alçı kompozitler, 4x4x16 cm prizmatik ve 15 cm çaplı silindir numuneler halinde üretilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Aynı lif boyu ve hacim oranlarında, 40x60x1,5 cm boyutlarında, alçı kompozit levhalar üretilmiş ve bu levhaların Charpy çarpma deneyleri ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılarak mekanik deney sonuçları tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

4.12.1 Levhaların Charpy çarpma deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

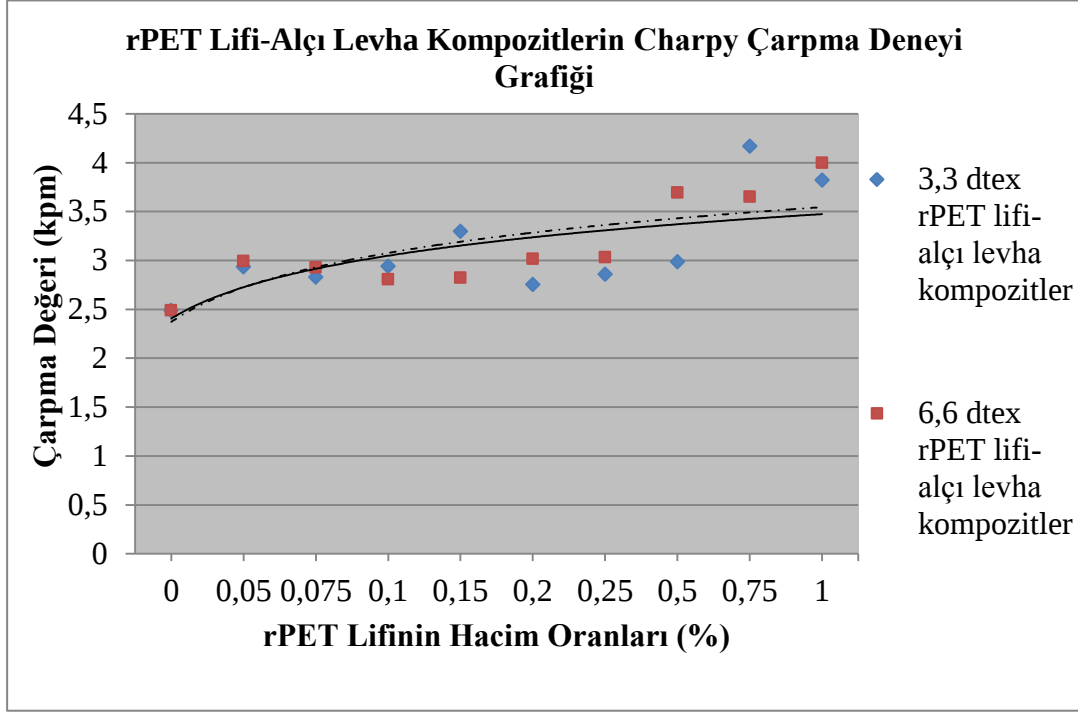
Levhalarından kesilmiş, 1x1x16 cm boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılmış Charpy çarpma deneyi sonucunda elde edilmiş sonuçlar 3,3 ve 6,6 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitler için Çizelge 4.12 ve Şekil 4.17’de verilmiştir.

3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozit levhalara ait Charpy çarpma deneyi sonuçları incelendiğinde, lif hacim oranının artmasına bağlı olarak çarpma değerlerinin de arttığı görülmektedir. Lifsiz alçı numunelerle karşılaştırıldığında, kompozitlerin çarpma değerlerinde yaklaşık %68 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Çizelge 4.12 : rPET lifi-alçı levha kompozitlerin Charpy çarpma değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Levhaların Çarpma Değeri (kpm) (Charpy Çarpma Deneyi)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Levhaların Çarpma Değeri (kpm) (Charpy Çarpma Deneyi)
0	0	0	2,5	2,5
0,05	1	5	2,9	3
0,075			2,8	2,9
0,1			2,9	2,8
0,15			3,3	2,8
0,2			2,8	3
0,25			2,9	3
0,5			3	3,7
0,75			4,2	3,7
1			3,8	4

6,6 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin Charpy çarpma deneyi sonuçlarına göre lif hacim oranının artışına bağlı olarak, levha kompozitlerin çarpma değerlerinde de artış sağlanmıştır. Deney sonuçları, 3,3 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı levha kompozitlerle benzer olup, lif hacim oranının artmasıyla kompozitlerin çarpma değerleri de artmıştır. Lifsiz alçı numunelere kıyasla, levha kompozitlerin çarpma değerlerinde yaklaşık %61 oranında bir iyileşme sağlanmıştır.



Şekil 4.17 : rPET lifi-alçı levha kompozitlerin Charpy çarpma deneyi grafiği.

Levha kompozitler için yapılmış Charpy çarpma deneyi sonuçları, daha önce değerlendirilmiş olan 4x4x16 cm boyutlu numunelerin çarpma deneyi sonuçlarıyla benzer şekilde tespit edilmiştir. Santos (2009), polipropilen katkılı alçı levha kompozitleri incelediği çalışmasında, lif katkısıyla, alçının gevrekliğinin ve kırılganlığının bir miktar iyileştirildiğini, çatlakların ani kırılmalar oluşturacak şekilde büyümediklerini, ayrıca oluşmuş çatlakların da onarılabildiğini ifade etmiştir.

4.12.2 Levhaların eğilme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi

rPET lifi-alçı kompozit levhaların eğilme dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 4.13 ve Şekil 4.18’de görülmektedir.

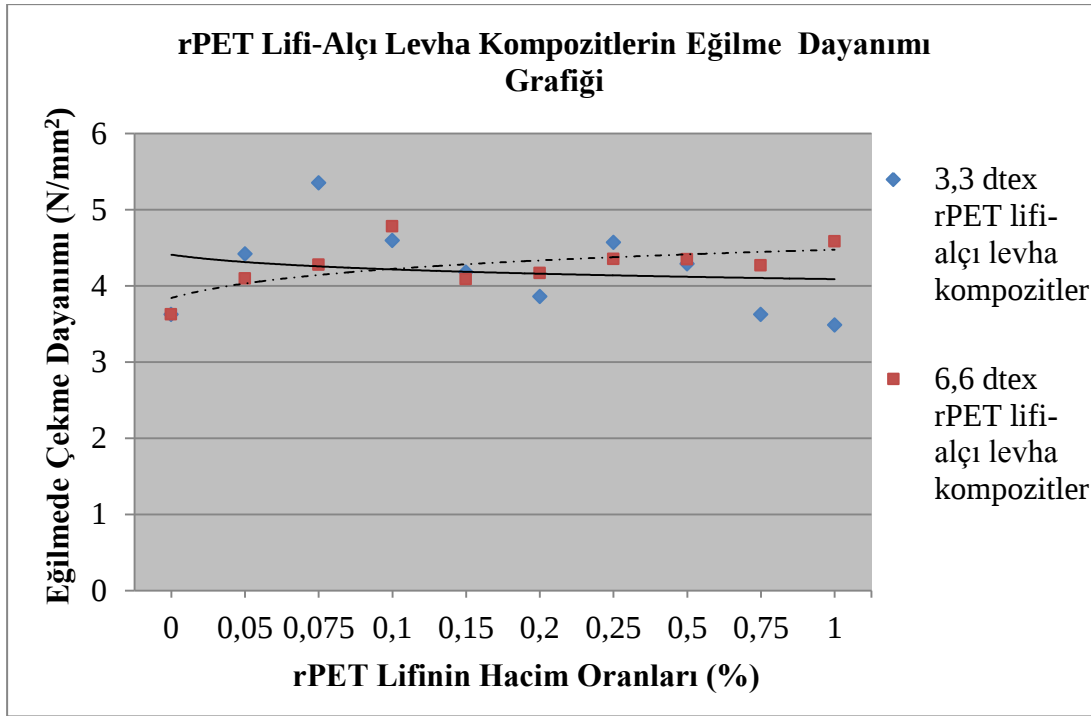
Deney sonuçlarına göre, rPET lifi katkısının, düşük lif hacim oranlarına sahip alçı kompozitlerde eğilme dayanımını yükselttiği görülmektedir. 3,3 dtex rPET lifi-alçı

kompozit levhalar içinde en yüksek eğilme dayanımı değerinin, hacimce %0,075 oranında lif içeren kompozitlerde elde edildiği ve lif katkısının, lifsiz alçı numunelerin eğilme dayanımını yaklaşık %48 oranında iyileştirdiği görülmektedir. 3,3 dtex rPET lifiyle, 4x4x16 cm boyutlarında üretilmiş alçı kompozitler için yapılmış eğilmede çekme dayanımı deneylerinde de benzer sonuçlar elde edilmiş ve en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri, hacimce %0,075 oranında lif içeren kompozitlerde elde edilmiştir.

6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlere ait eğilmede çekme dayanımı sonuçlarına göre, lif katkısının alçı kompozitlerin eğilme dayanımını artırdığı görülmektedir. Lif katkısıyla alçının eğilme dayanımı yaklaşık %32 oranında artmıştır. En yüksek eğilme dayanımı değeri, hacimce % 0,1 oranında rPET lifi içeren levha kompozitlerde elde edilmiştir. Santos (2009), polipropilen lif katkısıyla güçlendirilmiş alçı levhaların eğilme dayanımlarının %23 oranında iyileştirildiğini ifade etmiştir.

Çizelge 4.13 : rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Lif Hacim Oranı (%)	Lif Boyu (cm)	Aderans Artırıcı Katkı Malzemesi Oranı (%)	3,3 dtex rPET Lifi-Alçı Levhaların Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	6,6 dtex rPET Lifi-Alçı Levhaların Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
0	0	0	3,6	3,6
0,05	1	5	4,4	4,1
0,075			5,4	4,3
0,1			4,6	4,8
0,15			4,2	4,1
0,2			3,9	4,2
0,25			4,6	4,4
0,5			4,3	4,5
0,75			3,6	4,3
1			3,5	4,6



Şekil 4.18 : rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı grafiği.

4.13 Alt Bölüm Sonucu

Adreans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş rPET lifi-alçı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri, Bölüm 4'te değerlendirilmiş, kompozitlere ait mekanik ve fiziksel değerler 3,3 ve 6,6 dtex için Çizelge 4.14-15'te verilmiştir.

Sonuç olarak, kompozitlerin lif hacim oranlarının artışına bağlı olarak, birim hacim ağırlık, buhar geçirgenlik direnç faktörü, sertlik, ultrases geçiş hızı ve ağırlık kaybı değerlerinde kayda değer bir değişim görülmemiştir. Kompozitlerin rötre, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk değerleri ise artmıştır. 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin mekanik dayanım değerleri, 6,6 dtex rPET lifi içeren kompozitlerden daha yüksek belirlenmiştir. Lif ve aderans artırıcı katkı malzemesinin bir arada kullanılmasıyla, alçı kompozitlerin mekanik dayanımları artmış, darbe dayanımı ve kırılgenlikleri azalarak, tokluk değerleri iyileştirilmiştir. Levha kompozitlerin eğilme dayanımı ve çarpma değerleri, prizmatik numunelerin sonuçlarıyla benzer şekilde artmıştır.

En iyi mekanik dayanım değerlerine, aderans arttırıcı katkılı, hacimce %0,05 ve %0,075 oranında ve 1 cm boyunda 3,3 dtex rPET lifi içeren kompozitlerin sahip olduğu görülmüştür. En yüksek darbe dayanımı değerine sahip kompozitler ise, hacimce %1 oranında rPET lifi içeren 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerdir.

Çizelge 4.14 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin fiziksel ve mekanik değerleri.

Lif Çapı (dtex)	Lif Hacim Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Sertlik (Shore D)	Buhar Geçirgenlik Direnç Faktörü (μ)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Rötre (%)	Ağırlık Kaybı Yüzdesi (%)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Charpy Çarpma Değeri (kpm)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Tokluk (kpm)
0	0	1,12	53	14,18	2,22	-0,000125	27,3	3,1	6,92	2,5	1184	0,4
3	0,05	1,12	54	14,78	2,21	0,000219	26,7	4,0	10,07	2,7	2459	1,7
	0,075	1,13	56	15	2,27	0,000417	26,4	4,2	11,22	2,8	2578	1,9
	0,1	1,13	58	14,13	2,19	0,000552	26,9	4	10,52	2,8	2724	2,3
	0,15	1,13	55	13,92	2,12	0,000333	27	3,9	9,75	2,7	3070	2,3
	0,2	1,13	56	14,25	2,17	0,000448	25,1	4,1	9,41	2,9	3103	2,3
	0,25	1,12	57	15,89	2,21	0,000531	26,1	3,9	9,39	3,1	3266	2,6
	0,5	1,13	57	15,04	2,04	0,000510	26,6	3,9	8,63	4	3556	2
	0,75	1,11	56	13,77	2,1	0,000687	26,2	4,1	9,48	4,2	3748	2,2
	1	1,12	59	14,61	2,24	0,0005	26,3	3,6	9,68	5,5	4600	2,8

Çizelge 4.15 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin fiziksel ve mekanik değerleri.

Lif Çapı (dtex)	Lif Hacim Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Sertlik (Shore D)	Buhar Geçirgenlik Direnç Faktörü (μ)	Utrases Geçiş Hızı (km/sn)	Rötre (%)	Ağırlık Kaybı Yüzdesi (%)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Charpy Çarpma Değeri (kpm)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Tokluk (kpm)
0	0	1,12	53	14,18	2,22	-0,000125	27,3	3,1	6,9	2,5	1184	0,4
6	0,05	1,12	56	14,19	2,26	0,000281	27	4,5	10,3	2,8	1689	1,6
	0,075	1,12	55	13,18	2,22	0,000031	26,5	3,9	10,2	2,7	2244	1,9
	0,1	1,12	55	13,49	2,18	0,000188	27,1	3,3	10	2,7	2600	1,9
	0,15	1,12	53	13,29	2,24	0,000333	26,9	3,9	9,8	2,8	2575	2
	0,2	1,12	54	14,32	2,27	0,000063	27,2	3,9	9,8	2,8	2709	2,1
	0,25	1,11	51	13,76	2,22	0,000047	26,5	3,9	9	2,8	3094	2
	0,5	1,11	54	12,70	2,21	0,000042	27,1	4,0	8,9	3,2	3134	2
	0,75	1,11	50	12,58	2,17	0,000292	27,4	3,4	8,2	3,5	3491	2,5
	1	1,11	51	13,14	2,2	0,000354	26,6	3,7	8,4	4,7	3619	2,4

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Malzeme performansını artırmaya yönelik çalışmalar içinde kompozit malzeme üretimi, günümüzün artan ihtiyaçları nedeniyle oldukça önem kazanmıştır. Bu bağlamda, üzerinde çok çalışılan malzemelerden biri de alçı kompozitlerdir. Alçı, nem dengeleyici, hafif ve ekonomik olmasına rağmen darbe dayanımı ve tokluk gibi bazı özelliklerde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, alçının özelliklerinin iyileştirilmesine ve geliştirilmesine yönelik çalışmaların, yapı sektörü açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Diğer taraftan, tüketim sonrası oluşan atıkların özellikle polimer esaslı olan PET şişelerin üretimlerinde oluşan zehirli gazların havayı kirletmesi, doğada bozulmadan yıllarca kalması ve oluşturdıkları çevresel sorunlar nedeniyle geri dönüştürülmesi, geri dönüştürülmüş bu ürünlerin yeniden kullanıma kazandırılmasıyla birlikte üretim maliyetlerinin azaltılması her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, alçı ve geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat lifleri kullanılarak üretilmiş kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi kapsamında, öncelikle kompozit malzeme üretme olasılığı araştırılmış, değişen lif hacim oranlarına ve lif çapına bağlı olarak üretilen kompozitlerin özellikleri incelenmiştir. Böylece, geri dönüştürülmüş PET liflerini, alçı kompozit içinde kullanarak, sadece alçının darbe dayanımı, mekanik dayanımı ve tokluk gibi özelliklerinin iyileştirilmesinin yanı sıra polimerlerin geri dönüştürülmeleriyle yukarıda kısaca ifade edilmiş faydaların elde edildiğine de inanılmaktadır.

Kompozit içinde dağılı faz olarak kullanılan rPET lifi, deneysel çalışmalarda önce, üretici firmadan temin edildiği şekliyle yani kesikli, son ürün halinde kullanılmıştır. rPET liflerinin bu şekilde, alçı hamurunun içinde, homojen olarak dağılmadıkları görülmüştür. Sonrasında üretici firmadan nemli ve son işlemde geçmemiş halde temin edilmiş rPET lifleri kullanılarak üretilmiş karışımların, homojen oldukları görülmüştür. Numuneler üretim sırasında elle karıştırılmış ve hazırlama aşamasında, alçının priz yapma süresinin kısa olması nedeniyle, karışımlara sitrik asit ilave edilmiştir.

Alçı kompozitlerin üretiminde, seperatör çıkışı ve kartonpiyer olmak üzere iki farklı alçı türü kullanılmıştır. İki tür alçıyla üretilmiş numuneler için yapılmış deneyler sonucunda mekanik dayanım değerleriyle fiziksel deney sonuçlarının birbirine yakın olması nedeniyle ve kartonpiyer alçının teminin daha kolay olması ve seperatör çıkışı alçıya kıyasla daha ekonomik olması sebebiyle, deneysel çalışmalarda kartonpiyer alçının kullanılmasına karar verilmiştir. Kalıplama kolaylığı ve yeterli mekanik dayanımı değerlerini sağlaması nedeniyle kompozitlerin su/alçı oranı, 65/100 olarak belirlenmiştir. Kompozitlerin içinde 3,3 dtex ve 6,6 dtex olarak iki farklı çapta rPET lifi, %0,05 ve %1 arasında değişen hacim oranlarında kullanılmıştır.

rPET lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin basınç ve eğilme dayanımı değerlerinin, lif hacim oranlarının %0,1 ve %0,15 olduğu kompozitlerde, bir miktar artmasına rağmen, lif hacim oranının %0,15'ten daha yüksek olduğu kompozitlerde, azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca taramalı eletron mikroskobu (SEM) analizlerinde, alçı kompozitlerin içindeki liflerin çevresinde boşlukların olduğu görülmüş ve bu boşluklar nedeniyle, lif ve alçı arasındaki aderansın zayıf olduğu tespit edilmiştir. Lif ile matriks arasındaki aderansın yetersiz olması nedeniyle kompozitlerin mekanik dayanım değerlerinin de düşük olduğu tespit edilmiştir.

Lif ile alçı arasındaki aderansı artırmak amacıyla, stiren butadien, PVA ve akrilik esaslı aderans artırıcı katkı malzemeleri ilave edilmiş kompozitler üretilmiştir. Kompozitler için yapılmış deneyler sonucunda, PVA esaslı aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş numunelerin, en yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Aderans artırıcı katkı malzemesinin, lifsiz alçı numuneler içinde kullanılmasıyla, alçının basınç ve eğilme dayanımlarını arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, her iki katkı malzemesinin (aderans artırıcı katkı malzemesinin ve lifin) bir arada kullanıldığı alçı kompozitlerin mekanik dayanım değerlerinin, diğer kompozitlerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş kompozitlerin SEM görüntülerinde, rPET liflerinin çevresinde boşluk oluşmadığı, alçı kristallerin, liflerin üzerine yeterli düzeyde yapıştığı gözlenmiştir. Bu durum, kompozitlere aderans artırıcı katkı malzemesi ilavesinin, lif ile alçı arasındaki aderansı iyileştirdiğini göstermektedir.

