

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT İNŞAAT TEKSTİLİ TASARIMI VE PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İpek YALÇIN**

Anabilim Dalı : Tekstil Mühendisliği

Programı : Tekstil Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT İNŞAAT TEKSTİLİ TASARIMI VE PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İpek YALÇIN
(503081805)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Telem G. SADIKOĞLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ömer Berk BERKALP (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Mustafa BAKKAL (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

Anneme,

ÖNSÖZ

Çalışmamın planlanması, yürütülmesi ve sonuçlandırılması süresince, değerli zamanlarını bana ayırarak, bilgi ve desteklerini esirgemeyen danışmanım ve değerli hocam Doç Dr. Telem GÖK SADIKOĞLU'na, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Erhan BÖKE'ye, değerli hocam Doç. Dr. Ömer Berk BERKALP'e ve değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa Bakkal'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın zorlu üretim süreci başta olmak üzere, tıkanığım her an da desteği ve varlığı ile yanımda olan Mehmet AYZAZ'a, sevgili dostum Elif Sena AVCI'ya; kendi çalışmalarının yanı sıra özveriyle bana yardımcı olan lisans bitirme grubu arkadaşlarım, Selen AKŞİT'e, Sinem KAVRANOĞLU'na ve Emre CİRİT'e; çalışmaya yönelik deneyimlerini her daim benimle paylaşan Serhan GERİKALMAZ'a; desteği ile tez yazım sürecimi bana kolaylaştıran sevgili arkadaşım Erkin DİNÇMEN'e ve bu süre zarfında manevi desteği ile beni yalnız bırakmayan annem Gülay YALÇIN'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Çalışmamda emeği geçen, Isı ve Kütlevi Geçiş Laboratuvarı çalışanlarına, çalışma dahilinde kullanılan nonwoven atıklarının teminini sağlayan HASSAN Tekstil A.Ş. ve numune hazırlığında emeği geçen çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim süresince destek veren TÜBİTAK'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

“Bu çalışma 107M354 no'lu TÜBİTAK 1001 projesinin devamı niteliğinde olup, 109M765 nolu TÜBİTAK 1002 projesi tarafından desteklenmektedir.”

Haziran 2010

İpek YALÇIN
Tekstil Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. NONWOVEN MALZEMELER.....	3
2.1 Nonwoven Malzemelerin Üretim Aşamaları	3
2.1.1 Tülbent oluşturma	4
2.1.2 Tülbent sabitleştirme.....	4
2.1.3 Tülbent terbiye işlemleri	6
2.1.4 Dönüşüm	6
2.2 Nonwoven Malzemelerin Özellikleri	6
2.3 Nonwoven Malzemelerin Kullanım Alanları.....	7
2.4 Nonwoven Sektöründeki Gelişmeler	8
3. POLİMERLER VE POLİMERİK KOMPOZİTLER	11
3.1 Polimerik Malzemelerin Tarihsel Gelişimi	11
3.2 Polimerlerin Sınıflandırılması ve İlgili Tanımlar.....	12
3.3 Polimerler Sanayinin Mevcut Durumu	13
3.4 Polimerik Kompozitler	14
3.4.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	14
3.4.2 Kompozit malzemelerin bileşenleri	15
3.4.2.1 Matris	15
Termoset polimerler	16
Termoplastik polimerler	16
Termoplastik malzemelerin ısıl bozunma özelliği	20
Polimerlerin harmanlanması	21
3.4.2.2 Takviye elemanı	21
3.4.2.3 Diğer katkı maddeleri	23
3.4.3 Kompozit malzemelerin bağ yapma davranışı.....	25
3.4.4 Kısa elyaf ile takviyelendirilmiş polimerlerin teorik analizi	26
3.4.5 Polimer kompozitlerin üretimi	29
3.4.5.1 Ekstrüzyon yöntemi	30
4. KATI ATIKLARIN EKONOMİK DEĞERLENDİRME UYGULAMALARI	35
4.1 Katı Atık Yönetimi.....	36
4.2 Katı Atığın İçeriği ve Miktarı.....	37
4.3 Katı Atıkların Geri Dönüşümü	37