Birim hacim ağırlık deneylerinde, lif hacim oranlarındaki değişimle, kompozitlerin birim hacim ağırlık değerlerinde kayda değer bir değişim gözlenmiştir. En düşük birim hacim ağırlık değerine sahip numunelerin, lif içeriği en fazla olan numuneler

olduğu belirlenmiştir. Kompozit içindeki lif hacim oranlarının artmasıyla, kompozitlerin boşluk oranlarının da arttığı düşünülmektedir.

Shore D sertlik ölçümlerinde, kompozitlerin sertlik değerleri 50 ile 59 arasında değişmekte iken, lifsiz alçı numunelerin sertlik değeri 53 olarak ölçülmüştür. Bu durum, bütün kompozitlerin sabit su/alçı oranına sahip olmasından ve kompozitlerin lif hacim oranları arasında fazla fark olmamasından kaynaklanmaktadır yorumu yapılabilir.

3,3 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü (μ) değerleri birbirlerine yakın olarak, 14 ve 15 arasında değişen değerlerde belirlenmiştir. Lifsiz alçı numunelerin μ değeri ise 14 olarak tespit edilmiştir. 6,6 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değeri, 3,3 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin μ değerleriyle benzer şekilde, 14 ile 16 arasında değişmektedir. Bütün numunelerde, su/alçı oranının sabit kalması nedeniyle, kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerlerinin fazla değişmediği düşünülebilir. Ancak kompozitlerin içerdiği lif miktarının değişimiyle, buhar geçiş yollarında değişimler oluşmuştur. Lif miktarının artmasıyla oluşan bu değişimler nedeniyle kompozitlerin buhar geçirgenlik direnç faktörü değerlerinde az miktarda azalma tespit edilmiştir.

Rötre ölçümleri sonucunda, lifsiz şahit alçı numunelerin rötre değerleri azalırken, lifle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin rötre değerlerinde artış tespit edilmiştir. 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin rötre değerlerinin, 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin rötre değerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kompozit içinde artan lif hacminin ve aderans artırıcı katkı malzemesinin ilavesinin, kompozitlerin rötre değerlerini artırdığı belirlenmiştir. Bütün kompozitlerin ağırlık kaybı değerlerinin yaklaşık olarak aynı olmasının nedeninin, kompozitlerin sabit su/alçı oranına sahip olmaları olduğu düşünülmektedir.

Malzemenin boşluk yapısı hakkında önemli bilgiler veren ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarına göre, lifsiz alçı numunelerin ultrases geçiş hızı değerleriyle, lifli kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Kompozitlerin lif hacim oranlarının artmasıyla, ultrases geçiş hızı değerlerinde az miktarda azalma tespit edilmiştir. Birim hacim ağırlık değerleriyle benzer şekilde, aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmemiş kompozitlerin lif hacim oranlarının

artmasıyla, içerdikleri boşluk miktarının arttığı ve böylece ultrases geçiş hızı değerlerinin düştüğü, fakat aderans artırıcı katkı malzemesi ilavesiyle, kompozitlerin boşluklu yapısının azaldığı belirlenmiştir.

Mekanik dayanımlar kapsamında basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Farklı lif hacim oranlarında 3,3 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri, lifsiz alçı karışımın eğilme dayanımı değerinden daha yüksek tespit edilmiştir. 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin en yüksek eğilmede çekme dayanımı değeri, lifsiz alçının eğilmede çekme dayanımı değerinden yaklaşık %34 daha fazladır. Lifli alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri, lif oranının artmasıyla ters orantılı olarak azalmıştır. 6,6 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin deney sonuçları, 3,3 dtex rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin deney sonuçlarıyla benzerdir. Lif hacim oranının az olduğu kompozitlerin daha yüksek eğilme dayanımı değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımında, lifsiz alçı karışımına kıyasla yaklaşık %47 oranında bir iyileşme sağlamıştır. En yüksek eğilme dayanımı, 6,6 dtex, hacimce %0,05 oranında rPET lifi içeren alçı kompozitlerde ve 3,3 dtex, hacimce %0,075 oranında rPET lifi içeren alçı kompozitlerde elde edilmiştir. Sadece lifle güçlendirilmiş kompozitlerin basınç dayanımı değerleri, şahit alçı numunelere kıyasla daha düşük tespit edilmiştir. Aderans artırıcı katkı malzemesi ilavesinin, lif ile alçı arasındaki aderansı arttırdığı, artan eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleriyle de desteklenmiştir.

Basınç dayanımı deneyleri sonucunda, alçının rPET lifiyle güçlendirilmesi sonucunda üretilmiş kompozitlerin basınç dayanımı değerlerinin, lifsiz alçı numunelerin basınç dayanımı değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Lif hacim oranının artmasıyla, numunelerin içerdiği boşluk oranı artmakta, kompozitlerin basınç dayanımı değerleri de bir miktar azalmaktadır. Buna rağmen en yüksek basınç dayanımı değeri, 3,3 dtex rPET lifi içeren kompozitler arasında hacimce % 0,075 oranında lif içeren numunelerde tespit edilmiştir. Bu kompozitlerin basınç dayanımı değeri, lifsiz alçı karışımın basınç dayanımı değerinden yaklaşık %62 fazlasıdır. 6,6 dtex rPET lifi içeren kompozitler arasında en yüksek basınç dayanımı değerine sahip kompozitler ise hacimce %0,05 oranında lif içeren numunelerdir. Bu değer lifsiz alçı karışımının basınç dayanımı değerinden yaklaşık

%49 daha yüksektir. En yüksek basınç dayanım değerine sahip numunelerin, eğilme dayanımında da en yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Mekanik deneyler sonucunda, en iyi mekanik dayanım değerlerine sahip olan kompozitlerin, aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş, lif hacim oranı %0,05 ve %0,075 olan, 1 cm lif boyundaki rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlere ait olduğu görülmüştür.

rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma deneyi ve gerilme-şekil değiştirme grafiğinden hesaplanan tokluk değerleri, lif hacim oranının artmasıyla birlikte yükselmiştir. Hem 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin, hem de 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin tokluk değerleri, lif hacim oranlarının artmasıyla oldukça yükselmiştir. Kompozitlerin tokluk değerleri, lifsiz şahit alçı numunelerin tokluk değerlerinden yaklaşık 2 kat daha fazla olarak belirlenmiştir.

Kompozitlerin elastisite modülü değerleri, lif hacim oranlarının artmasıyla, önemli oranda artmıştır. Alçının kırılma yapısının iyileştirilmesinde yararlı olan ve alçının darbeler karşısında dağılıp parçalanmasını önleyen lifler, alçının tokluk değerini de oldukça artırmıştır.

Levhalar halinde üretilmiş rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, hacimce %0,075 oranında 3,3 dtex rPET lifi içeren alçı kompozit levhaların ve hacimce %0,1 oranında 6,6 dtex rPET lifi içeren alçı kompozit levhaların, en yüksek eğilme dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Lifsiz şahit alçı levha karışımına kıyasla, alçı numunelerin eğilme dayanımı değerinde %48 oranında iyileşme sağlanmıştır. Alçı kompozit levhaların çarpma değerlerinin, Charpy çarpma deneyi sonucunda, lifsiz şahit alçı karışımına oranla yaklaşık %68 oranında arttığı tespit edilmiştir. Levha deneyleri sonucunda elde edilmiş veriler, prizmatik alçı kompozitlerle yapılmış deneylerle de desteklenmiştir.

Tez çalışmasında düzgün yüzey yapısına sahip geri dönüştürülmüş PET lifi kullanılmıştır. Ancak daha önce yapılmış çalışmalarda, lif yüzey şeklinin, kompozitlerin matriks ve dağılı faz arasındaki aderansta etkili olabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda, farklı yüzey şekillerine sahip rPET lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin üretilerek bu kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi önerilebilir.

Lif ile alçı arasındaki aderansı artırmak amacıyla, alçı içine farklı malzemeler ilave edilerek deneysel çalışmalar yapılabilir. Örneğin talk pudrası ilave edilerek üretilecek alçı kompozitlerin özellikleri araştırılabilir. Ayrıca rPET liflerinin, farklı bağlayıcı matrisler içinde kullanılması ve yapı malzemesi olarak üretilebilme olanaklarının inceleneceği çalışmaların yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Azım, A. A. A.** (1996). Unsaturated polyester resins from poly(ethylene terephthalate) waste for polymer concrete, *Polymer Engineering and Science*, 36 (24), 2973-2977.
- Acierno, D., Amendola, E., Concilio, S., Iannelli, P., Massa, A. and Scarfato, P.** (2002). Matrices for mono-material composites (MMC): The case of poly(ethylene terephthalate), *Macromol. Symp*, 180, 61–71.
- Ahmad, I., Mosadeghzad, Z., Daik, R. and Ramli, A.** (2008). The effect of alkali treatment and filler size on the properties of sawdust/UPR composites based on recycled PET wastes, *Journal of Applied Sciences*, 109, 3651–3658.
- Akkurt, S.** (2007). *Plastik malzeme bilimi teknolojisi ve kalıp tasarımı*, İstanbul:Birsen Yayınevi.
- Ali, M. A. & Grimer, F. J.** (1969). Mechanical properties of glass fibre-reinforced gypsum, *Journal of Materials Science*, 4 (5), 389-395.
- Anabal, F. Y.** (2007). *PET atıkların endüstride değerlendirilmesi*, (Yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Aran, A.** (1990). *Elyaf takviyeli karma malzemeler*, İstanbul:İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlük Ofset Atölyesi.
- Arıkan, M. & Sobolev, K.** (2002). The optimization of a gypsum-based material, *Cement and Concrete Research*, 32, 1725-1728.
- Arioğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A. O.** (2006). *Beton agregaları-çözümlü problemler-bilgi föyleri*, İstanbul:Evrin Yayınevi.
- Arioğlu, E., Yüksel, A. ve Yılmaz, A. O.** (2008). *Püskürtme beton, bilgi föyleri-çözümlü problemler*, (Yayın No. 142), İstanbul: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- Artel, T. ve Dibağ, G.** (1969). *Yapı malzemesi*, İstanbul: Osman Yalçın Matbaası.
- Ashby, M. F.** (1999). *Materials selection in mechanical design* (2nd ed.). Oxford, Great Britain: Butterworth-Heinemann.
- Ashori, A. & Nourbakhsh, A.** (2009). Characteristics of wood–fiber plastic composites made of recycled materials, *Waste Management*, 29, 1291–1295.
- Aslan, B.** (1997). *Alçı köpürtme teknikleri*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Atta, A. M.** (2007). Surface and thermodynamic parameters of polymeric surfactants from recycled poly(ethylene terephthalate), *Polymer International*, 56, 984-995.

- Avila, A. F., Rodrigues, P. C. M., Santos, D. B. & Faria, A. C. A.** (2003). A dual analysis for recycled particulate composites: linking micro-mechanics and macro-mechanics, *Materials Characterization*, 50, 281–291.
- Awaja, F. & Pavel, D.** (2005). Recycling of PET, *European Polymer Journal*, 41, 1453–1477.
- Barkoula, N. M., Peijs, T., Schimanski, T. & Loos, J.** (2005). Processing of single polymer composites using the concept of constrained fibers, *Polymer Composites-2005*, 114–120.
- Beşergil, B.** (2003). *Polimer kimyası*, Ankara:Gazi Kitabevi.
- Betioli, A. M. & Silva, D. A.** (2005). Evaluation of durability of PET fibers under diverse aggressive environments, *10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components*, France, April 17–20.
- Bizarria, M. T. M., Giraldo, A. L. F. M., Carvalho, C. M., Velasco, J. I., d’A’vila, M. A. & Mei, L. H. I.** (2007). Morphology and thermomechanical properties of recycled PET–organoclay nanocomposites, *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 1839–1844.
- Branco, J. R. T., Campos, S. R. V., Duarte, L. T. & Lins, V. F. C.** (2004). Combustion-thermal-sprayed recycled poly(ethylene terephthalate), *Journal of Applied Polymer Science*, 92, 3159–3166.
- Bulut, Ü.** (2007). *Perlitin puzolonik aktivitesi*, (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bunsell, A. R.** (1988). *Fiber reinforcements for composite materials*. In A.R. Bunsell (Ed.), Amsterdam: Elsevier Press.
- Çelik, Ç.** (2003). *Yerfistiği kabuğunun agrega olarak kullanım olanaklarının araştırılması*, (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Chawla, K. K.** (1998). *Fibrous materials*, UK: Cambridge University Press.
- Chen, C.** (2002). Study of glycolysis of poly(ethylene terephthalate) recycled from postconsumer soft-drink bottles. III. further investigation, *Journal of Applied Polymer Science*, 87, 2004–2010.
- Choi, Y. W., Moon, D. J., Chung, J. S. and Cho, S. K.** (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, *Cement and Concrete Research*, 35, 776–781.
- Choi, Y. W., Moon, D. J., Kim, Y. J. and Lachemi, M.** (2009). Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles, *Construction and Building Materials*, 23, 2829–2835.
- Chou, T.** (2000). *Compressive composite materials*, In A. Kelly, C. Zweben, T. Chou (Eds.), Oxford, Great Britain: Elsevier Science Ltd.
- Corradini, E., Ito, E. N., Marconcini, J. M., Rios, C. T., Agnelli, J. A. M. & Mattoso, L. H. C.** (2009). Interfacial behavior of composites of recycled poly (ethylene terephthalate) and sugarcane bagasse fiber, *Polymer Testing*, 28, 183–187.

- Cruz, S. A. & Zanin, M.** (2006). PET recycling: Evaluation of the solid state polymerization process, *Journal of Applied Polymer Science*, 99, 2117-2123.
- Daver, F., Gupta, R. and Kosior, E.** (2008). Rheological characterisation of recycled poly(ethylene terephthalate) modified by reactive extrusion, *Journal of Materials Processing Technology*, 204 (1-3), 397-402.
- Dayıoğlu, H. ve Karakaş H. C.** (2007). *Elyaf bilgisi*, İstanbul: Ajans Plaza Tanıtım ve İletişim Hizmetleri Ltd. Şti.
- Doran, D. K.** (2004). *Newnes yapı malzemeleri cep kitabı*. In D. K. Doran (Ed.), İstanbul: Bileşim Yayınevi.
- Durmuşoğlu, A.** (1984). *Değişik buhar basınçları altında alçının dezitratasyonunun incelenmesi*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ekinci, C. E.** (2005). *Bordo kitap yapı ve tasarımcının el kitabı* (Genişletilmiş 4. Baskı), Ankara: Üniversite Kitabevi.
- Erdem, S.** (2008). *Çatıda kullanılan polimer kökenli levhaların karşılaştırmalı analizi*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ershad-Langroudi, A., Jafarzadeh-Dogouri, F., Razavi-Nouri, M. & Oromiehie, A.** (2008) Mechanical and thermal properties of polypropylene/recycled polyethylene terephthalate/chopped rice husk composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 110, 1979–1985.
- Ersoy, H. Y.** (1996). *Alçı yapı malzemesi*, İstanbul: M.S.Ü. Yayınları.
- Ersoy, H. Y.** (2001). *Kompozit malzeme*, İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Eve, S., Gomina, M., Hamel, J. & Orange, G.** (2002). Microstructural and mechanical behaviour of polyamide fibre-reinforced plaster composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 22, 2269-2275.
- Eve, S., Gomina, M., Hamel, J. & Orange, G.** (2006). Investigation of the setting of polyamide fibre/latex-filled plaster composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 26, 2541-2546.
- Eve, S., Gomina, M., Jernot, J. P., Ozouf, J. C., & Orange, G.** (2007). Microstructure characterization of polyamide fibre/latex-filled plaster composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 3517-3525.
- Eve, S., Gomina, M., Ozouf, J. C. & Orange, G.** (2007). Microstructure of latex-filled plaster composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 1395-1398.
- Evstatiev, M., Fakirov, S., Krasteva, B., Friedrich, K., Covas, J. A., & Cunha, A. M.** (2002). Recycling of poly(ethylene terephthalate) as polymer-polymer composites, *Polymer Engineering and Science*, 42 (4).
- Fangueiro, R.** (2011). *Fibrous and composite materials for civil engineering applications*. In R. Fangueiro (Ed.), Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited.

- Fraire-Luna, P. E., Escalante-Garcia, J. I. & Gorokhovsky, A.** (2006). Composite systems fluorgypsum-blastfurnance slag-metakaolin, strength and microstructures, *Cement and Concrete Research*, 36, 1048-1055.
- Fraïsse, F., Verney, V., Commereuc, S. & Obadal, M.** (2005). Recycling of poly(ethylene terephthalate)/polycarbonate blends, *Polymer Degradation and Stability*, 90, 250-255.
- Giraldi, A. L. F., Bartoli, J. R., Velasco, J. I. & Mei, L. H. I.** (2004). Glass fibre recycled poly(ethylene terephthalate) composites: mechanical and thermal properties, *Polymer Testing*, 24, 507-512.
- Gmouh, A., Eve, S., Samdi, A., Moussa, R., Hamel, J. and Gomina, M.** (2003). Changes in plaster microstructure by pre-stressing or by adding gypsum grains: microstructural and mechanical investigations, *Materials Science and Engineering*, 352, 325-332.
- Goje, A. S. & Mishra, S.** (2003). Chemical kinetics, simulation, and thermodynamics of glycolytic depolymerization of poly(ethylene terephthalate) waste with catalyst optimization for recycling of value added monomeric products, *Macromolecular Materials and Engineering*, 288, 326-336.
- Guo, W., Tang, X., Yin, G., Gao, Y. and Wu, C.** (2006). Low temperature solid-state extrusion of recycled poly(ethylene terephthalate) bottle scraps, *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 2692-2699.
- Gürdal, E.** (1976). *Kuzey ve Orta Anadolu alçıları üzerine bir araştırma*, (Doktora tezi), İTÜ, İstanbul.
- Gürdal, E. ve Acun, S.** (2003). Alçı malzemenin taşıyıcılık özellikleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 427, 63-70.
- Gürü, M. ve Yalçın, H.** (2012). *Malzeme bilgisi*, (Güncelleştirilmiş 3. Baskı), Ankara:Palme Yayıncılık.
- Harmancıoğlu, M.** (1981). *Tekstil maddeleri II- rejenere ve sentetik lifler*, İzmir:Ege Üniversitesi Matbaası.
- Hassan, M. M., Mahmoud, G. A., Ali, M. A. & Hegazy, El-S. A.** (2008). Thermal and morphological behaviour of irradiated composite materials based on injection-moulded recycled polyethylene terephthalate, *Journal of Applied Polymer Science*, 107, 3974-3980.
- Hegger, M., Drexler, H. ve Zeumer, M.** (2012). *Adım adım yapı malzemeleri*, İstanbul:Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Japon, S., Leterrier, Y. & Manson, J. A. E.** (2000). Recycling of poly(ethylene terephthalate) into closed-cell foams, *Polymer Engineering and Science*, 40 (8), 1942-1952.
- Jayaraman, K. & Halliwell, R.** (2009). Harakeke (phormium tenax) fibre-waste plastics blend composites processed by screwless extrusion, *Composites: Part B*, 40, 645-649.
- Kacperski, M. & Szychaj, T.** (1999). Rigid polyurethane foams with poly(ethylene terephthalate)/triethanolamine recycling products, *Polymers for Advanced Technologies*, 10, 620-624.

- Karagüler, M. E.** (2002). Mimarlıkta beton, mimari beton, *THBB Hazır Beton Dergisi*, 55.
- Karahan, N. ve Mangut, M.** (2006). *Tekstil lifleri* (2. baskı), Bursa: Ekin Kitabevi.
- Karaman, S., Şahin, S., Günal, H. & Örüng, İ.** (2006). Stabilization of waste PET bottles with gypsum, *Journal of Applied Sciences*, 6 (5), 1119-1122.
- Karayannidis, G. P. & Achilias, D. S.** (2007). Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate), *Macromolecular Materials and Engineering*, 292, 128-146.
- Kaya, F.** (2005). *Ana hatlarıyla plastikler ve katkı maddeleri* (2. baskı), İstanbul:Birsen Yayınevi.
- Keskin, E.** (2005). *Betonarme yapıların onarımı, güçlendirilmesi ve lifle güçlendirilmiş polimerler*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kızıldeli, M. M.** (2002). *Kuru yapım sistemleri ve yapılarda alçı pano uygulaması*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kim, J. H. J., Park, C. G., Lee, S. W., Lee, S. W. and Won, J. P.** (2008). Effects of the geometry of recycled PET fiber reinforcement on shrinkage cracking of cement-based composites, *Composites: Part B*, 39, 442–450.
- Kostikov, V. I.** (1995). *Soviet advanced composites technology series- fibre science and technology*. In V.I. Kostikov (Ed.), London: Chapman&Hall Publications.
- Kráčalík, M., Pospíšil, L., Šlouf, M., Mikešová, J., Sikora, A., Šimoník, J. & Fortelný, I.** (2008). Recycled poly(ethylene terephthalate) reinforced with basalt fibres: rheology, structure, and utility properties, *Polymer Composites*, 29, 437-442.
- Kráčalík, M., Pospíšil, L., Šlouf, M., Mikešová, J., Sikora, A., Šimoník, J., & Fortelný, I.** (2008). Effect of glass fibers on rheology, thermal and mechanical properties of recycled PET, *Polymer Composites*, 29, 915-921.
- Kráčalík, M., Studenovský, M., Mikešová, J., Sikora, A., Šimoník, J., Thomann, R., Friedrich, C. & Fortelný, I.** (2007). Recycled PET nanocomposites improved by silanization of organoclays, *Journal of Applied Polymer Science*, 106, 926–937.
- Kuban, D.** (1998). *Mimarlık kavramlar* (5. basım), İstanbul: YEM Yayın.
- Küçükgül, E. Y. ve Doğan, S. K.** (2007). PET şişenin yaşam döngü analizi, 7. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji*, İzmir, 24-27 Ekim.
- Lei, Y., Wu, Q., Clemons, C. and Guo, W.** (2009). Phase structure and properties of poly(ethylene terephthalate) / high-density polyethylene based on recycled materials, *Journal of Applied Polymer Science*, 113, 1710–1719.
- Li, Y., White, D. & Peyton, R.** (1998). Composite material from fly ash and post-consumer PET, *Resources, Conservation and Recycling*, 24, 87-93.

- Lou, C., Lin, C., Lei, C., Su, K., Hsu, C., Liu, Z. and Lin, J.** (2007). PET/PP blend with bamboo charcoal to produce functional composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 192–193, 428–433.
- Lusinchi, J. M., Pietrasanta, Y., Robin, J. J., Boutevin, B.** (1998). Recycling of PET and PVC wastes, *Journal of Applied Polymer Science*, 69, 657-665.
- Lyons, A.** (2006). *Materials for Architects and Builders* (3rd ed.), UK: Butterworth, Heinemann.
- Mahdi, F., Khan, A. A. & Abbas, H.** (2007). Physiochemical properties of polymer mortar composites using resins derived from post-consumer PET bottles, *Cement & Concrete Composites*, 29, 241-248.
- Mallick, P. K.** (2008). *Fiber-reinforced composites, materials, manufacturing and design* (3rd ed.), USA: CRC Press.
- Mancini, S. D. & Zanin, M.** (2000). Consecutive steps of PET recycling by injection: evaluation of the procedure and of the mechanical properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 76, 266-275.
- Marco, I., Caballero, B., Torres, A., Laresgoiti, M. F., Chomón, M. J. and Cabrero, M. A.** (2002). Recycling polymeric waste by means of pyrolysis, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77, 817-824.
- Misra, E., Basavarajaiah, S., Kumar, K. and Ravi, P.** (2000). Effect of recycling on the properties of poly(ethylene terephthalate) films, *Polymer International*, 49, 1636-1640.
- Mondadori, N. M. L., Nunes, R. C. R., Zattera, A. J., Oliveira, R. V. B. & Canto, L.** (2008). Relationship between processing method and microstructural and mechanical properties of poly(ethylene terephthalate)/short glass fiber composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 109, 3266–3274.
- Morawiec, J., Bartczak, Z., Pluta, M. and Galeski, A.** (2002). High-strength uniaxially drawn tapes from scrap recycled poly(ethylene terephthalate), *Journal of Applied Polymer Science*, 86, 1426-1435.
- Nikles, D. E. and Farahat, M. S.** (2005). New motivation for the depolymerization products derived from poly(ethylene terephthalate) (PET) waste: a review, *Macromolecular Materials and Engineering*, 290, 13-30.
- Omran, G., Nasser, S., Mahvi, A. H. and Ghafari, Y.** (2004). A survey study on PET recycling problems in Qom City, Iran, *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 1, 15-19.
- Onaran, K.** (1995). *Malzeme bilimi*, İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.
- Onursal, F. R.** (1996). *Ahşap testere talaşlı çimento kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Oromiehie, A. and Mamizadeh, A.** (2004). Recycling PET beverage and improving properties, *Polymer International*, 53, 728-732.

- Oyman, Ü.** (1985). *Elyaf bilgisi ders notları*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü.
- Özgünler, S. A.** (2007). *Tarihi yapılarda kullanılan volkanik tüflerin konservasyonu üzerine bir araştırma: od taşı örneği*, (Doktora tezi), İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Parres, F., Crespo-Amorós, J. E. and Nadal-Gisbert, A.** (2009). Mechanical properties analysis of plaster reinforced with fiber and microfiber obtained from shredded tires, *Construction and Building Materials*, 23, 3182-3188.
- Pawlak, A., Pluta, M., Morawiec, J., Galeski, A. and Pracella, M.** (2000). Characterization of scrap poly(ethylene terephthalate), *European Polymer Journal*, 36, 1875-1884.
- Pegoretti, A. & Penati, A.** (2004). Effects of hygrothermal aging on the molar mass and thermal properties of recycled poly(ethylene terephthalate) and its short glass fibre composites, *Polymer Degradation and Stability*, 86 (2), 233-243.
- Pingale, N. D. and Shukla, S. R.** (2008). Microwave assisted ecofriendly recycling of poly(ethylene terephthalate) bottle waste, *European Polymer Journal*, 44 (12), 4151-4156.
- Postacioğlu, B.** (1975). *Yapı malzemesi dersleri bağlayıcı maddeler, agregalar, beton*, (2. Basım) İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Rezaeian, I., Jafari, S. H., Zahedi, P. and Nouri, S.** (2008). An Investigation on the rheology, morphology, thermal and mechanical properties of recycled poly(ethylene terephthalate) reinforced with modified short glass fibers, *Polymer Composites*, Society of Plastics Engineers. doi: 10.1002/pc.
- Ronkay, F. & Czigány, T.** (2006). Development of composites with recycled PET matrix, *Polymers For Advanced Technology*, 17, 830-834.
- Rubio-Avalos, J. C., Manzano-Ramírez, A., Luna-Bárcenas, J. G., Pérez-Robles, J. F., Alonso-Guzmán, E. M., Contreras-García, M. E. & González-Hernández, J.** (2005). Flexural behaviour and microstructure of a gypsum-SBR composite material, *Materials Letters*, 59, 230-233.
- Saçak, M.** (2002). *Lif ve elyaf kimyası*, Ankara: Gazi Kitabevi.
- Santos, A. G.** (2009). PPF-reinforced, ESP-lightened gypsum plaster, *Materiales de Construcción*, 59 (293), 105-124.
- Santos, P. and Pezzin, S. H.** (2003). Mechanical properties of polypropylene reinforced with recycled-pet fibers, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 517-520.
- Sevencan, F. ve Vaizoğlu, S. A.** (2007). PET ve geri dönüşümü, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 6 (4), Ankara.

- Shamsi, R., Abdouss, M., Sadeghi, G. M. M. and Taromi, F. A.** (2009). Synthesis and characterization of novel polyurethanes based on aminolysis of poly(ethylene terephthalate) wastes, and evaluation of their thermal and mechanical properties, *Polymer International*, 58, 22-30.
- Shuhua, W., Wensheng, H., Liqiao, W., Jinming, D., Husheng, J., Xuguang, L. and Bingshe, X.** (2009). Structure and properties of composite antibacterial PET fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 112, 1927-1932.
- Siddique, R., Khatib, J. and Kaur, I.** (2008). Use of recycled plastic in concrete: a review, *Waste Management*, 28, 1835-1852.
- Singh, M. and Garg, M.** (2000). Fibre reinforced gypsum binder composite, its microstructure and durability, *Materials and Structures*, 33, 525-528.
- Şahin, Y.** (2006). *Kompozit malzemelere giriş* (Genişletilmiş 2. basım), Ankara:Seçkin Yayıncılık.
- Şimşek, O.** (2003). *Yapı malzemesi II* (Genişletilmiş 2. basım), İstanbul: Beta Basım Yayın Dağıtım.
- Taşdemir, C., Özyurt, N., Ertuğrul, C. ve Kara, G.** (2003). Kırma kumun beton özelliklerine etkisi üzerine bir değerlendirme, *III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, 3-4 Aralık.
- Taygun, G. ve Balanlı, A.** (2005). Yaşam döngüsü süreçlerinde yapı ürünü-çevre etkileşimi, *YTÜ Mimarlık Fakültesi e-Dergisi*, Cilt 1, 1, 40-50.
- Tekin, N.** (2003). *Malzemelerin yanyana gelişlerinde ısı ve su ile ilgili özelliklerinin hasar oluşumuna etkisi ve dış cephede alçısiva uygulanabilirliği üzerinde örneklenmesi* (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Torres, N., Robin, J. J. and Boutevin, B.** (2000). Study of thermal and mechanical properties of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate) before and after injection molding, *European Polymer Journal*, 36 (10), 2075-2080.
- Torres, N., Robin, J. J. and Boutevin, B.** (2001). Chemical modification of virgin and recycled poly(ethylene terephthalate) by adding of chain extenders during processing, *Journal of Applied Polymer Science*, 79, 1816-1824.
- Tóth, K., Czvikovszkya, T. and Abd-Elhamid, M.** (2004). Radiation-assisted PET recycling using glass fiber reinforcement and reactive additives, *Radiation Physics and Chemistry*, 69, 143-147.
- Toydemir, N., Gürdal, E. ve Tanaçan, L.** (2000). *Yapı malzeme tasarımı malzeme*, İstanbul: Literatür Yayınları.
- TS 901-2** (2009). Lifli ses yalıtım malzemeleri-binalarda kullanılan, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 1225 ISO 565** (2001). Deney elekleri - metal tel örgülü elekler, delikli metal plakalar, elektrokimyasal şekillendirilmiş levhalar-göz ve delik açıklıklarının anma büyüklükleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 2380** (1991). Plastikler-terimler ve tarifler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- TS 7279** (1989). Cam elyafı ile takviyeli plastik (CTP) düz ve oluklu levhalar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 520** (2006). Alçı levhalar-tarifler, gerekler ve deney metodları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1013-2** (2003). Plastik profil levhalar-ışığı geçiren-tek katlı çatı kaplamaları için- bölüm 2: cam elyaf takviyeli polyester reçine (ctp) levhaların özellikleri ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 13279-1** (2009). Yapı ve sıva alçıları-bölüm 1: tarifler ve gerekler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 13279-2** (2007). Yapı ve sıva alçıları-bölüm 2: deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 13815** (2006). Lifle güçlendirilmiş ön yapımlı alçı mamuller-tarifler, gerekler ve deney metodları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 13950** (2007). Alçı levhalar-ısı/ses yalıtımlı kompozit paneller-tarifler, gerekler ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 15283-1** (2009). Liflerle güçlendirilmiş alçı levhalar-tarifler, gerekler ve deney yöntemleri-bölüm 1: keçe tipi liflerle güçlendirilmiş alçı levhalar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Url-1** <<http://www.suder.org.tr/sektor.html>>, erişim tarihi 20.01.2013.
- Uzer, F.** (1996). *Ahşap testere talaşlı alçı kompozitler*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ülker, F. B.** (1996). *Alçı ve alçının yapıda uygulanması*, (Yüksek lisans tezi), Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.
- Yaşar, H.** (2001). *Plastikler dünyası* (Genişletilmiş 2. basım), Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayını.
- Yatağan, S.** (2010). *Beton ve harçlarda agrega dane boyutunun rötre ve durabiliteye etkisi* (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Youssef, H. A., Shaltot, N. A., El Nemr, K. F. & El Miligy, A. A.** (2009). Short polyethylene terephthalate fiber (PET) reinforced NBR rubber composites, *Journal of Polymer Research*, 16, 199–212.
- Yu, Z. Z., Yang, M. S., Dai, S. C. and Mai, Y. W.** (2004). Toughening of recycled poly(ethylene terephthalate) with a maleic anhydride grafted SEBS triblock copolymer, *Journal of Polymer Research*, 93, 199–212.

EKLER

EK A. rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Birim Hacim Ağırlık Değerleri.

EK B: rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Sertlik Değerleri.

EK C : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri.

EK D : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Rötire Değerleri ve Ağırlık Kaybı Yüzdeleri.

EK E : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Eğilme Dayanımı Değerleri.

EK F : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Basınç Dayanımı Değerleri.

EK G : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Çarpma Değerleri (Charpy Çarpma Deneyi).

EK H : rPET Lifi-Alçı Levha Kompozitlerin Eğilme Dayanımı Değerleri.

EK I : rPET Lifi-Alçı Levha Kompozitlerin Çarpma Değerleri (Charpy Çarpma Deneyi).

EK A: rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Birim Hacim Ağırlık Değerleri.

Çizelge A.1: 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlık (Δ) (gr/cm ³)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)				
65AG0-1	160,65	41,56	40,04	299,24	267,33	1,12	1,12
65AG0-2	160,72	41,16	40,15	297,55	265,60	1,12	
65AG0-3	160,92	41,41	39,91	297,07	265,95	1,12	
65AG0-4	160,74	40,94	40,31	297,48	265,27	1,12	
65AG0-5	160,37	40,14	40,06	288,67	257,88	1,12	
65AG0-6	160,83	41,32	40,27	297,81	267,61	1,11	
65AADGL-0,05-1-3-1	160,53	41,29	40,35	300,91	267,45	1,13	1,12
65AADGL-0,05-1-3-2	160,45	41,39	40,35	299,35	267,97	1,12	
65AADGL-0,05-1-3-3	160,56	41,08	40,33	299,93	266,01	1,13	
65AADGL-0,05-1-3-4	160,74	41,61	40,49	303,64	270,81	1,12	
65AADGL-0,05-1-3-5	160,24	41,52	40,68	304,55	270,65	1,13	
65AADGL-0,05-1-3-6	160,51	41,94	40,11	304,08	270,01	1,13	
65AADGL-0,05-1-3-7	160,66	41,62	40,07	300,59	267,93	1,12	
65AADGL-0,05-1-3-8	160,66	41,28	40,48	301,05	268,47	1,12	
65AADGL-0,05-1-3-9	159,82	40,13	40,45	290,52	259,43	1,12	
65AADGL-0,05-1-3-10	160,88	41,53	40,19	299,11	268,52	1,11	
65AADGL-0,075-1-3-1	160,35	41,31	40,26	300,78	266,68	1,13	1,13
65AADGL-0,075-1-3-2	160,19	40,72	40,53	297,20	264,37	1,12	
65AADGL-0,075-1-3-3	160,33	41,51	40,17	304,05	267,34	1,14	
65AADGL-0,075-1-3-4	160,54	41,22	40,75	306,10	269,66	1,14	
65AADGL-0,075-1-3-5	160,45	41,11	40,16	299,79	264,90	1,13	
65AADGL-0,075-1-3-6	160,4	41,34	40,3	300,44	267,23	1,12	
65AADGL-0,075-1-3-7	160,38	40,91	40,31	297,83	264,48	1,13	
65AADGL-0,075-1-3-8	160,49	40,39	40,12	296,33	260,07	1,14	
65AADGL-0,075-1-3-9	160,39	41,8	40,15	303,55	269,18	1,13	
65AADGL-0,075-1-3-10	160,49	40,58	40,27	294,75	262,27	1,12	

Çizelge A.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlık (Δ) (gr/cm ³)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)				
65AADGL-0,1-1-3-1	160,53	40,83	40,03	296,86	262,37	1,13	1,13
65AADGL-0,1-1-3-2	160,49	40,63	40,45	296,60	263,76	1,12	
65AADGL-0,1-1-3-3	160,51	40,8	40,19	296,51	263,20	1,13	
65AADGL-0,1-1-3-4	160,47	41,46	40,18	299,58	267,32	1,12	
65AADGL-0,1-1-3-5	160,49	41,14	40,16	298,59	265,16	1,13	
65AADGL-0,1-1-3-6	160,41	41,16	40,37	300,10	266,54	1,13	
65AADGL-0,1-1-3-7	160,36	40,57	40,22	295,97	261,66	1,13	
65AADGL-0,1-1-3-8	160,43	40,67	40,34	297,73	263,21	1,13	
65AADGL-0,1-1-3-9	160,45	41,36	40,27	301,87	267,24	1,13	
65AADGL-0,1-1-3-10	160,24	40,55	40,67	297,08	264,26	1,12	
65AADGL-0,15-1-3-1	160,47	42,09	40,21	305,39	271,59	1,12	1,13
65AADGL-0,15-1-3-2	160,75	40,67	40,16	295,65	262,55	1,13	
65AADGL-0,15-1-3-3	160,48	40,85	40,24	299,61	263,80	1,14	
65AADGL-0,15-1-3-4	160,61	41,53	40,27	301,64	268,61	1,12	
65AADGL-0,15-1-3-5	160,47	41,47	40,18	301,70	267,39	1,13	
65AADGL-0,15-1-3-6	160,49	40,88	40,23	298,18	263,94	1,13	
65AADGL-0,15-1-3-7	160,74	41,75	40,24	303,30	270,05	1,12	
65AADGL-0,15-1-3-8	160,6	40,95	40,52	299,75	266,48	1,12	
65AADGL-0,15-1-3-9	160,53	42,43	40,11	306,81	273,20	1,12	
65AADGL-0,15-1-3-10	160,39	41,91	40,34	304,62	271,16	1,12	
65AADGL-0,2-1-3-1	160,55	41,44	40,55	302,80	269,79	1,12	1,13
65AADGL-0,2-1-3-2	160,45	40,99	40,33	297,36	265,24	1,12	
65AADGL-0,2-1-3-3	160,62	41,21	40,23	301,72	266,29	1,13	
65AADGL-0,2-1-3-4	160,43	41,14	40,32	300,82	266,12	1,13	
65AADGL-0,2-1-3-5	160,48	41,26	40,09	299,99	265,45	1,13	
65AADGL-0,2-1-3-6	160,66	40,3	40,22	293,38	260,41	1,13	
65AADGL-0,2-1-3-7	160,52	41,13	40,35	300,83	266,40	1,13	
65AADGL-0,2-1-3-8	160,39	41,07	40,35	300,41	265,79	1,13	
65AADGL-0,2-1-3-9	160,62	41,56	40,4	305,03	269,68	1,13	
65AADGL-0,2-1-3-10	160,2	40,71	40,11	295,52	261,59	1,13	