4.3.1 Geri dönüşüm sisteminin temel aşamaları	39
4.3.2 Geri dönüşümün avantajları	40
4.4 Plastik ve Tekstil Sektöründe Geri Dönüşüm	41
4.4.1 Plastik malzemelerin geri dönüşümü	41
4.4.2 Tekstil malzemelerinin geri dönüşümü	42
4.4.2.1 Nonwoven sektörü, çıkan atıklar ve bertaraf işlemleri	44
Nonwoven malzemelerin üretim atıkları	45
Kullanılmış nonwoven ürünler şeklindeki atıklar	45
Nonwoven atıklarının geri kazanım yöntemleri	46
Nonwoven atıklarının tekrar kullanımı	47
5. MEVCUT ÇALIŞMALAR.....	49
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	57
6.1 Malzeme	57
6.1.1 Termoplastik matris.....	57
6.1.2 Takviye elemanı	58
6.2 Metod.....	60
6.2.1 Ekstrüzyon yöntemi.....	60
6.2.2 Hidrolik pres.....	61
6.2.3 CNC Freze.....	62
6.2.4 Kırıcı.....	62
6.3 Üretim Parametreleri (Çizelge 6.6)	63
6.4 Üretim Aşamaları	63
7. DENEYLER.....	69
7.1 Çekme Deneyi	69
7.2 Charpy Darbe Deneyi	70
7.3 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Deneyi	71
7.3.1 Isı iletim prensibi.....	71
7.3.2 Isı iletim katsayısı ölçümü.....	74
7.3.3 Isı iletim katsayısı hesabı	75
8. DENEY SONUÇLARI.....	77
8.1 Çekme Deneyi Sonuçları	77
8.2 Charpy Darbe Deneyi Sonuçları.....	88
8.3 Isı Deneyi Sonuçları	92
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR.....	103

KISALTMALAR

DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
DDYPE	: Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen
OYPE	: Orta Yoğunluklu Polietilen
CYMAPE	: Çok Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen
PP	: Polipropilen
PET	: Poliester
PVC	: Polivinil Klorür
ABS	: Akrlonitril Bütadien Stiren
SAN	: Stiren Akrlonitril
PS	: Polistiren
EDANA	: European Disposables and Nonwovens Association
INDA	: The Association of the Nonwoven Fabrics Industry
ÇEVKO	: Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı
İSTAÇ	: İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş.
PETKİM	: Petrokimya Holding AŞ.