Çizelge A.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlık (Δ) (gr/cm ³)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)				
65AADGL-0,25-1-3-1	160,5	41,8	40,06	302,25	268,76	1,12	1,12
65AADGL-0,25-1-3-2	160,39	42,45	40,12	304,62	273,16	1,12	
65AADGL-0,25-1-3-3	160,28	43,01	40,57	313,34	279,68	1,12	
65AADGL-0,25-1-3-4	160,82	42,26	40,27	306,97	273,69	1,12	
65AADGL-0,25-1-3-5	160,39	42,45	40,49	307,55	275,68	1,12	
65AADGL-0,25-1-3-6	160,38	41,54	40,24	300,44	268,09	1,12	
65AADGL-0,25-1-3-7	160,38	43,03	40,17	310,59	277,22	1,12	
65AADGL-0,25-1-3-8	160,5	41,26	40,18	295,32	266,08	1,11	
65AADGL-0,25-1-3-9	161,07	42,96	40,19	308,44	278,10	1,11	
65AADGL-0,25-1-3-10	160,59	42,55	40,25	308,54	275,03	1,12	
65AADGL-0,5-1-3-1	160,34	40,44	40,07	292,83	259,82	1,13	1,13
65AADGL-0,5-1-3-2	160,35	40,89	40,08	297,24	262,79	1,13	
65AADGL-0,5-1-3-3	160,49	41,58	40,13	301,82	267,79	1,13	
65AADGL-0,5-1-3-4	160,35	40,85	40,28	295,52	263,85	1,12	
65AADGL-0,5-1-3-5	160,38	41,88	40,37	303,57	271,15	1,12	
65AADGL-0,5-1-3-6	160,68	40,79	40,15	295,59	263,15	1,12	
65AADGL-0,5-1-3-7	160,52	41,08	40,26	297,90	265,48	1,12	
65AADGL-0,5-1-3-8	160,6	41,18	40,03	298,17	264,74	1,13	
65AADGL-0,5-1-3-9	160,34	40,68	40,02	292,92	261,04	1,12	
65AADGL-0,5-1-3-10	160,52	40,28	40,41	297,44	261,28	1,14	
65AADGL-0,75-1-3-1	160,51	40,89	40,37	299,30	264,96	1,13	1,12
65AADGL-0,75-1-3-2	160,52	41,79	40	299,41	268,33	1,12	
65AADGL-0,75-1-3-3	160,52	41,71	40,29	300,31	269,75	1,11	
65AADGL-0,75-1-3-4	160,28	41,76	39,96	299,41	267,46	1,12	
65AADGL-0,75-1-3-5	160,35	41,78	40,28	301,10	269,85	1,12	
65AADGL-0,75-1-3-6	160,7	41,31	40,09	296,21	266,14	1,11	
65AADGL-0,75-1-3-7	160,75	41,17	40,33	298,25	266,91	1,12	
65AADGL-0,75-1-3-8	160,52	40,44	40,29	293,96	261,54	1,12	
65AADGL-0,75-1-3-9	160,77	41,64	39,98	300,58	267,64	1,12	
65AADGL-0,75-1-3-10	160,57	42,93	40,25	307,38	277,45	1,11	

Çizelge A.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlık (Δ) (gr/cm ³)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)				
65AADGL-1-1-3-1	160,94	41,52	40,43	300,52	270,16	1,11	1,12
65AADGL-1-1-3-2	160,85	41,31	40,08	297,88	266,32	1,12	
65AADGL-1-1-3-3	161,25	42,05	40,18	305,59	272,44	1,12	
65AADGL-1-1-3-4	160,49	41,2	40,27	298,87	266,27	1,12	
65AADGL-1-1-3-5	160,37	41,23	40,51	299,81	267,85	1,12	
65AADGL-1-1-3-6	160,32	41,36	40,16	299,33	266,29	1,12	
65AADGL-1-1-3-7	160,49	42,47	40,18	306,77	273,87	1,12	
65AADGL-1-1-3-8	160,62	42,37	40,34	305,28	274,53	1,11	
65AADGL-1-1-3-9	160,56	42,6	40,16	304,14	274,69	1,11	
65AADGL-1-1-3-10	160,31	42,19	40,57	305,79	274,39	1,11	
65AADGL-1-1-3-11	160,58	41,62	40,06	301,34	267,73	1,13	

Çizelge A.2 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlık (Δ) (gr/cm ³)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)				
65AG0-1	160,65	41,56	40,04	299,24	267,33	1,12	1,12
65AG0-2	160,72	41,16	40,15	297,55	265,60	1,12	
65AG0-3	160,92	41,41	39,91	297,07	265,95	1,12	
65AG0-4	160,74	40,94	40,31	297,48	265,27	1,12	
65AG0-5	160,37	40,14	40,06	288,67	257,88	1,12	
65AG0-6	160,83	41,32	40,27	297,81	267,61	1,11	
65AADGL-0,05-1-6-1	160,61	41,72	40,29	300,76	269,97	1,11	1,12
65AADGL-0,05-1-6-2	160,52	41,52	40,50	304,00	269,92	1,13	
65AADGL-0,05-1-6-3	160,50	41,60	40,06	300,11	267,47	1,12	
65AADGL-0,05-1-6-4	160,43	42,06	40,42	305,60	272,74	1,12	
65AADGL-0,05-1-6-5	160,56	40,18	40,26	291,68	259,73	1,12	
65AADGL-0,05-1-6-6	160,62	42,15	40,21	306,89	272,23	1,13	
65AADGL-0,05-1-6-7	160,56	41,88	40,28	303,33	270,85	1,12	
65AADGL-0,05-1-6-8	160,48	42,15	40,35	306,71	272,94	1,12	
65AADGL-0,05-1-6-9	160,52	41,90	40,33	304,03	271,25	1,12	
65AADGL-0,05-1-6-10	160,51	41,76	40,20	302,29	269,46	1,12	
65AADGL-0,075-1-6-1	160,68	41,42	40,16	298,44	267,28	1,12	1,12
65AADGL-0,075-1-6-2	160,58	41,49	40,09	299,61	267,10	1,12	
65AADGL-0,075-1-6-3	160,71	41,75	40,37	301,45	270,87	1,11	
65AADGL-0,075-1-6-4	160,34	41,41	40,45	297,92	268,58	1,11	
65AADGL-0,075-1-6-5	160,51	41,42	40,17	298,69	267,06	1,12	
65AADGL-0,075-1-6-6	160,37	41,20	40,16	295,74	265,35	1,11	
65AADGL-0,075-1-6-7	160,49	41,96	40,26	301,56	271,12	1,11	
65AADGL-0,075-1-6-8	160,98	40,74	40,45	296,35	265,28	1,12	
65AADGL-0,075-1-6-9	160,45	41,42	40,20	298,01	267,16	1,12	
65AADGL-0,075-1-6-10	160,65	41,87	40,30	302,54	271,07	1,12	

Çizelge A.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlık (Δ) (gr/cm ³)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)				
65AADGL-0,1-1-6-1	160,75	41,67	40,22	300,94	269,41	1,12	1,12
65AADGL-0,1-1-6-2	160,82	40,92	40,34	296,26	265,47	1,12	
65AADGL-0,1-1-6-3	160,56	41,07	40,36	297,75	266,14	1,12	
65AADGL-0,1-1-6-4	160,52	41,64	40,31	300,93	269,43	1,12	
65AADGL-0,1-1-6-5	160,77	41,76	40,31	300,80	270,63	1,11	
65AADGL-0,1-1-6-6	160,73	42,12	40,19	301,16	272,08	1,11	
65AADGL-0,1-1-6-7	160,46	41,10	40,33	295,79	265,97	1,11	
65AADGL-0,1-1-6-8	160,38	40,79	40,36	294,93	264,03	1,12	
65AADGL-0,1-1-6-9	160,84	41,38	40,10	298,94	266,89	1,12	
65AADGL-0,1-1-6-10	160,87	40,81	40,23	295,04	264,11	1,12	
65AADGL-0,15-1-6-1	160,22	41,24	40,36	297,70	266,68	1,12	1,12
65AADGL-0,15-1-6-2	160,58	41,04	40,17	297,14	264,73	1,12	
65AADGL-0,15-1-6-3	160,58	40,86	40,25	297,84	264,09	1,13	
65AADGL-0,15-1-6-4	160,33	42,02	40,35	303,57	271,84	1,12	
65AADGL-0,15-1-6-5	160,59	40,77	40,23	296,07	263,40	1,12	
65AADGL-0,15-1-6-6	160,65	41,24	40,28	299,43	266,86	1,12	
65AADGL-0,15-1-6-7	160,75	41,25	40,15	298,88	266,23	1,12	
65AADGL-0,15-1-6-8	160,33	40,43	40,32	295,40	261,36	1,13	
65AADGL-0,15-1-6-9	160,55	40,22	40,10	292,18	258,94	1,13	
65AADGL-0,15-1-6-10	160,54	40,66	40,58	297,78	264,89	1,12	
65AADGL-0,2-1-6-1	160,42	41,31	40,25	299,73	266,73	1,12	1,12
65AADGL-0,2-1-6-2	160,70	41,60	40,18	300,17	268,61	1,12	
65AADGL-0,2-1-6-3	160,64	41,82	40,12	302,05	269,52	1,12	
65AADGL-0,2-1-6-4	160,45	42,20	40,69	303,71	275,51	1,10	
65AADGL-0,2-1-6-5	160,80	41,93	40,22	300,93	271,18	1,11	
65AADGL-0,2-1-6-6	160,52	41,91	40,21	302,44	270,51	1,12	
65AADGL-0,2-1-6-7	160,87	41,99	40,30	304,25	272,22	1,12	
65AADGL-0,2-1-6-8	160,54	40,50	40,66	298,21	264,37	1,13	
65AADGL-0,2-1-6-9	160,70	41,82	40,50	305,64	272,18	1,12	
65AADGL-0,2-1-6-10	160,62	41,46	40,14	299,08	267,30	1,12	

Çizelge A.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlık (Δ) (gr/cm ³)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)				
65AADGL-0,25-1-6-1	160,68	42,52	40,25	304,66	274,99	1,11	1,11
65AADGL-0,25-1-6-2	160,71	41,42	40,10	296,83	266,93	1,11	
65AADGL-0,25-1-6-3	160,53	41,29	40,33	296,12	267,32	1,11	
65AADGL-0,25-1-6-4	160,42	41,64	40,10	297,44	267,86	1,11	
65AADGL-0,25-1-6-5	160,76	41,52	40,42	301,42	269,79	1,12	
65AADGL-0,25-1-6-6	160,58	41,94	40,35	300,50	271,75	1,11	
65AADGL-0,25-1-6-7	160,75	41,63	40,16	298,07	268,75	1,11	
65AADGL-0,25-1-6-8	160,30	40,37	40,54	295,49	262,35	1,13	
65AADGL-0,25-1-6-9	160,46	41,49	40,23	298,45	267,83	1,11	
65AADGL-0,25-1-6-10	160,77	41,95	40,42	301,81	272,60	1,11	
65AADGL-0,5-1-6-1	160,60	42,07	40,15	301,09	271,27	1,11	1,11
65AADGL-0,5-1-6-2	160,64	41,25	40,34	296,54	267,31	1,11	
65AADGL-0,5-1-6-3	160,27	41,94	40,38	298,08	271,42	1,10	
65AADGL-0,5-1-6-4	160,56	41,59	40,21	298,12	268,51	1,11	
65AADGL-0,5-1-6-5	160,56	42,18	40,31	300,92	273,00	1,10	
65AADGL-0,5-1-6-6	160,55	41,12	40,34	296,77	266,32	1,11	
65AADGL-0,5-1-6-7	161,07	40,72	40,37	293,63	264,78	1,11	
65AADGL-0,5-1-6-8	160,74	41,34	40,24	295,77	267,39	1,11	
65AADGL-0,5-1-6-9	160,76	42,71	40,61	307,36	278,83	1,10	
65AADGL-0,5-1-6-10	160,91	42,96	40,30	305,13	278,58	1,10	
65AADGL-0,75-1-6-1	160,63	41,33	40,13	294,13	266,42	1,10	1,11
65AADGL-0,75-1-6-2	160,66	40,63	40,38	290,62	263,59	1,10	
65AADGL-0,75-1-6-3	160,40	40,34	40,12	288,09	259,60	1,11	
65AADGL-0,75-1-6-4	160,37	40,61	40,18	291,41	261,68	1,11	
65AADGL-0,75-1-6-5	160,58	41,17	40,30	296,27	266,43	1,11	
65AADGL-0,75-1-6-6	160,69	40,82	40,06	292,13	262,77	1,11	
65AADGL-0,75-1-6-7	160,62	40,96	40,25	292,83	264,80	1,11	
65AADGL-0,75-1-6-8	160,26	39,85	40,36	289,03	257,75	1,12	
65AADGL-0,75-1-6-9	160,62	41,33	40,24	296,59	267,13	1,11	
65AADGL-0,75-1-6-10	160,45	40,91	40,19	290,94	263,81	1,10	

Çizelge A.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ort. Birim Hacim Ağırlık (Δ) (gr/cm ³)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)				
65AADGL-1-1-6-1	160,68	41,91	40,13	300,02	270,24	1,11	1,11
65AADGL-1-1-6-2	160,44	42,33	40,27	302,14	273,49	1,10	
65AADGL-1-1-6-3	160,49	40,91	40,17	294,71	263,74	1,12	
65AADGL-1-1-6-4	160,59	41,40	40,23	297,17	267,47	1,11	
65AADGL-1-1-6-5	160,84	41,26	40,30	297,92	267,44	1,11	
65AADGL-1-1-6-6	160,87	41,08	40,04	294,53	264,61	1,11	
65AADGL-1-1-6-7	160,56	41,87	40,26	300,48	270,65	1,11	
65AADGL-1-1-6-8	160,50	39,10	40,54	289,94	254,41	1,14	
65AADGL-1-1-6-9	160,80	41,20	40,55	297,73	268,64	1,11	
65AADGL-1-1-6-10	160,41	41,91	40,57	304,48	272,74	1,12	

EK B: rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Sertlik Değerleri.**Çizelge B.1 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri.**

Numune Kodu	65AG0-1	65AG0-2	65AG0-3	65AG0-4	65AG0-5	65AG0-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	52	55	55	53	53	52	53
	50	52	54	53	53	52	
	53	54	55	53	53	50	
	50	52	52	54	54	51	
Numune Kodu	65AADGL 0,05-1-3-1	65AADGL 0,05-1-3-2	65AADGL 0,05-1-3-3	65AADGL 0,05-1-3-4	65AADGL 0,05-1-3-5	65AADGL 0,05-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	53	52	56	54	50	55	54
	56	55	56	53	53	55	
	54	53	57	52	55	54	
	54	53	53	54	55	55	
Numune Kodu	65AADGL 0,075-1-3-1	65AADGL 0,075-1-3-2	65AADGL 0,075-1-3-3	65AADGL 0,075-1-3-4	65AADGL 0,075-1-3-5	65AADGL 0,075-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	56	56	56	56	55	54	56
	55	56	55	58	57	57	
	55	55	56	56	56	56	
	55	55	57	58	54	57	
Numune Kodu	65AADGL 0,1-1-3-1	65AADGL 0,1-1-3-2	65AADGL 0,1-1-3-3	65AADGL 0,1-1-3-4	65AADGL 0,1-1-3-5	65AADGL 0,1-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	58	58	60	56	58	59	58
	56	55	58	57	59	59	
	59	59	59	58	58	58	
	56	59	60	58	56	59	
Numune Kodu	65AADGL 0,15-1-3-1	65AADGL 0,15-1-3-2	65AADGL 0,15-1-3-3	65AADGL 0,15-1-3-4	65AADGL 0,15-1-3-5	65AADGL 0,15-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	53	56	55	51	57	53	55
	53	55	56	53	54	54	
	55	54	58	52	57	53	
	54	54	56	56	55	55	

Çizelge B.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri.

Numune Kodu	65AADGL 0,2-1-3-1	65AADGL 0,2-1-3-2	65AADGL 0,2-1-3-3	65AADGL 0,2-1-3-4	65AADGL 0,2-1-3-5	65AADGL 0,2-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	54	54	57	56	53	56	56
	55	55	55	56	53	56	
	55	56	57	58	56	57	
	56	57	59	56	55	56	
Numune Kodu	65AADGL 0,25-1-3-1	65AADGL 0,25-1-3-2	65AADGL 0,25-1-3-3	65AADGL 0,25-1-3-4	65AADGL 0,25-1-3-5	65AADGL 0,25-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	57	57	57	57	57	62	57
	55	57	56	55	57	56	
	55	57	57	58	54	58	
	57	58	56	59	58	61	
Numune Kodu	65AADGL 0,5-1-3-1	65AADGL 0,5-1-3-2	65AADGL 0,5-1-3-3	65AADGL 0,5-1-3-4	65AADGL 0,5-1-3-5	65AADGL 0,5-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	61	55	60	58	59	58	57
	56	55	56	58	59	55	
	58	55	60	59	60	56	
	58	55	58	58	57	55	
Numune Kodu	65AADGL 0,75-1-3-1	65AADGL 0,75-1-3-2	65AADGL 0,75-1-3-3	65AADGL 0,75-1-3-4	65AADGL 0,75-1-3-5	65AADGL 0,75-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	57	53	56	56	55	57	56
	57	55	58	50	59	57	
	54	53	57	56	56	53	
	56	54	56	56	56	58	
Numune Kodu	65AADGL 1-1-3-1	65AADGL 1-1-3-2	65AADGL 1-1-3-3	65AADGL 1-1-3-4	65AADGL 1-1-3-5	65AADGL 1-1-3-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	55	64	62	55	55	58	59
	55	61	60	59	60	61	
	57	61	59	57	61	59	
	57	58	59	59	60	59	

Çizelge B.2 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri.

Numune Kodu	65AG0-1	65AG0-2	65AG0-3	65AG0-4	65AG0-5	65AG0-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	52	55	55	53	53	52	53
	50	52	54	53	53	52	
	53	54	55	53	53	50	
	50	52	52	54	54	51	
Numune Kodu	65AADGL 0,05-1-6-1	65AADGL 0,05-1-6-2	65AADGL 0,05-1-6-3	65AADGL 0,05-1-6-4	65AADGL 0,05-1-6-5	65AADGL 0,05-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	55	56	55	55	58	56	56
	54	55	56	56	58	56	
	54	57	55	57	58	57	
	57	57	58	56	55	57	
Numune Kodu	65AADGL 0,075-1-6-1	65AADGL 0,075-1-6-2	65AADGL 0,075-1-6-3	65AADGL 0,075-1-6-4	65AADGL 0,075-1-6-5	65AADGL 0,075-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	56	54	54	55	55	55	55
	56	55	54	54	55	55	
	56	54	54	53	55	54	
	56	55	53	55	55	55	
Numune Kodu	65AADGL 0,1-1-6-1	65AADGL 0,1-1-6-2	65AADGL 0,1-1-6-3	65AADGL 0,1-1-6-4	65AADGL 0,1-1-6-5	65AADGL 0,1-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	53	57	56	52	55	54	55
	55	55	55	56	55	55	
	53	56	54	55	51	53	
	54	56	57	54	57	56	
Numune Kodu	65AADGL 0,15-1-6-1	65AADGL 0,15-1-6-2	65AADGL 0,15-1-6-3	65AADGL 0,15-1-6-4	65AADGL 0,15-1-6-5	65AADGL 0,15-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	53	57	53	53	54	54	53
	55	53	54	50	53	54	
	55	53	53	54	55	53	
	55	50	53	53	52	54	

Çizelge B.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin sertlik değerleri.

Numune Kodu	65AADGL 0,2-1-6-1	65AADGL 0,2-1-6-2	65AADGL 0,2-1-6-3	65AADGL 0,2-1-6-4	65AADGL 0,2-1-6-5	65AADGL 0,2-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	53	53	55	54	53	54	54
	55	52	55	54	53	54	
	55	53	52	52	53	54	
	55	53	54	54	51	55	
Numune Kodu	65AADGL 0,25-1-6-1	65AADGL 0,25-1-6-2	65AADGL 0,25-1-6-3	65AADGL 0,25-1-6-4	65AADGL 0,25-1-6-5	65AADGL 0,25-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	51	51	48	51	50	53	51
	52	53	52	54	51	51	
	51	54	52	53	51	53	
	50	51	50	53	50	50	
Numune Kodu	65AADGL 0,5-1-6-1	65AADGL 0,5-1-6-2	65AADGL 0,5-1-6-3	65AADGL 0,5-1-6-4	65AADGL 0,5-1-6-5	65AADGL 0,5-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	55	52	53	52	51	57	54
	55	54	53	52	53	56	
	54	52	54	53	51	53	
	55	54	54	53	52	56	
Numune Kodu	65AADGL 0,75-1-6-1	65AADGL 0,75-1-6-2	65AADGL 0,75-1-6-3	65AADGL 0,75-1-6-4	65AADGL 0,75-1-6-5	65AADGL 0,75-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	55	52	53	52	51	57	54
	55	54	53	52	53	56	
	54	52	54	53	51	53	
	55	54	54	53	52	56	
Numune Kodu	65AADGL 1-1-6-1	65AADGL 1-1-6-2	65AADGL 1-1-6-3	65AADGL 1-1-6-4	65AADGL 1-1-6-5	65AADGL 1-1-6-6	Ort. Sertlik Değeri Shore D
Sertlik Değeri Shore D	46	53	51	52	48	51	51
	53	50	52	50	55	50	
	51	49	54	53	52	52	
	54	53	53	52	50	51	

EK C : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri.

Çizelge C.1 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerleri.

Numune Kodu	Ağırlık (kg)	Hacim (lt)	$l \times 10^{-5}$ (km)	$t \times 10^{-6}$ (sn)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Ort. Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
65AG0-1	0,30	0,27	16,07	73,20	2,19	2,22
65AG0-2	0,30	0,27	16,07	72,50	2,22	
65AG0-3	0,30	0,27	16,09	72,50	2,22	
65AG0-4	0,30	0,27	16,07	73,40	2,19	
65AG0-5	0,29	0,26	16,04	72,50	2,21	
65AG0-6	0,30	0,27	16,08	70,90	2,27	
65AADGL-0,05-1-3-1	0,30	0,27	16,05	72,90	2,20	2,21
65AADGL-0,05-1-3-2	0,30	0,27	16,05	74,90	2,14	
65AADGL-0,05-1-3-3	0,30	0,27	16,06	71,70	2,24	
65AADGL-0,05-1-3-4	0,30	0,27	16,07	72,80	2,21	
65AADGL-0,05-1-3-5	0,30	0,27	16,02	72,30	2,22	
65AADGL-0,05-1-3-6	0,30	0,27	16,05	71,80	2,24	
65AADGL-0,075-1-3-1	0,30	0,27	16,04	72,60	2,21	2,27
65AADGL-0,075-1-3-2	0,30	0,26	16,02	71,80	2,23	
65AADGL-0,075-1-3-3	0,30	0,27	16,03	68,30	2,35	
65AADGL-0,075-1-3-4	0,31	0,27	16,05	68,10	2,36	
65AADGL-0,075-1-3-5	0,30	0,26	16,05	71,40	2,25	
65AADGL-0,075-1-3-6	0,30	0,27	16,04	72,00	2,23	
65AADGL-0,1-1-3-1	0,30	0,26	16,05	72,60	2,21	2,19
65AADGL-0,1-1-3-2	0,30	0,26	16,05	72,90	2,20	
65AADGL-0,1-1-3-3	0,30	0,26	16,05	74,50	2,15	
65AADGL-0,1-1-3-4	0,30	0,27	16,05	73,70	2,18	
65AADGL-0,1-1-3-5	0,30	0,27	16,05	72,90	2,20	
65AADGL-0,1-1-3-6	0,30	0,27	16,04	74,10	2,16	
65AADGL-0,15-1-3-1	0,31	0,27	16,05	78,50	2,04	2,12
65AADGL-0,15-1-3-2	0,30	0,26	16,08	75,80	2,12	
65AADGL-0,15-1-3-3	0,30	0,26	16,05	74,60	2,15	
65AADGL-0,15-1-3-4	0,30	0,27	16,06	75,80	2,12	
65AADGL-0,15-1-3-5	0,30	0,27	16,05	73,80	2,17	
65AADGL-0,15-1-3-6	0,30	0,26	16,05	75,50	2,13	

Çizelge C.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerleri.

Numune Kodu	Ağırlık (kg)	Hacim (lt)	$l \times 10^{-5}$ (km)	$t \times 10^{-6}$ (sn)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Ort. Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
65AADGL-0,2-1-3-1	0,30	0,27	16,06	72,90	2,20	2,17
65AADGL-0,2-1-3-2	0,30	0,27	16,05	74,70	2,15	
65AADGL-0,2-1-3-3	0,30	0,27	16,06	74,50	2,16	
65AADGL-0,2-1-3-4	0,30	0,27	16,04	72,70	2,21	
65AADGL-0,2-1-3-5	0,30	0,27	16,05	73,80	2,17	
65AADGL-0,2-1-3-6	0,29	0,26	16,07	74,60	2,15	
65AADGL-0,25-1-3-1	0,30	0,27	16,05	72,40	2,22	2,21
65AADGL-0,25-1-3-2	0,30	0,27	16,04	73,40	2,19	
65AADGL-0,25-1-3-3	0,31	0,28	16,03	71,60	2,24	
65AADGL-0,25-1-3-4	0,31	0,27	16,08	72,30	2,22	
65AADGL-0,25-1-3-5	0,31	0,28	16,04	72,40	2,22	
65AADGL-0,25-1-3-6	0,30	0,27	16,04	72,80	2,20	
65AADGL-0,5-1-3-1	0,29	0,26	16,03	76,90	2,09	2,04
65AADGL-0,5-1-3-2	0,30	0,26	16,04	78,80	2,03	
65AADGL-0,5-1-3-3	0,30	0,27	16,05	79,70	2,01	
65AADGL-0,5-1-3-4	0,30	0,26	16,04	78,80	2,03	
65AADGL-0,5-1-3-5	0,30	0,27	16,04	78,90	2,03	
65AADGL-0,5-1-3-6	0,30	0,26	16,07	79,00	2,03	
65AADGL-0,75-1-3-1	0,30	0,26	16,05	74,50	2,15	2,20
65AADGL-0,75-1-3-2	0,30	0,27	16,05	74,10	2,17	
65AADGL-0,75-1-3-3	0,30	0,27	16,05	73,70	2,18	
65AADGL-0,75-1-3-4	0,30	0,27	16,03	74,30	2,16	
65AADGL-0,75-1-3-5	0,30	0,27	16,04	72,60	2,21	
65AADGL-0,75-1-3-6	0,30	0,27	16,07	69,70	2,31	
65AADGL-1-1-3-1	0,30	0,27	16,09	71,80	2,24	2,24
65AADGL-1-1-3-2	0,30	0,27	16,09	71,60	2,25	
65AADGL-1-1-3-3	0,31	0,27	16,13	71,20	2,26	
65AADGL-1-1-3-4	0,30	0,27	16,05	72,40	2,22	
65AADGL-1-1-3-5	0,30	0,27	16,04	71,60	2,24	
65AADGL-1-1-3-6	0,30	0,27	16,03	71,10	2,25	

Çizelge C.2 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerleri.

Numune Kodu	Ağırlık (kg)	Hacim (lt)	$l \times 10^{-5}$ (km)	$t \times 10^{-6}$ (sn)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Ort. Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
65AG0-1	0,30	0,27	16,07	73,20	2,19	2,22
65AG0-2	0,30	0,27	16,07	72,50	2,22	
65AG0-3	0,30	0,27	16,09	72,50	2,22	
65AG0-4	0,30	0,27	16,07	73,40	2,19	
65AG0-5	0,29	0,26	16,04	72,50	2,21	
65AG0-6	0,30	0,27	16,08	70,90	2,27	
65AADGL-0,05-1-6-1	0,30	0,27	16,06	70,40	2,28	2,26
65AADGL-0,05-1-6-2	0,30	0,27	16,05	70,80	2,27	
65AADGL-0,05-1-6-3	0,30	0,27	16,05	70,40	2,28	
65AADGL-0,05-1-6-4	0,31	0,27	16,04	72,00	2,23	
65AADGL-0,05-1-6-5	0,29	0,26	16,06	70,90	2,26	
65AADGL-0,05-1-6-6	0,31	0,27	16,06	71,80	2,24	
65AADGL-0,075-1-6-1	0,30	0,27	16,07	73,60	2,18	2,22
65AADGL-0,075-1-6-2	0,30	0,27	16,06	71,60	2,24	
65AADGL-0,075-1-6-3	0,30	0,27	16,07	71,50	2,25	
65AADGL-0,075-1-6-4	0,30	0,27	16,03	72,80	2,20	
65AADGL-0,075-1-6-5	0,30	0,27	16,05	71,70	2,24	
65AADGL-0,075-1-6-6	0,30	0,27	16,04	72,30	2,22	
65AADGL-0,1-1-6-1	0,30	0,27	16,08	73,40	2,19	2,18
65AADGL-0,1-1-6-2	0,30	0,27	16,08	74,70	2,15	
65AADGL-0,1-1-6-3	0,30	0,27	16,06	73,20	2,19	
65AADGL-0,1-1-6-4	0,30	0,27	16,05	73,20	2,19	
65AADGL-0,1-1-6-5	0,30	0,27	16,08	73,80	2,18	
65AADGL-0,1-1-6-6	0,30	0,27	16,07	74,10	2,17	
65AADGL-0,15-1-6-1	0,30	0,27	16,02	73,20	2,19	2,24
65AADGL-0,15-1-6-2	0,30	0,26	16,06	70,30	2,28	
65AADGL-0,15-1-6-3	0,30	0,26	16,06	72,00	2,23	
65AADGL-0,15-1-6-4	0,30	0,27	16,03	70,90	2,26	
65AADGL-0,15-1-6-5	0,30	0,26	16,06	71,20	2,26	
65AADGL-0,15-1-6-6	0,30	0,27	16,07	71,50	2,25	

Çizelge C.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ultrases geçiş hızı değerleri.

Numune Kodu	Ağırlık (kg)	Hacim (lt)	$l \times 10^{-5}$ (km)	$t \times 10^{-6}$ (sn)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Ort. Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
65AADGL-0,2-1-6-1	0,30	0,27	16,04	69,30	2,31	2,27
65AADGL-0,2-1-6-2	0,30	0,27	16,07	70,80	2,27	
65AADGL-0,2-1-6-3	0,30	0,27	16,06	71,70	2,24	
65AADGL-0,2-1-6-4	0,30	0,28	16,05	71,10	2,26	
65AADGL-0,2-1-6-5	0,30	0,27	16,08	70,90	2,27	
65AADGL-0,2-1-6-6	0,30	0,27	16,05	70,40	2,28	
65AADGL-0,25-1-6-1	0,30	0,27	16,07	75,80	2,12	2,22
65AADGL-0,25-1-6-2	0,30	0,27	16,07	70,90	2,27	
65AADGL-0,25-1-6-3	0,30	0,27	16,05	70,60	2,27	
65AADGL-0,25-1-6-4	0,30	0,27	16,04	70,90	2,26	
65AADGL-0,25-1-6-5	0,30	0,27	16,08	73,80	2,18	
65AADGL-0,25-1-6-6	0,30	0,27	16,06	71,70	2,24	
65AADGL-0,5-1-6-1	0,30	0,27	16,06	72,30	2,22	2,21
65AADGL-0,5-1-6-2	0,30	0,27	16,06	71,60	2,24	
65AADGL-0,5-1-6-3	0,30	0,27	16,03	72,40	2,21	
65AADGL-0,5-1-6-4	0,30	0,27	16,06	73,10	2,20	
65AADGL-0,5-1-6-5	0,30	0,27	16,06	72,40	2,22	
65AADGL-0,5-1-6-6	0,30	0,27	16,06	73,30	2,19	
65AADGL-0,75-1-6-1	0,29	0,27	16,06	75,50	2,13	2,16
65AADGL-0,75-1-6-2	0,29	0,26	16,07	74,60	2,15	
65AADGL-0,75-1-6-3	0,29	0,26	16,04	73,70	2,18	
65AADGL-0,75-1-6-4	0,29	0,26	16,04	74,30	2,16	
65AADGL-0,75-1-6-5	0,30	0,27	16,06	73,40	2,19	
65AADGL-0,75-1-6-6	0,29	0,26	16,07	73,50	2,19	
65AADGL-1-1-6-1	0,30	0,27	16,07	74,50	2,16	2,20
65AADGL-1-1-6-2	0,30	0,27	16,04	74,10	2,17	
65AADGL-1-1-6-3	0,29	0,26	16,05	73,70	2,18	
65AADGL-1-1-6-4	0,30	0,27	16,06	74,30	2,16	
65AADGL-1-1-6-5	0,30	0,27	16,08	72,60	2,22	
65AADGL-1-1-6-6	0,29	0,26	16,09	69,70	2,31	

EK D : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Rötire Değerleri ve Ağırlık Kaybı Yüzdeleri.

Çizelge D.1 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin rötire değerleri.

Ölçüm Tarihi	Gün	3,3 dtex rPET Lifinin Farklı Hacim Oranlarında (%) Rötire Değerleri								
		0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1
30.04.2012	0									
02.05.2012	2	0,000531								
03.05.2012	3	0,000490								
04.05.2012	4	0,000302	0,000354	0,000469						
07.05.2012	7	0,000260	0,000375	0,000604						
08.05.2012	8	0,000333	0,000354	0,000531	0,000292					
09.05.2012	9	0,000281	0,000323	0,000438	0,000354	0,000333	0,000427	0,000479		
10.05.2012	10	0,000302	0,000302	0,000417	0,000396	0,000365	0,000438	0,000500		
11.05.2012	11	0,000250	0,000302	0,000365	0,000396	0,000240	0,000385	0,000458	0,000521	
14.05.2012	14	0,000219	0,000229	0,000375	0,000208	0,000156	0,000229	0,000375	0,000490	
15.05.2012	15		0,000198	0,000573	0,000448	0,000594	0,000510	0,000771	0,000708	
17.05.2012	17		0,000417	0,000552	0,000417	0,000354	0,000479	0,000750	0,000625	
18.05.2012	18				0,000417	0,000302	0,000417	0,000479	0,000427	0,000562
21.05.2012	21				0,000333	0,000271	0,000469	0,000573	0,000583	0,000750
22.05.2012	22					0,000448	0,000531	0,000510	0,000625	0,000687
23.05.2012	23								0,000687	0,000625
24.05.2012	24									0,000562
28.05.2012	28									0,000500
29.05.2012	29									0,000500
30.05.2012	30									0,000500
31.05.2012	31									0,000500

Çizelge D.2 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ağırlık kaybı yüzdeleri.

Ölçüm Tarihi	Gün	3,3 dtex rPET Lifinin Farklı Hacim Oranlarında(%) Ağırlık Kaybı Yüzdeleri								
		0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1
30.04.2012	0									
02.05.2012	2	22,91								
03.05.2012	3	26,14								
04.05.2012	4	26,68	9,56	11,96						
07.05.2012	7	26,73	26,02	26,65						
08.05.2012	8	26,72	26,35	26,88	13,10					
09.05.2012	9	26,74	26,37	26,91	15,80	2,67	2,49	2,84		
10.05.2012	10	26,73	26,36	26,89	24,73	11,43	11,28	11,32		
11.05.2012	11	26,71	26,35	26,88	25,89	14,57	13,01	13,17	1,61	
14.05.2012	14	26,72	26,35	26,90	26,94	25,05	25,98	26,00	22,14	
15.05.2012	15		26,38	26,93	26,98	25,13	26,10	26,64	25,35	
17.05.2012	17		26,40	26,93	26,98	25,13	26,11	26,65	26,17	
18.05.2012	18				26,96	25,12	26,09	26,63	26,16	5,93
21.05.2012	21				26,95	25,10	26,08	26,62	26,15	23,63
22.05.2012	22					25,09	26,08	26,62	26,16	25,55
23.05.2012	23								26,16	26,13
24.05.2012	24								26,15	26,27
28.05.2012	28									26,29
29.05.2012	29									26,30
30.05.2012	30									26,30
31.05.2012	31									26,32

Çizelge D.3 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin rötre değerleri.

Ölçüm Tarihi	Gün	6,6 dtex rPET Lifinin Farklı Hacim Oranlarında (%) Rötre Değerleri								
		0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1
18.05.2012	0									
21.05.2012	1	0,000438								
22.05.2012	4	0,000406	0,000156	0,000333						
23.05.2012	5	0,000531	0,000172	0,000427	0,000469					
24.05.2012	6	0,000417	0,000188	0,000375	0,000479					
28.05.2012	7	0,000302	0,000125	0,000333	0,000469					
29.05.2012	11	0,000302	0,000094	0,000271	0,000479					
30.05.2012	12	0,000260	0,000016	0,000167	0,000458	0,000281				
31.05.2012	13	0,000198	0,000031	0,000229	0,000427	0,00025				
01.06.2012	14	0,000281	0,000063	0,000188	0,000406	0,00025	0,000203	0,000208	0,000521	
04.06.2012	17		0,000031	0,000188	0,000313	0,000219	0,000297	0,000312	0,000583	0,000604
05.06.2012	18				0,000333	0,000219	0,000203	0,000292	0,000479	0,000542
06.06.2012	19					0,000156	0,000203	0,000354	0,000375	0,000510
07.06.2012	20					0,000125	0,000078	0,000229	0,000302	0,000479
08.06.2012	21					0,000031	0,000141	0,000083	0,000271	0,000333
11.06.2012	24					0,000063	0,000047	0,000062	0,000333	0,000396
12.06.2012	25						0,000047	0,000062	0,000271	0,000344
13.06.2012	26						0,000047	0,000042	0,000292	0,000333
14.06.2012	27									0,000354

Çizelge D.4 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin ağırlık kaybı yüzdeleri.

Ölçüm Tarihi	Gün	6,6 dtex rPET Lifinin Farklı Hacim Oranlarında (%) Ağırlık Kaybı Yüzdeleri								
		0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1
18.05.2012	0									
21.05.2012	1	13,64								
22.05.2012	4	20,59	5,33	5,53						
23.05.2012	5	24,69	10,78	13,51	4,65					
24.05.2012	6	26,19	17,02	20,25	10,59					
28.05.2012	7	26,87	26,14	26,81	22,44					
29.05.2012	11	26,89	26,47	27,05	24,59					
30.05.2012	12	26,90	26,51	27,09	26,26	5,48				
31.05.2012	13	26,91	26,53	27,10	26,77	12,37				
01.06.2012	14	26,89	26,51	27,09	26,85	15,55	4,15	5,70	4,46	
04.06.2012	17		26,52	27,10	26,87	25,5	16,12	21,24	24,03	18,05
05.06.2012	18				26,89	26,56	19,99	24,60	26,33	23,14
06.06.2012	19					26,94	22,65	26,2	27,04	25,42
07.06.2012	20					27,14	25,2	26,95	27,40	26,43
08.06.2012	21					27,13	25,91	27,07	27,39	26,59
11.06.2012	24					27,15	26,55	27,12	27,42	26,63
12.06.2012	25						26,54	27,09	27,40	26,61
13.06.2012	26						26,54	27,10	27,40	26,62
14.06.2012	27									26,62

EK E : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Eğilme Dayanımı Değerleri.

Çizelge E.1 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h^2 (mm ²)	Kesit Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
65AG0-1	160,65	41,56	40,04	100	1603,20	1662,40	1400	3,15	3,14
65AG0-2	160,72	41,16	40,15	100	1612,02	1646,40	1300	2,94	
65AG0-3	160,92	41,41	39,91	100	1592,81	1656,40	1300	2,96	
65AG0-4	160,74	40,94	40,31	100	1624,90	1637,60	1500	3,38	
65AG0-5	160,37	40,14	40,06	100	1604,80	1605,60	1400	3,26	
65AG0-6	160,83	41,32	40,27	100	1621,67	1652,80	1400	3,13	
65AADGL-0,05-1-3-1	160,53	41,29	40,35	100	1628,12	1651,60	2050	4,57	4,03
65AADGL-0,05-1-3-2	160,45	41,39	40,35	100	1628,12	1655,60	1700	3,78	
65AADGL-0,05-1-3-3	160,56	41,08	40,33	100	1626,51	1643,20	1600	3,59	
65AADGL-0,05-1-3-4	160,74	41,61	40,49	100	1639,44	1664,40	1750	3,85	
65AADGL-0,05-1-3-5	160,24	41,52	40,68	100	1654,86	1660,80	1800	3,93	
65AADGL-0,05-1-3-6	160,51	41,94	40,11	100	1608,81	1677,60	2000	4,45	
65AADGL-0,075-1-3-1	160,35	41,31	40,26	100	1620,87	1652,40	1850	4,14	4,19
65AADGL-0,075-1-3-2	160,19	40,72	40,53	100	1642,68	1628,80	1850	4,15	
65AADGL-0,075-1-3-3	160,33	41,51	40,17	100	1613,63	1660,40	2200	4,93	
65AADGL-0,075-1-3-4	160,54	41,22	40,75	100	1660,56	1648,80	1950	4,27	
65AADGL-0,075-1-3-5	160,45	41,11	40,16	100	1612,83	1644,40	1700	3,85	
65AADGL-0,075-1-3-6	160,40	41,34	40,30	100	1624,09	1653,60	1700	3,80	

Çizelge E.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h ² (mm ²)	Kesit Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
65AADGL-0,1-1-3-1	160,53	40,83	40,03	100	1602,40	1633,20	1900	4,36	4,03
65AADGL-0,1-1-3-2	160,49	40,63	40,45	100	1636,20	1625,20	1700	3,84	
65AADGL-0,1-1-3-3	160,51	40,80	40,19	100	1615,24	1632,00	1650	3,76	
65AADGL-0,1-1-3-4	160,47	41,46	40,18	100	1614,43	1658,40	1800	4,03	
65AADGL-0,1-1-3-5	160,49	41,14	40,16	100	1612,83	1645,60	1800	4,07	
65AADGL-0,1-1-3-6	160,41	41,16	40,37	100	1629,74	1646,40	1850	4,14	
65AADGL-0,15-1-3-1	160,47	42,09	40,21	100	1616,84	1683,60	1700	3,75	3,94
65AADGL-0,15-1-3-2	160,75	40,67	40,16	100	1612,83	1626,80	1700	3,89	
65AADGL-0,15-1-3-3	160,48	40,85	40,24	100	1619,26	1634,00	1650	3,74	
65AADGL-0,15-1-3-4	160,61	41,53	40,27	100	1621,67	1661,20	1800	4,01	
65AADGL-0,15-1-3-5	160,47	41,47	40,18	100	1614,43	1658,80	1850	4,14	
65AADGL-0,15-1-3-6	160,49	40,88	40,23	100	1618,45	1635,20	1800	4,08	
65AADGL-0,2-1-3-1	160,55	41,44	40,55	100	1644,30	1657,60	1900	4,18	4,05
65AADGL-0,2-1-3-2	160,45	40,99	40,33	100	1626,51	1639,60	1950	4,39	
65AADGL-0,2-1-3-3	160,62	41,21	40,23	100	1618,45	1648,40	1900	4,27	
65AADGL-0,2-1-3-4	160,43	41,14	40,32	100	1625,70	1645,60	1850	4,15	
65AADGL-0,2-1-3-5	160,48	41,26	40,09	100	1607,21	1650,40	1600	3,62	
65AADGL-0,2-1-3-6	160,66	40,30	40,22	100	1617,65	1612,00	1600	3,68	

Çizelge E.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h^2 (mm ²)	Kesit Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
65AADGL-0,25-1-3-1	160,50	41,80	40,06	100	1604,80	1672,00	1800	4,02	3,88
65AADGL-0,25-1-3-2	160,39	42,45	40,12	100	1609,61	1698,00	1600	3,51	
65AADGL-0,25-1-3-3	160,28	43,01	40,57	100	1645,92	1720,40	1850	3,92	
65AADGL-0,25-1-3-4	160,82	42,26	40,27	100	1621,67	1690,40	1700	3,72	
65AADGL-0,25-1-3-5	160,39	42,45	40,49	100	1639,44	1698,00	1800	3,88	
65AADGL-0,25-1-3-6	160,38	41,54	40,24	100	1619,26	1661,60	1900	4,24	
65AADGL-0,5-1-3-1	160,34	40,44	40,07	100	1605,60	1617,60	1650	3,81	3,94
65AADGL-0,5-1-3-2	160,35	40,89	40,08	100	1606,41	1635,60	1850	4,22	
65AADGL-0,5-1-3-3	160,49	41,58	40,13	100	1610,42	1663,20	1750	3,92	
65AADGL-0,5-1-3-4	160,35	40,85	40,28	100	1622,48	1634,00	1700	3,85	
65AADGL-0,5-1-3-5	160,38	41,88	40,37	100	1629,74	1675,20	1800	3,96	
65AADGL-0,5-1-3-6	160,68	40,79	40,15	100	1612,02	1631,60	1700	3,88	
65AADGL-0,75-1-3-1	160,51	40,89	40,37	100	1629,74	1635,60	1700	3,83	4,07
65AADGL-0,75-1-3-2	160,52	41,79	40,00	100	1600,00	1671,60	1900	4,26	
65AADGL-0,75-1-3-3	160,52	41,71	40,29	100	1623,28	1668,40	1900	4,21	
65AADGL-0,75-1-3-4	160,28	41,76	39,96	100	1596,80	1670,40	1700	3,82	
65AADGL-0,75-1-3-5	160,35	41,78	40,28	100	1622,48	1671,20	1900	4,20	
65AADGL-0,75-1-3-6	160,70	41,31	40,09	100	1607,21	1652,40	1800	4,07	

Çizelge E.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h ² (mm ²)	Kesit Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
65AADGL-1-1-3-1	160,94	41,52	40,43	100	1634,58	1660,80	1600	3,54	3,63
65AADGL-1-1-3-2	160,85	41,31	40,08	100	1606,41	1652,40	1650	3,73	
65AADGL-1-1-3-3	161,25	42,05	40,18	100	1614,43	1682,00	1750	3,87	
65AADGL-1-1-3-4	160,49	41,20	40,27	100	1621,67	1648,00	1500	3,37	
65AADGL-1-1-3-5	160,37	41,23	40,51	100	1641,06	1649,20	1600	3,55	
65AADGL-1-1-3-6	160,32	41,36	40,16	100	1612,83	1654,40	1650	3,71	

Çizelge E.2 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h ² (mm ²)	Kesit Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
65AG0-1	160,65	41,56	40,04	100	1603,20	1662,40	1400	3,15	3,14
65AG0-2	160,72	41,16	40,15	100	1612,02	1646,40	1300	2,94	
65AG0-3	160,92	41,41	39,91	100	1592,81	1656,40	1300	2,96	
65AG0-4	160,74	40,94	40,31	100	1624,90	1637,60	1500	3,38	
65AG0-5	160,37	40,14	40,06	100	1604,80	1605,60	1400	3,26	
65AG0-6	160,83	41,32	40,27	100	1621,67	1652,80	1400	3,13	
65AADGL-0,05-1-6-1	160,55	41,56	40,25	100	1620,06	1662,4	2000	4,46	4,47
65AADGL-0,05-1-6-2	160,46	41,46	40,37	100	1629,74	1658,4	2050	4,55	
65AADGL-0,05-1-6-3	160,48	41,52	40,02	100	1601,60	1660,8	1950	4,40	
65AADGL-0,05-1-6-4	160,32	42,04	40,46	100	1637,01	1681,6	1900	4,14	
65AADGL-0,05-1-6-5	160,54	40,02	40,19	100	1615,24	1600,8	2050	4,76	
65AADGL-0,05-1-6-6	160,37	42,27	40,19	100	1615,24	1690,8	2050	4,50	
65AADGL-0,075-1-6-1	160,68	41,42	40,16	100	1612,83	1656,8	1950	4,38	3,91
65AADGL-0,075-1-6-2	160,58	41,49	40,09	100	1607,21	1659,6	1700	3,82	
65AADGL-0,075-1-6-3	160,71	41,75	40,37	100	1629,74	1670,0	1700	3,75	
65AADGL-0,075-1-6-4	160,34	41,41	40,45	100	1636,20	1656,4	1700	3,76	
65AADGL-0,075-1-6-5	160,51	41,42	40,17	100	1613,63	1656,8	1750	3,93	
65AADGL-0,075-1-6-6	160,37	41,2	40,16	100	1612,83	1648,0	1700	3,84	

Çizelge E.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h ² (mm ²)	Kesit Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
65AADGL-0,1-1-6-1	160,75	41,67	40,22	100	1617,65	1666,8	1400	3,12	3,28
65AADGL-0,1-1-6-2	160,82	40,92	40,34	100	1627,32	1636,8	1400	3,15	
65AADGL-0,1-1-6-3	160,56	41,07	40,36	100	1628,93	1642,8	1450	3,25	
65AADGL-0,1-1-6-4	160,52	41,64	40,31	100	1624,90	1665,6	1400	3,10	
65AADGL-0,1-1-6-5	160,77	41,76	40,31	100	1624,90	1670,4	1800	3,98	
65AADGL-0,1-1-6-6	160,73	42,12	40,19	100	1615,24	1684,8	1400	3,09	
65AADGL-0,15-1-6-1	160,22	41,24	40,36	100	1628,93	1649,6	1800	4,02	3,85
65AADGL-0,15-1-6-2	160,58	41,04	40,17	100	1613,63	1641,6	1750	3,96	
65AADGL-0,15-1-6-3	160,58	40,86	40,25	100	1620,06	1634,4	1750	3,97	
65AADGL-0,15-1-6-4	160,33	42,02	40,35	100	1628,12	1680,8	1650	3,62	
65AADGL-0,15-1-6-5	160,59	40,77	40,23	100	1618,45	1630,8	1500	3,41	
65AADGL-0,15-1-6-6	160,65	41,24	40,28	100	1622,48	1649,6	1850	4,15	
65AADGL-0,2-1-6-1	160,42	41,31	40,25	100	1620,06	1652,4	1500	3,36	3,87
65AADGL-0,2-1-6-2	160,7	41,6	40,18	100	1614,43	1664,0	1900	4,24	
65AADGL-0,2-1-6-3	160,64	41,82	40,12	100	1609,61	1672,8	1950	4,35	
65AADGL-0,2-1-6-4	160,45	42,2	40,69	100	1655,68	1688,0	1750	3,76	
65AADGL-0,2-1-6-5	160,8	41,93	40,22	100	1617,65	1677,2	1750	3,87	
65AADGL-0,2-1-6-6	160,52	41,91	40,21	100	1616,84	1676,4	1650	3,65	

Çizelge E.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h ² (mm ²)	Kesit Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
65AADGL-0,25-1-6-1	160,68	42,52	40,25	100	1620,06	1700,8	1900	4,14	3,88
65AADGL-0,25-1-6-2	160,71	41,42	40,1	100	1608,01	1656,8	1800	4,05	
65AADGL-0,25-1-6-3	160,53	41,29	40,33	100	1626,51	1651,6	1750	3,91	
65AADGL-0,25-1-6-4	160,42	41,64	40,1	100	1608,01	1665,6	1750	3,92	
65AADGL-0,25-1-6-5	160,76	41,52	40,42	100	1633,78	1660,8	1600	3,54	
65AADGL-0,25-1-6-6	160,58	41,94	40,35	100	1628,12	1677,6	1700	3,73	
65AADGL-0,5-1-6-1	160,6	42,07	40,15	100	1612,02	1682,8	1900	4,20	4,01
65AADGL-0,5-1-6-2	160,64	41,25	40,34	100	1627,32	1650,0	1800	4,02	
65AADGL-0,5-1-6-3	160,27	41,94	40,38	100	1630,54	1677,6	1800	3,95	
65AADGL-0,5-1-6-4	160,56	41,59	40,21	100	1616,84	1663,6	1800	4,02	
65AADGL-0,5-1-6-5	160,56	42,18	40,31	100	1624,90	1687,2	1950	4,27	
65AADGL-0,5-1-6-6	160,55	41,12	40,34	100	1627,32	1644,8	1600	3,59	
65AADGL-0,75-1-6-1	160,63	41,33	40,13	100	1610,42	1653,2	1350	3,04	3,41
65AADGL-0,75-1-6-2	160,66	40,63	40,38	100	1630,54	1625,2	1400	3,17	
65AADGL-0,75-1-6-3	160,4	40,34	40,12	100	1609,61	1613,6	1550	3,58	
65AADGL-0,75-1-6-4	160,37	40,61	40,18	100	1614,43	1624,4	1500	3,43	
65AADGL-0,75-1-6-5	160,58	41,17	40,3	100	1624,09	1646,8	1550	3,48	
65AADGL-0,75-1-6-6	160,69	40,82	40,06	100	1604,80	1632,8	1650	3,78	

Çizelge E.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h ² (mm ²)	Kesit Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
65AADGL-1-1-6-1	160,68	41,91	40,13	100	1610,42	1676,4	1700	3,78	3,73
65AADGL-1-1-6-2	160,44	42,33	40,27	100	1621,67	1693,2	1800	3,93	
65AADGL-1-1-6-3	160,49	40,91	40,17	100	1613,63	1636,4	1700	3,86	
65AADGL-1-1-6-4	160,59	41,4	40,23	100	1618,45	1656,0	1700	3,81	
65AADGL-1-1-6-5	160,84	41,26	40,3	100	1624,09	1650,4	1500	3,36	
65AADGL-1-1-6-6	160,87	41,08	40,04	100	1603,20	1643,2	1600	3,64	

EK F : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Basınç Dayanımı Değerleri.

Çizelge F.1 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Kesit Alanı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 1	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 2	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)						
65AG0-1	160,65	41,56	40,04	1662,4	12000	7,22	10000	6,02	6,92
65AG0-2	160,72	41,16	40,15	1646,4	12000	7,29	11500	6,98	
65AG0-3	160,92	41,41	39,91	1656,4	11500	6,94	12000	7,24	
65AG0-4	160,74	40,94	40,31	1637,6	12000	7,33	11500	7,02	
65AG0-5	160,37	40,14	40,06	1605,6	10000	6,23	10500	6,54	
65AG0-6	160,83	41,32	40,27	1652,8	12000	7,26	11500	6,96	
65AADGL-0,05-1-3-1	160,53	41,29	40,35	1651,6	17000	10,29	19000	11,50	10,07
65AADGL-0,05-1-3-2	160,45	41,39	40,35	1655,6	16000	9,66	16000	9,66	
65AADGL-0,05-1-3-3	160,56	41,08	40,33	1643,2	15500	9,43	15000	9,13	
65AADGL-0,05-1-3-4	160,74	41,61	40,49	1664,4	16000	9,61	16000	9,61	
65AADGL-0,05-1-3-5	160,24	41,52	40,68	1660,8	15500	9,33	17500	10,54	
65AADGL-0,05-1-3-6	160,51	41,94	40,11	1677,6	19000	11,33	18000	10,73	
65AADGL-0,075-1-3-1	160,35	41,31	40,26	1652,4	18000	10,89	17500	10,59	11,22
65AADGL-0,075-1-3-2	160,19	40,72	40,53	1628,8	17000	10,44	17500	10,74	
65AADGL-0,075-1-3-3	160,33	41,51	40,17	1660,4	21000	12,65	20500	12,35	
65AADGL-0,075-1-3-4	160,54	41,22	40,75	1648,8	21000	12,74	21000	12,74	
65AADGL-0,075-1-3-5	160,45	41,11	40,16	1644,4	18000	10,95	16000	9,73	
65AADGL-0,075-1-3-6	160,4	41,34	40,3	1653,6	18000	10,89	16500	9,98	

Çizelge F.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Kesit Alanı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 1	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 2	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)						
65AADGL-0,1-1-3-1	160,53	40,83	40,03	1633,2	18000	11,02	17000	10,41	10,52
65AADGL-0,1-1-3-2	160,49	40,63	40,45	1625,2	18000	11,08	17500	10,77	
65AADGL-0,1-1-3-3	160,51	40,8	40,19	1632,0	16500	10,11	16000	9,80	
65AADGL-0,1-1-3-4	160,47	41,46	40,18	1658,4	17000	10,25	17500	10,55	
65AADGL-0,1-1-3-5	160,49	41,14	40,16	1645,6	17500	10,63	17000	10,33	
65AADGL-0,1-1-3-6	160,41	41,16	40,37	1646,4	17500	10,63	17500	10,63	
65AADGL-0,15-1-3-1	160,47	42,09	40,21	1683,6	17000	10,10	19000	11,29	9,75
65AADGL-0,15-1-3-2	160,75	40,67	40,16	1626,8	16000	9,84	16000	9,84	
65AADGL-0,15-1-3-3	160,48	40,85	40,24	1634,0	16000	9,79	15000	9,18	
65AADGL-0,15-1-3-4	160,61	41,53	40,27	1661,2	15000	9,03	15500	9,33	
65AADGL-0,15-1-3-5	160,47	41,47	40,18	1658,8	14500	8,74	16000	9,65	
65AADGL-0,15-1-3-6	160,49	40,88	40,23	1635,2	16500	10,09	16500	10,09	
65AADGL-0,2-1-3-1	160,55	41,44	40,55	1657,6	14500	8,75	14000	8,45	9,41
65AADGL-0,2-1-3-2	160,45	40,99	40,33	1639,6	15000	9,15	15000	9,15	
65AADGL-0,2-1-3-3	160,62	41,21	40,23	1648,4	16000	9,71	16500	10,01	
65AADGL-0,2-1-3-4	160,43	41,14	40,32	1645,6	17500	10,63	15500	9,42	
65AADGL-0,2-1-3-5	160,48	41,26	40,09	1650,4	17000	10,30	14000	8,48	
65AADGL-0,2-1-3-6	160,66	40,3	40,22	1612,0	15000	9,31	15500	9,62	

Çizelge F.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Kesit Alanı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 1	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 2	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)						
65AADGL-0,25-1-3-1	160,5	41,8	40,06	1672,0	16000	9,57	17000	10,17	9,39
65AADGL-0,25-1-3-2	160,39	42,45	40,12	1698,0	17500	10,31	16500	9,72	
65AADGL-0,25-1-3-3	160,28	43,01	40,57	1720,4	16000	9,30	16500	9,59	
65AADGL-0,25-1-3-4	160,82	42,26	40,27	1690,4	16000	9,47	15000	8,87	
65AADGL-0,25-1-3-5	160,39	42,45	40,49	1698,0	15500	9,13	15500	9,13	
65AADGL-0,25-1-3-6	160,38	41,54	40,24	1661,6	14500	8,73	14500	8,73	
65AADGL-0,5-1-3-1	160,34	40,44	40,07	1617,6	14500	8,96	14000	8,65	8,63
65AADGL-0,5-1-3-2	160,35	40,89	40,08	1635,6	15000	9,17	15000	9,17	
65AADGL-0,5-1-3-3	160,49	41,58	40,13	1663,2	14000	8,42	14000	8,42	
65AADGL-0,5-1-3-4	160,35	40,85	40,28	1634,0	14500	8,87	13500	8,26	
65AADGL-0,5-1-3-5	160,38	41,88	40,37	1675,2	14000	8,36	14000	8,36	
65AADGL-0,5-1-3-6	160,68	40,79	40,15	1631,6	14500	8,89	13000	7,97	
65AADGL-0,75-1-3-1	160,51	40,89	40,37	1635,6	17500	10,70	17000	10,39	9,48
65AADGL-0,75-1-3-2	160,52	41,79	40	1671,6	15000	8,97	17500	10,47	
65AADGL-0,75-1-3-3	160,52	41,71	40,29	1668,4	16500	9,89	15000	8,99	
65AADGL-0,75-1-3-4	160,28	41,76	39,96	1670,4	15000	8,98	15500	9,28	
65AADGL-0,75-1-3-5	160,35	41,78	40,28	1671,2	15000	8,98	14500	8,68	
65AADGL-0,75-1-3-6	160,7	41,31	40,09	1652,4	15000	9,08	15500	9,38	

Çizelge F.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Kesit Alanı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 1	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 2	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)						
65AADGL-1-1-3-1	160,94	41,52	40,43	1660,8	14000	8,43	17000	10,24	9,68
65AADGL-1-1-3-2	160,85	41,31	40,08	1652,4	17500	10,59	15000	9,08	
65AADGL-1-1-3-3	161,25	42,05	40,18	1682,0	16500	9,81	17000	10,11	
65AADGL-1-1-3-4	160,49	41,2	40,27	1648,0	17000	10,32	16000	9,71	
65AADGL-1-1-3-5	160,37	41,23	40,51	1649,2	15500	9,40	17000	10,31	
65AADGL-1-1-3-6	160,32	41,36	40,16	1654,4	16000	9,67	14000	8,46	

Çizelge F.2 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Kesit Alanı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 1	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 2	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)						
65AG0-1	160,65	41,56	40,04	1662,4	12000	7,22	10000	6,02	6,92
65AG0-2	160,72	41,16	40,15	1646,4	12000	7,29	11500	6,98	
65AG0-3	160,92	41,41	39,91	1656,4	11500	6,94	12000	7,24	
65AG0-4	160,74	40,94	40,31	1637,6	12000	7,33	11500	7,02	
65AG0-5	160,37	40,14	40,06	1605,6	10000	6,23	10500	6,54	
65AG0-6	160,83	41,32	40,27	1652,8	12000	7,26	11500	6,96	
65AADGL-0,05-1-6-1	160,55	41,56	40,25	1662,4	17000	10,23	17000	10,23	10,31
65AADGL-0,05-1-6-2	160,46	41,46	40,37	1658,4	17000	10,25	16000	9,65	
65AADGL-0,05-1-6-3	160,48	41,52	40,02	1660,8	17500	10,54	18000	10,84	
65AADGL-0,05-1-6-4	160,32	42,04	40,46	1681,6	19000	11,30	17000	10,11	
65AADGL-0,05-1-6-5	160,54	40,02	40,19	1600,8	16500	10,31	16000	10,00	
65AADGL-0,05-1-6-6	160,37	42,27	40,19	1690,8	17000	10,05	17000	10,05	
65AADGL-0,075-1-6-1	160,63	41,35	40,07	1654,0	15500	9,37	17000	10,28	10,16
65AADGL-0,075-1-6-2	160,4	41,54	40,08	1661,6	17500	10,53	16000	9,63	
65AADGL-0,075-1-6-3	160,56	41,6	40,31	1664,0	16500	9,92	18000	10,82	
65AADGL-0,075-1-6-4	160,32	41,27	40,38	1650,8	16500	10,00	17500	10,60	
65AADGL-0,075-1-6-5	160,51	41,32	40,03	1652,8	16000	9,68	17000	10,29	
65AADGL-0,075-1-6-6	160,47	40,94	40,04	1637,6	15000	9,16	17500	10,69	

Çizelge F.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Kesit Alanı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 1	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 2	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)						
65AADGL-0,1-1-6-1	160,6	41,65	40,18	1666,0	17000	10,20	16500	9,90	9,95
65AADGL-0,1-1-6-2	160,26	40,92	40,35	1636,8	15500	9,47	16000	9,78	
65AADGL-0,1-1-6-3	160,46	41,07	40,34	1642,8	17000	10,35	16500	10,04	
65AADGL-0,1-1-6-4	160,47	41,57	40,33	1662,8	17500	10,52	17500	10,52	
65AADGL-0,1-1-6-5	160,74	41,77	40,36	1670,8	16000	9,58	16000	9,58	
65AADGL-0,1-1-6-6	160,37	42,1	40,13	1684,0	17000	10,10	15000	8,91	
65AADGL-0,15-1-6-1	160,35	41,18	40,34	1647,2	16000	9,71	16000	9,71	9,77
65AADGL-0,15-1-6-2	160,52	40,93	40,12	1637,2	16000	9,77	16500	10,08	
65AADGL-0,15-1-6-3	160,57	40,85	40,28	1634,0	17000	10,40	14000	8,57	
65AADGL-0,15-1-6-4	160,33	42	40,32	1680,0	15000	8,93	16500	9,82	
65AADGL-0,15-1-6-5	160,63	40,75	40,15	1630,0	16500	10,12	15000	9,20	
65AADGL-0,15-1-6-6	160,67	41,33	40,32	1653,2	15500	9,38	17000	10,28	
65AADGL-0,2-1-6-1	160,42	41,31	40,25	1652,4	17000	10,29	17500	10,59	9,77
65AADGL-0,2-1-6-2	160,7	41,6	40,18	1664,0	16000	9,62	16500	9,92	
65AADGL-0,2-1-6-3	160,64	41,82	40,12	1672,8	17000	10,16	17500	10,46	
65AADGL-0,2-1-6-4	160,45	42,2	40,69	1688,0	17500	10,37	16500	9,77	
65AADGL-0,2-1-6-5	160,8	41,93	40,22	1677,2	16500	9,84	16500	9,84	
65AADGL-0,2-1-6-6	160,52	41,91	40,21	1676,4	15000	8,95	15000	8,95	

Çizelge F.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Kesit Alanı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 1	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 2	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)						
65AADGL-0,25-1-6-1	160,68	42,52	40,25	1700,8	14500	8,53	15000	8,82	8,99
65AADGL-0,25-1-6-2	160,71	41,42	40,1	1656,8	15000	9,05	15000	9,05	
65AADGL-0,25-1-6-3	160,53	41,29	40,33	1651,6	14000	8,48	14500	8,78	
65AADGL-0,25-1-6-4	160,42	41,64	40,1	1665,6	14000	8,41	15500	9,31	
65AADGL-0,25-1-6-5	160,76	41,52	40,42	1660,8	15500	9,33	16000	9,63	
65AADGL-0,25-1-6-6	160,58	41,94	40,35	1677,6	16000	9,54	15000	8,94	
65AADGL-0,5-1-6-1	160,6	42,07	40,15	1682,8	16000	9,51	15000	8,91	8,91
65AADGL-0,5-1-6-2	160,64	41,25	40,34	1650,0	15500	9,39	14500	8,79	
65AADGL-0,5-1-6-3	160,27	41,94	40,38	1677,6	15000	8,94	15000	8,94	
65AADGL-0,5-1-6-4	160,56	41,59	40,21	1663,6	14000	8,42	15000	9,02	
65AADGL-0,5-1-6-5	160,56	42,18	40,31	1687,2	14500	8,59	15500	9,19	
65AADGL-0,5-1-6-6	160,55	41,12	40,34	1644,8	14500	8,82	14000	8,51	
65AADGL-0,75-1-6-1	160,63	41,33	40,13	1653,2	13500	8,17	12500	7,56	8,21
65AADGL-0,75-1-6-2	160,66	40,63	40,38	1625,2	12500	7,69	13000	8,00	
65AADGL-0,75-1-6-3	160,4	40,34	40,12	1613,6	13500	8,37	13000	8,06	
65AADGL-0,75-1-6-4	160,37	40,61	40,18	1624,4	12000	7,39	14000	8,62	
65AADGL-0,75-1-6-5	160,58	41,17	40,3	1646,8	14000	8,50	14000	8,50	
65AADGL-0,75-1-6-6	160,69	40,82	40,06	1632,8	12000	7,35	14000	8,57	

Çizelge F.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin basınç dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Kesit Alanı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 1	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kırılma Yüğü (N) Parça 2	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Basınç Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)						
65AADGL-1-1-6-1	160,68	41,91	40,13	1676,4	14000	8,35	14000	8,35	8,39
65AADGL-1-1-6-2	160,44	42,33	40,27	1693,2	15500	9,15	14000	8,27	
65AADGL-1-1-6-3	160,49	40,91	40,17	1636,4	14500	8,86	15000	9,17	
65AADGL-1-1-6-4	160,59	41,4	40,23	1656,0	13000	7,85	13500	8,15	
65AADGL-1-1-6-5	160,84	41,26	40,3	1650,4	12500	7,57	13000	7,88	
65AADGL-1-1-6-6	160,87	41,08	40,04	1643,2	13500	8,22	14500	8,82	

EK G : rPET Lifi-Alçı Kompozitlerin Çarpma Değerleri (Charpy Çarpma Deneyi).

Çizelge G.1 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kj)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
65AG0-1	12,45	11,42	0,000142179	0,0335	106,5	0,000328535	2,310710442	C	2,50
65AG0-2	10,95	12,04	0,000131838	0,032	108,5	0,000313824	2,380375916	C	
65AG0-3	12,09	12,71	0,000153664	0,044	94,5	0,000431508	2,80812865	C	
65AADGL-0,05-1-3-1	13,59	11,51	0,000156421	0,042	97	0,000411894	2,633241466	C	2,66
65AADGL-0,05-1-3-2	11,84	11,64	0,000137818	0,0375	102	0,000367763	2,668472677	C	
65AADGL-0,05-1-3-3	11,11	12,04	0,000133764	0,0365	102,5	0,000357956	2,676014694	C	
65AADGL-0,075-1-3-1	11,94	11,61	0,000138623	0,041	97,5	0,000402087	2,900570899	C	2,76
65AADGL-0,075-1-3-2	9,95	9,48	0,000094326	0,026	115	0,000254982	2,703199542	C	
65AADGL-0,075-1-3-3	9,91	9,79	9,70189E-05	0,0265	114,5	0,000259886	2,678710025	C	
65AADGL-0,1-1-3-1	12,07	11,88	0,000143392	0,0405	98,5	0,000397184	2,769921669	C	2,80
65AADGL-0,1-1-3-2	13,23	12,37	0,000163655	0,046	92	0,000451122	2,756541043	C	
65AADGL-0,1-1-3-3	12,04	12,02	0,000144721	0,0425	96	0,000416798	2,880011028	C	
65AADGL-0,15-1-3-1	11,36	11,91	0,000135298	0,037	102,5	0,000362859	2,681932274	C	2,72
65AADGL-0,15-1-3-2	11,79	11,48	0,000135349	0,039	100,5	0,000382473	2,825823869	C	
65AADGL-0,15-1-3-3	12,12	10,34	0,000125321	0,034	105,5	0,000333438	2,660675642	C	
65AADGL-0,2-1-3-1	11,32	11,5	0,00013018	0,043	95,5	0,000421701	3,239368567	C	2,91
65AADGL-0,2-1-3-2	13,77	12,07	0,000166204	0,044	94	0,000431508	2,596256767	C	
65AADGL-0,2-1-3-3	11,46	11,23	0,000128696	0,038	100,5	0,000372666	2,895712214	C	

Çizelge G.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kJ)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
65AADGL-0,25-1-3-1	11,8	11,52	0,000135936	0,05	87,5	0,00049035	3,607212218	C	3,11
65AADGL-0,25-1-3-2	13,34	11,74	0,000156612	0,0415	97,5	0,000406991	2,598725126	C	
65AADGL-0,25-1-3-3	11,12	11,45	0,000127324	0,0405	98,5	0,000397184	3,119470799	C	
65AADGL-0,5-1-3-1	12,16	12	0,00014592	0,06	76	0,00058842	4,032483553	C	4,01
65AADGL-0,5-1-3-2	12,06	11,51	0,000138811	0,056	76,5	0,000549192	3,956412551	C	
65AADGL-0,5-1-3-3	12,39	11,78	0,000145954	0,06	70,5	0,00058842	4,031538661	C	
65AADGL-0,75-1-3-1	12,42	12,08	0,000150034	0,067	68	0,000657069	4,379478997	C	4,23
65AADGL-0,75-1-3-2	12,61	12,5	0,000157625	0,069	66	0,000676683	4,292992863	C	
65AADGL-0,75-1-3-3	14,7	10,59	0,000155673	0,064	72	0,000627648	4,031835964	C	
65AADGL-1-1-3-1	12,79	11,66	0,000149131	0,0905	34,5	0,000887534	5,951352297	C	5,45
65AADGL-1-1-3-2	12,82	12,01	0,000153968	0,084	45,5	0,000823788	5,350377545	C	
65AADGL-1-1-3-3	11,58	12,64	0,000146371	0,0755	58	0,000740429	5,058566849	C	

Çizelge G.2 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kj)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
65AG0-1	12,45	11,42	0,000142179	0,0335	106,5	0,000328535	2,310710442	C	2,50
65AG0-2	10,95	12,04	0,000131838	0,032	108,5	0,000313824	2,380375916	C	
65AG0-3	12,09	12,71	0,000153664	0,044	94,5	0,000431508	2,80812865	C	
65AADGL-0,05-1-6-1	13,6	11,71	0,000159256	0,0415	97	0,000406991	2,555574044	C	2,79
65AADGL-0,05-1-6-2	11,85	11,68	0,000138408	0,0385	100	0,00037757	2,727945639	C	
65AADGL-0,05-1-6-3	11,93	11,64	0,000138865	0,0435	95	0,000426605	3,072076373	C	
65AADGL-0,075-1-6-1	11,69	11,53	0,000134786	0,041	98	0,000402087	2,983157709	C	2,74
65AADGL-0,075-1-6-2	11,37	13,18	0,000149857	0,038	100,5	0,000372666	2,486817397	C	
65AADGL-0,075-1-6-3	11,54	12,07	0,000139288	0,039	100	0,000382473	2,745918882	C	
65AADGL-0,1-1-6-1	11,96	11,59	0,000138616	0,0405	98	0,000397184	2,865342773	C	2,72
65AADGL-0,1-1-6-2	13,37	10,81	0,00014453	0,04	99	0,00039228	2,714182621	C	
65AADGL-0,1-1-6-3	11,95	11,77	0,000140652	0,037	102,5	0,000362859	2,579844509	C	
65AADGL-0,15-1-6-1	11,84	11,56	0,00013687	0,039	100	0,000382473	2,794417201	C	2,84
65AADGL-0,15-1-6-2	11,44	11,65	0,000133276	0,04	99	0,00039228	2,943365647	C	
65AADGL-0,15-1-6-3	13,02	10,37	0,000135017	0,0385	100,5	0,00037757	2,79645068	C	
65AADGL-0,2-1-6-1	11,95	12,05	0,000143998	0,0435	94,5	0,000426605	2,962582684	C	2,83
65AADGL-0,2-1-6-2	13,11	11,44	0,000149978	0,0425	96,5	0,000416798	2,779050183	C	
65AADGL-0,2-1-6-3	12,57	10,6	0,000133242	0,0375	102,5	0,000367763	2,760109425	C	

Çizelge G.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı kompozitlerin Charpy çarpma değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kJ)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
65AADGL-0,25-1-6-1	11,59	11,46	0,000132821	0,038	101,5	0,000372666	2,805767745	C	2,83
65AADGL-0,25-1-6-2	11,62	11,99	0,000139324	0,0395	100	0,000387377	2,780404353	C	
65AADGL-0,25-1-6-3	13,35	11,96	0,000159666	0,0475	91	0,000465833	2,917543497	C	
65AADGL-0,5-1-6-1	13,21	11,23	0,000148348	0,043	95,5	0,000421701	2,842641271	C	3,17
65AADGL-0,5-1-6-2	11,82	11,75	0,000138885	0,045	93,5	0,000441315	3,177556972	C	
65AADGL-0,5-1-6-3	11,83	11,84	0,000140067	0,05	87,5	0,00049035	3,500819607	C	
65AADGL-0,75-1-6-1	12,04	11,47	0,000138099	0,051	86,5	0,000500157	3,621733136	C	3,51
65AADGL-0,75-1-6-2	11,9	11,28	0,000134232	0,047	91	0,000460929	3,433823529	C	
65AADGL-0,75-1-6-3	13,29	11,62	0,00015443	0,0545	83	0,000534482	3,460999755	C	
65AADGL-1-1-6-1	12,83	11,99	0,000153832	0,078	55	0,000764946	4,972616177	C	4,74
65AADGL-1-1-6-2	11,91	11,41	0,000135893	0,0625	73,5	0,000612938	4,51043872	C	
65AADGL-1-1-6-3	11,65	11,63	0,00013549	0,0655	70	0,000642359	4,741020522	C	

EK H : rPET Lifi-Alçı Levha Kompozitlerin Eğilme Dayanımı Değerleri.

Çizelge H.1 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h ² (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)				
LVH-65AG0-1	300	91,59	18,8	200	353,44	400	3,71	3,62
LVH-65AG0-2	300	91,41	17,87	200	319,34	350	3,60	
LVH-65AG0-3	300	91,79	18,42	200	339,30	370	3,56	
LVH-65AADGL-0,05-1-3-1	300	91,26	17,09	200	292,07	405	4,56	4,42
LVH-65AADGL-0,05-1-3-2	300	91,43	17,63	200	310,82	450	4,75	
LVH-65AADGL-0,05-1-3-3	300	90,86	17,12	200	293,09	350	3,94	
LVH-65AADGL-0,075-1-3-1	300	92,1	16,51	200	272,58	460	5,50	5,35
LVH-65AADGL-0,075-1-3-2	300	91,19	16,67	200	277,89	440	5,21	
LVH-65AADGL-0,075-1-3-3	300	90,9	16,85	200	283,92	460	5,35	
LVH-65AADGL-0,1-1-3-1	300	93,75	17,16	200	294,47	390	4,24	4,60
LVH-65AADGL-0,1-1-3-2	300	92,8	16,62	200	276,22	415	4,86	
LVH-65AADGL-0,1-1-3-3	300	93,17	16,97	200	287,98	420	4,70	
LVH-65AADGL-0,15-1-3-1	300	91,59	16,67	200	277,89	315	3,71	4,18
LVH-65AADGL-0,15-1-3-2	300	92,48	16,4	200	268,96	380	4,58	
LVH-65AADGL-0,15-1-3-3	300	92,69	16,35	200	267,32	350	4,24	
LVH-65AADGL-0,2-1-3-1	300	92,51	18,17	200	330,15	400	3,93	3,86
LVH-65AADGL-0,2-1-3-2	300	92,88	17,39	200	302,41	380	4,06	
LVH-65AADGL-0,2-1-3-3	300	92,45	18,03	200	325,08	360	3,59	

Çizelge H.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları				h ² (mm ²)	Mesnet Açıklığı (mm)	Kırılma Yükü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
LVH-65AADGL-0,25-1-3-1	300	92,29	17,18	200	295,15	420	4,63	4,57	
LVH-65AADGL-0,25-1-3-2	300	92,45	17,36	200	301,37	375	4,04		
LVH-65AADGL-0,25-1-3-3	300	91,33	17,49	200	305,90	470	5,05		
LVH-65AADGL-0,5-1-3-1	300	92,44	18,43	200	339,66	400	3,82	4,29	
LVH-65AADGL-0,5-1-3-2	300	93,13	17,94	200	321,84	470	4,70		
LVH-65AADGL-0,5-1-3-3	300	92,96	17,56	200	308,35	415	4,34		
LVH-65AADGL-0,75-1-3-1	300	92,45	17,59	200	309,41	315	3,30	3,63	
LVH-65AADGL-0,75-1-3-2	300	93,29	16,86	200	284,26	330	3,73		
LVH-65AADGL-0,75-1-3-3	300	93,71	16,84	200	283,59	340	3,84		
LVH-65AADGL-1-1-3-1	300	92,07	17,52	200	306,95	325	3,45	3,49	
LVH-65AADGL-1-1-3-2	300	92,33	16,69	200	278,56	310	3,62		
LVH-65AADGL-1-1-3-3	300	92,35	16,66	200	277,56	290	3,39		

Çizelge H.2 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları			Mesnet Açıklığı	h^2 (mm ²)	Kırılma Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)				
LVH-65AG0-1	300	91,59	18,8	200	353,44	400	3,71	3,62
LVH-65AG0-2	300	91,41	17,87	200	319,34	350	3,60	
LVH-65AG0-3	300	91,79	18,42	200	339,30	370	3,56	
LVH-65AADGL-0,05-1-6-1	300	90,7	17,75	200	315,06	400	4,20	4,10
LVH-65AADGL-0,05-1-6-2	300	90,74	16,35	200	267,32	340	4,20	
LVH-65AADGL-0,05-1-6-3	300	93,26	17,74	200	314,71	380	3,88	
LVH-65AADGL-0,075-1-6-1	300	91,63	16,25	200	264,06	320	3,97	4,27
LVH-65AADGL-0,075-1-6-2	300	91,97	17,32	200	299,98	330	3,59	
LVH-65AADGL-0,075-1-6-3	300	92,62	16,82	200	282,91	460	5,27	
LVH-65AADGL-0,1-1-6-1	300	92,94	17,55	200	308,00	465	4,87	4,78
LVH-65AADGL-0,1-1-6-2	300	92,72	17,79	200	316,48	475	4,86	
LVH-65AADGL-0,1-1-6-3	300	92,24	17,21	200	296,18	420	4,61	
LVH-65AADGL-0,15-1-6-1	300	92,86	16,93	200	286,62	350	3,94	4,09
LVH-65AADGL-0,15-1-6-2	300	90,5	17,59	200	309,41	400	4,29	
LVH-65AADGL-0,15-1-6-3	300	91,22	17,37	200	301,72	370	4,03	
LVH-65AADGL-0,2-1-6-1	300	92,21	16,02	200	256,64	280	3,55	4,17
LVH-65AADGL-0,2-1-6-2	300	91,8	15,35	200	235,62	310	4,30	
LVH-65AADGL-0,2-1-6-3	300	92,65	15,6	200	243,36	350	4,66	

Çizelge H.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri.

Numune Kodu	Numune Boyutları				h ² (mm ²)	Mesnet Açıklığı (mm)	Kırılma Yükü (N)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Ort. Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
	A (mm)	b (mm)	h (mm)	l (mm)					
LVH-65AADGL-0,25-1-6-1	300	93,09	15,12	200	228,61	320	4,51	4,35	
LVH-65AADGL-0,25-1-6-2	300	92,24	15,64	200	244,61	330	4,39		
LVH-65AADGL-0,25-1-6-3	300	93,01	15,77	200	248,69	320	4,15		
LVH-65AADGL-0,5-1-6-1	300	92,8	16,15	200	260,82	350	4,34	4,35	
LVH-65AADGL-0,5-1-6-2	300	93,35	16,15	200	260,82	345	4,25		
LVH-65AADGL-0,5-1-6-3	300	92,19	16	200	256,00	350	4,45		
LVH-65AADGL-0,75-1-6-1	300	90,21	16,23	200	263,41	310	3,91	4,27	
LVH-65AADGL-0,75-1-6-2	300	93,97	16,2	200	262,44	370	4,50		
LVH-65AADGL-0,75-1-6-3	300	91,15	16,21	200	262,76	350	4,38		
LVH-65AADGL-1-1-6-1	300	91,59	16,68	200	278,22	400	4,71	4,58	
LVH-65AADGL-1-1-6-2	300	91,43	16,43	200	269,94	360	4,38		
LVH-65AADGL-1-1-6-3	300	92,85	16,64	200	276,89	400	4,67		

EK I : rPET Lifi-Alçı Levha Kompozitlerin Çarpma Değerleri (Charpy Çarpma Deneyi).

Çizelge I.1 : 3,3 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin çarpma değerleri (Charpy çarpma deneyi).

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kj)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
LVH-65AG0-1	10,68	8,39	8,96052E-05	0,0235	118,5	0,000230465	2,57199917	C	2,49
LVH-65AG0-2	9,6	8,6	0,00008256	0,022	120,5	0,000215754	2,613299419	C	
LVH-65AG0-3	11,48	9,57	0,000109864	0,026	115	0,000254982	2,320896093	C	
LVH-65AG0-4	10,54	9,54	0,000100552	0,025	116,5	0,000245175	2,438300335	C	
LVH-65AADGL-0,05-1-3-1	10,1	10,59	0,000106959	0,032	108	0,000313824	2,934058845	C	2,93
LVH-65AADGL-0,05-1-3-2	10,6	10,55	0,00011183	0,034	106	0,000333438	2,98165072	C	
LVH-65AADGL-0,05-1-3-3	10,41	10,49	0,000109201	0,0325	107,5	0,000318728	2,918725945	C	
LVH-65AADGL-0,05-1-3-4	11,41	9,92	0,000113187	0,0335	106,5	0,000328535	2,90257644	C	
LVH-65AADGL-0,075-1-3-1	10,52	10,27	0,00010804	0,03	110	0,00029421	2,723148008	C	2,83
LVH-65AADGL-0,075-1-3-2	10,03	9,84	9,86952E-05	0,029	111,5	0,000284403	2,881629502	C	
LVH-65AADGL-0,075-1-3-3	10,19	9,87	0,000100575	0,028	113	0,000274596	2,730252855	C	
LVH-65AADGL-0,075-1-3-4	10,16	10,68	0,000108509	0,033	107	0,000323631	2,982532292	C	
LVH-65AADGL-0,1-1-3-1	10,14	10,63	0,000107788	0,0365	104	0,000357956	3,320915462	C	2,94
LVH-65AADGL-0,1-1-3-2	10,37	10,63	0,000110233	0,033	106,5	0,000323631	2,935878606	C	
LVH-65AADGL-0,1-1-3-3	10,63	10,28	0,000109276	0,03	110	0,00029421	2,692347112	C	
LVH-65AADGL-0,1-1-3-4	10,84	10,96	0,000118806	0,034	106	0,000333438	2,806565976	C	

Çizelge I.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin çarpma değerleri (Charpy çarpma deneyi).

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kJ)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
LVH-65AADGL-0,15-1-3-1	10,92	10,11	0,000110401	0,036	103,5	0,000353052	3,197900023	C	3,30
LVH-65AADGL-0,15-1-3-2	10,2	9,72	0,000099144	0,035	105	0,000343245	3,462085451	C	
LVH-65AADGL-0,15-1-3-3	11,01	10,87	0,000119679	0,043	95	0,000421701	3,523609464	C	
LVH-65AADGL-0,15-1-3-4	10,34	9,49	9,81266E-05	0,03	110	0,00029421	2,998269582	C	
LVH-65AADGL-0,2-1-3-1	10,69	10,45	0,000111711	0,031	109	0,000304017	2,721472019	C	2,75
LVH-65AADGL-0,2-1-3-2	10,22	10,13	0,000103529	0,029	111	0,000284403	2,747095972	C	
LVH-65AADGL-0,2-1-3-3	11,46	10,54	0,000120788	0,034	106	0,000333438	2,760513427	C	
LVH-65AADGL-0,2-1-3-4	10,44	10,99	0,000114736	0,0325	107,5	0,000318728	2,777930302	C	
LVH-65AADGL-0,25-1-3-1	10,75	10,67	0,000114703	0,0345	105	0,000338342	2,949730825	C	2,86
LVH-65AADGL-0,25-1-3-2	11,18	10,48	0,000117166	0,033	107	0,000323631	2,762148534	C	
LVH-65AADGL-0,25-1-3-3	10,68	10,23	0,000109256	0,032	108	0,000313824	2,872362626	C	
LVH-65AADGL-0,25-1-3-4	11,48	9,77	0,00011216	0,0325	107,5	0,000318728	2,841731782	C	
LVH-65AADGL-0,5-1-3-1	10,79	10,59	0,000114266	0,0365	103	0,000357956	3,132648266	C	2,98
LVH-65AADGL-0,5-1-3-2	10,3	10,06	0,000103618	0,03	110	0,00029421	2,839371538	C	
LVH-65AADGL-0,5-1-3-3	10,7	10,27	0,000109889	0,036	103	0,000353052	3,212805649	C	
LVH-65AADGL-0,5-1-3-4	11,12	11,22	0,000124766	0,035	105	0,000343245	2,751101258	C	

Çizelge I.1 (devam) : 3,3 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin çarpma değerleri (Charpy çarpma deneyi).

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kJ)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
LVH-65AADGL-0,75-1-3-1	9,54	9,15	0,000087291	0,031	109,5	0,000304017	3,482798914	C	4,17
LVH-65AADGL-0,75-1-3-2	10,1	10,25	0,000103525	0,053	84,5	0,000519771	5,020729292	C	
LVH-65AADGL-0,75-1-3-3	9,78	10,47	0,000102397	0,051	86,5	0,000500157	4,884507884	C	
LVH-65AADGL-0,75-1-3-4	9,47	10,11	9,57417E-05	0,032	108,5	0,000313824	3,277819383	C	
LVH-65AADGL-1-1-3-1	10,14	9,86	9,99804E-05	0,044	94	0,000431508	4,315925921	C	3,82
LVH-65AADGL-1-1-3-2	10,62	10,09	0,000107156	0,035	104,5	0,000343245	3,203233049	C	
LVH-65AADGL-1-1-3-3	10,29	10,29	0,000105884	0,0425	96	0,000416798	3,936355883	C	
LVH-65AADGL-1-1-3-4	10,63	10,38	0,000110339	0,043	96	0,000421701	3,8218533	C	

Çizelge I.2 : 6,6 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin çarpma değerleri (Charpy çarpma deneyi).

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kj)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
LVH-65AG0-1	10,68	8,39	8,96052E-05	0,0235	118,5	0,000230465	2,57199917	C	2,49
LVH-65AG0-2	9,6	8,6	0,00008256	0,022	120,5	0,000215754	2,613299419	C	
LVH-65AG0-3	11,48	9,57	0,000109864	0,026	115	0,000254982	2,320896093	C	
LVH-65AG0-4	10,54	9,54	0,000100552	0,025	116,5	0,000245175	2,438300335	C	
LVH-65AADGL-0,05-1-6-1	10,27	10,57	0,000108554	0,0325	107,5	0,000318728	2,936122055	C	2,99
LVH-65AADGL-0,05-1-6-2	10,42	10,09	0,000105138	0,033	107	0,000323631	3,078160281	C	
LVH-65AADGL-0,05-1-6-3	10,69	9,97	0,000106579	0,031	109	0,000304017	2,852495747	C	
LVH-65AADGL-0,05-1-6-4	9,94	9,87	9,81078E-05	0,031	109	0,000304017	3,0988056	C	
LVH-65AADGL-0,075-1-6-1	12,1	10,42	0,000126082	0,034	106	0,000333438	2,644612236	C	2,93
LVH-65AADGL-0,075-1-6-2	11,18	11,76	0,000131477	0,039	100	0,000382473	2,909053156	C	
LVH-65AADGL-0,075-1-6-3	10,42	10,53	0,000109723	0,035	105	0,000343245	3,12829809	C	
LVH-65AADGL-0,075-1-6-4	10,53	11,1	0,000116883	0,036	104	0,000353052	3,020559021	C	
LVH-65AADGL-0,1-1-6-1	10,59	10,81	0,000114478	0,031	109	0,000304017	2,655682887	C	2,80
LVH-65AADGL-0,1-1-6-2	10,6	10,09	0,000106954	0,029	111,5	0,000284403	2,659115134	C	
LVH-65AADGL-0,1-1-6-3	10,36	10,85	0,000112406	0,0355	104,5	0,000348149	3,09724125	C	
LVH-65AADGL-0,1-1-6-4	10,25	10,24	0,00010496	0,03	111	0,00029421	2,803067835	C	
LVH-65AADGL-0,15-1-6-1	8,84	10,94	9,67096E-05	0,029	111,5	0,000284403	2,940793882	C	2,82
LVH-65AADGL-0,15-1-6-2	9,55	11,14	0,000106387	0,0305	110	0,000299114	2,811560623	C	
LVH-65AADGL-0,15-1-6-3	10,86	10,6	0,000115116	0,032	108,5	0,000313824	2,726154488	C	
LVH-65AADGL-0,15-1-6-4	9,11	10,17	9,26487E-05	0,0265	114,5	0,000259886	2,805063644	C	

Çizelge I.2 (devam) : 6,6 dtex rPET lifi-alçı levha kompozitlerin çarpma değerleri (Charpy çarpma deneyi).

Numune Kodu	Numune Boyutları		Kesit Alanı (m ²)	Kırılma Yüğü (kpm)	Kırılma Açısı (°)	Tokluk Enerjisi (kj)	Tokluk Değeri (j)	Kırılma Tipi	Ort. Tokluk Değeri (j)
	A (mm)	b (mm)							
LVH-65AADGL-0,2-1-6-1	10,31	10,46	0,000107843	0,0275	113,5	0,000269693	2,500797459	C	3,02
LVH-65AADGL-0,2-1-6-2	9,95	11,29	0,000112336	0,044	94	0,000431508	3,841243418	C	
LVH-65AADGL-0,2-1-6-3	9,74	10,64	0,000103634	0,0305	109,5	0,000299114	2,886259862	C	
LVH-65AADGL-0,2-1-6-4	15,33	9,71	0,000148854	0,043	96	0,000421701	2,832978288	C	
LVH-65AADGL-0,25-1-6-1	10,66	10,22	0,000108945	0,035	104	0,000343245	3,150620679	C	3,03
LVH-65AADGL-0,25-1-6-2	8,87	9,28	8,23136E-05	0,0245	117	0,000240272	2,918976937	C	
LVH-65AADGL-0,25-1-6-3	9,97	10,18	0,000101495	0,031	109,5	0,000304017	2,995400741	C	
LVH-65AADGL-0,25-1-6-4	10,72	10,02	0,000107414	0,0335	106,5	0,000328535	3,058570359	C	
LVH-65AADGL-0,5-1-6-1	10,1	10,54	0,000106454	0,047	91	0,000460929	4,329841997	C	3,69
LVH-65AADGL-0,5-1-6-2	10,31	10,62	0,000109492	0,0355	104	0,000348149	3,179664853	C	
LVH-65AADGL-0,5-1-6-3	10,27	10,44	0,000107219	0,0385	100,5	0,00037757	3,521485971	C	
LVH-65AADGL-0,5-1-6-4	10,13	9,98	0,000101097	0,0385	100,5	0,00037757	3,734710289	C	
LVH-65AADGL-0,75-1-6-1	10,41	10,34	0,000107639	0,038	101	0,000372666	3,462170915	C	3,65
LVH-65AADGL-0,75-1-6-2	10,17	10,16	0,000103327	0,029	112	0,000284403	2,752450468	C	
LVH-65AADGL-0,75-1-6-3	9,88	10,12	9,99856E-05	0,035	104,5	0,000343245	3,432944344	C	
LVH-65AADGL-0,75-1-6-4	10,43	10,26	0,000107012	0,054	83,5	0,000529578	4,948781349	C	
LVH-65AADGL-1-1-6-1	10,31	10,15	0,000104647	0,047	91	0,000460929	4,404628917	C	4
LVH-65AADGL-1-1-6-2	10,53	10,44	0,000109933	0,0325	107,5	0,000318728	2,899283383	C	
LVH-65AADGL-1-1-6-3	10,64	10,18	0,000108315	0,0495	88,5	0,000485447	4,481794799	C	
LVH-65AADGL-1-1-6-4	10,68	10,39	0,000110965	0,0475	91	0,000465833	4,198005321	C	

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Seda Erdem

Doğum Yeri ve Tarihi: Uşak, 17/07/1980

E-Posta: erdemsed@itu.edu.tr

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi