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ülkelerin Nonwoven Üretimi (ton) (2004–2007) [1].....	8
Çizelge 3.1 : Termoplastiklerin 2001 yılı dünya tüketim değerleri (%).....	13
Çizelge 3.2 : PETKİM tarafından üretilen termoplastiklerin miktarları (ton).....	13
Çizelge 3.3 : Bazı ülkelerde 1999 yılı için kişi başına termoplastik tüketimi (kg/kişi).....	14
Çizelge 3.4 : Türkiye’de kişi başına yıllık plastik tüketimi (kg/kişi).....	14
Çizelge 3.5 : Bazı termoplastiklerin özellikleri [6].....	17
Çizelge 3.6 : Yıllara göre Türkiye yapay lif üretimi (ton).....	22
Çizelge 4.1 : Farklı ülkelere ait katı atıkların bileşimi.....	37
Çizelge 4.2 : Bazı atıkların üretiminde tekrar kullanılması halinde çevre kirlenmelerinde meydana gelen endirekt azalmalar (%).....	40
Çizelge 5.1 : Tek vidalı ekstruderde profil sıcaklıkları.....	53
Çizelge 6.1 : Matris olarak kullanılan DYPE’ye ait özellikler.....	57
Çizelge 6.2 : Matris olarak kullanılan PP’e ait özellikler.....	58
Çizelge 6.3 : Takviye elemanına ait özellikler.....	59
Çizelge 6.4 : Üretilen kompozit malzemelerin özellikleri.....	60
Çizelge 6.5 : Ekstruder teknik özellikleri.....	61
Çizelge 6.6 : Üretim parametreleri.....	63
Çizelge 7.1 : Bazı yapı malzemelerine ait yoğunluk ve ısı iletim katsayısı değerleri	73
Çizelge 7.2 : Bazı yalıtım malzemelerine ait yoğunluk ve ısı iletim katsayısı değerleri.	73
Çizelge 8.1 : Numunelerin test yönüne bağlı olarak elastiklik modülü, çekme dayanımı ve uzama değerleri.....	77
Çizelge 8.2 : Numunelerin kırım sayısına bağlı olarak elastiklik modülü, çekme dayanımı ve uzama değerleri.....	83
Çizelge 8.3 : Numunelerin takviye formuna ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımı değerleri.	88
Çizelge 8.4 : Numunelerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımı değerleri.	90
Çizelge 8.5 : Numunelerin yoğunluk ve ısı iletim katsayısı değerleri.....	92
Çizelge 8.6 : Numunelerin kırım sayısına bağlı olarak, yoğunluk, sıcaklık, sıcaklık farkı ve ısı iletim katsayısı değerleri	94

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Nonwoven üretim aşamaları [2].....	4
Şekil 2.2 : İğneleme makinesi.....	5
Şekil 2.3 : Avrupa (Türkiye ve başlıca Rus üreticileri dahil) nonwoven üretimi [1]...8	
Şekil 2.4 : 2007 nonwoven ürünlerin (ton bazında) son kullanım alanları kıyası [1].	9
Şekil 3.1 : Polimerlerin sınıflandırılması [3].....	12
Şekil 3.2 : Kompozitlerin sınıflandırılması [4].....	15
Şekil 3.3 : Polietilenin zincir yapısı (a) YYPE (b) DYPE (c) DDYPE [6].....	18
Şekil 3.4 : DYPE ve YYPE çekme gerilme gerilme grafiği.....	19
Şekil 3.5 : Polietilen ve polipropilenin kimyasal yapısı.....	20
Şekil 3.6 : Bazı maddelerin (a) yoğunluk; (b) kopma dayanımı karşılaştırmaları....	23
Şekil 3.7 : Süreksiz elyafli kompozit malzemede gerilme dayanımı.....	27
Şekil 3.8 : Matris-elyaf yüzeysel bağ mukavemeti.....	28
Şekil 3.9 : Ekstruderin kısımları.....	30
Şekil 3.10 : Ekstruzyon akış şeması.....	31
Şekil 3.11 : Vida karakteristikleri.....	31
Şekil 3.12 : (a) Vida karıştırma bölgesi, (b) Çift vida ekstruder ve dönüş yönleri....	32
Şekil 3.13 : Vida bölgeleri.....	33
Şekil 3.14 : Kafa şişmesi.....	33
Şekil 4.1 : Katı atıkların sınıflandırılması [9].....	36
Şekil 4.2 : Tekstil atıklarının sınıflandırılması.....	43
Şekil 6.1 : Polimerler	57
Şekil 6.2 : (a) Kesme makinesi (b) Şifonoz makinesi (c) Kırıcı.....	58
Şekil 6.3 : Nonwoven atıkları (elyaf / kırıntı / kırılmış).....	59
Şekil 6.4 : Çalışmada kullanılan özel tasarım ekstruder.....	60
Şekil 6.5 : Ekstruderin vida kovan sistemi tasarımı	61
Şekil 6.6 : Hidrolik Pres	62
Şekil 6.7 : CNC Freze.....	62
Şekil 6.8 : Kırıcı.....	63
Şekil 6.9 : Ekstruder kontrol paneli	64
Şekil 6.10 : Kovana el ile malzeme besleme	64
Şekil 6.11 : Kafadan levha formunda kompozit malzeme çıkışı.....	65
Şekil 6.12 : Malzemenin merdanelerden geçişi.....	65
Şekil 6.13 : Malzemenin preste basılması	65
Şekil 6.14 : Malzemenin pres çıkışı görünüşü.....	66
Şekil 6.15 : Giyotin ile malzeme kenarlarının kesilmesi.....	66
Şekil 6.16 : CNC Freze ile numune kesimi	66
Şekil 6.17 : Malzemenin kırıcıda tekrar granül hale getirilmesi	67
Şekil 6.18 : Kırıcı çıkışı tekrar granül hale gelen kompozit malzemeler	67
Şekil 6.19 : Üretim döngüsü	68
Şekil 7.1 : Shimadzu AG- IS çekme cihazı	69
Şekil 7.2 : Çekme deneyi test numunesi ve boyutları.....	69

Şekil 7.3 : Çekme numunesi	70
Şekil 7.4 : Devotrans Charpy darbe deney cihazı	70
Şekil 7.5 : Çentik açma tezgahı.....	71
Şekil 7.6 : Darbe numunesi	71
Şekil 7.7 : Sıcaklık değişim hızına bağlı olarak ısı enerjisi geçiş yönleri.....	72
Şekil 7.8 : Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip silindirdaki ısı geçişi.....	73
Şekil 7.9 : Isı iletim katsayısı ölçüm düzeneği ve elemanları.....	74
Şekil 7.10 : Isı deneyi numunesi	75
Şekil 7.11 : Isı iletim katsayısı ölçüm düzeneğinin şematik görünümü.	76
Şekil 8.1 : Elastiklik modülünün DYPE matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0° - 90°).....	78
Şekil 8.2 : Çekme dayanımının DYPE matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0° - 90°).....	79
Şekil 8.3 : Uzama yüzdesinin DYPE matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0° - 90°).....	79
Şekil 8.4 : Elastiklik modülünün PP matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0° - 90°).....	80
Şekil 8.5 : Çekme dayanımının PP matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0° - 90°).....	81
Şekil 8.6 : Uzama yüzdesinin PP matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0° - 90°).....	81
Şekil 8.7 : Elastiklik modülünün DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0° - 90°).....	83
Şekil 8.8 : Çekme dayanımının DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0° - 90°).....	84
Şekil 8.9 : Uzama yüzdesinin DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0° - 90°).....	85
Şekil 8.10 : Kırımlı, kırımsız ve saf DYPE numunelere ait kuvvet-uzama eğrileri ..	85
Şekil 8.11 : Elastiklik modülünün PP matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0° - 90°).....	86
Şekil 8.12 : Çekme dayanımının PP matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0° - 90°).....	86
Şekil 8.13 : Uzama yüzdesinin PP matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0° - 90°).....	87
Şekil 8.14 : Kırımlı, kırımsız ve saf PP numunelere ait kuvvet-uzama eğrileri	87
Şekil 8.15 : DYPE matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımlarının değişimi (0° - 45° - 90°).....	89
Şekil 8.16 : PP matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımlarının değişimi (0° - 45° - 90°).....	90
Şekil 8.17 : DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımlarının değişimi (0° - 45° - 90°).....	91
Şekil 8.18 : PP matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımlarının değişimi (0° - 45° - 90°).....	92
Şekil 8.19 : DYPE ve PP matrisli kompozitlerin takviye formlarına bağlı olarak yoğunluk değerlerinin değişimi.....	93
Şekil 8.20 : DYPE ve PP matrisli kompozitlerin takviye formlarına bağlı olarak ısı iletim katsayılarının değişimi.	94
Şekil 8.21 : DYPE ve PP matrisli kompozitlerin kırımın etkisine bağlı olarak yoğunluk değerlerinin değişimi.....	95

Şekil 8.22 : DYPE matrisli kompozitler için ısı iletim katsayısı üzerinde kırım işleminin etkisi.	96
Şekil 8.23 : PP matrisli kompozitler için ısı iletim katsayısı üzerinde kırım işleminin etkisi.	96
Şekil 8.24 : DYPE ve PP matrisli kompozitlerin kırım işlemine bağlı olarak ısı iletim katsayılarının karşılaştırması.	96

KOMPOZİT İNŞAAT TEKSTİLİ TASARIMI VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ÖZET

Tekstilin tüm kullanım alanları arasında, nonwoven sektörü tekstil endüstrisinin en hızlı gelişen alanlarından biridir. Nonwoven atık miktarı, bu gelişime bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. Hatalı üretimler, kenar atıkları ve kullanılmış nonwoven atıkları çoğunlukla tekstil sektöründe geri kazanılmış elyaf olarak kullanılsa da, bu atıkların önemli bir kısmı görmüş olduğu işlemler nedeniyle tekrardan kullanılamamakta, yakılarak veya gömülerek bertaraf edilmektedir. Bu çalışmada nonwoven atığı takviyeli polimer kompozit malzemenin tasarlanması ve performansının incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın kapsamında, takviye elemanı olarak; poliester (PET), iğnelenmiş nonwoven kenar atıkları; matris olarak ise, düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) ve polipropilen (PP) seçilmiştir. Fabrika bünyesinde mekanik işlemlerle açılarak ikinci kalite ürün üretiminde değerlendirilebilen nonwoven kenar atıkları, çalışma dahilinde, elyaf ve kırıntı formunda kullanılırken; kimyasal işlem gördüğü için mekanik olarak açılmayan; gömülerek veya yakılarak bertarafı gereken otomotiv sektörü atıkları ise, kırıcı ile kırılarak, parçacık formunda matrise takviye edilmiştir. Üretim için ekstrüzyon yöntemi seçilmiştir. Üretilen malzemenin ısıl ve mekanik özellikleri çeşitli testlerle; matris malzemesinin türü ve takviye elemanı formu bazında incelenmiştir.

Test sonuçları değerlendirildiğinde, parçacık formu ile takviyelendirilmiş kompozit malzemenin saf polimer özelliklerine en yakın özelliklere sahip olduğu gözlenmiş ve çalışmanın devamında, parçacık takviyeli kompozit malzemeler ile kırım işlemine geçilmiştir. Hem DYPE, hem de PP matrisli kompozit malzemeler, her bir kırım aşaması ardından granül formunda tekrar ekstrudere beslenmiş, kırım işleminin 4 kez tekrar edilmesi ile üretim döngüsü tamamlanmıştır. Kırım sürecinin her bir aşamasında üretilen kompozit malzemenin, ısıl ve mekanik özellikleri test edilmiş, bu özellikler üzerindeki kırım işleminin etkisi incelenmiştir.

DESIGN AND ANALYSIS OF COMPOSITE CONSTRUCTION TEXTILES

SUMMARY

Among the applications of textiles, nonwovens are one of the fastest-growing segments of the textile industry and consequently the waste generated from this sector increases gradually every year. Improper practices in processing and cut wastes such as selvages in the production of nonwovens, wastes in converting of nonwovens and wastes of used nonwovens are mostly recycled for textile applications as reclaimed fibers and an important amount of nonwoven wastes are disposed by burying or burning. The aim of this study is to produce waste nonwoven reinforced composites especially designed for construction industry and analyze its performance.

In this study, the selvage wastes of needle-punched polyester nonwovens are used as reinforcement material, whereas both low density polyethylene and polypropylene polymers as matrix to produce functional polymer composites by extrusion method. Some part of the selvage wastes which can also be utilized as reclaim fibers in second quality products, are cut into small pieces and the rest of them are opened into fibers. On the other hand, the automotive industry wastes those are disposed by burying or burning because of their chemical treatment content, are granulated into small particles in order to use as a reinforcement material. The effect of reinforcement material form and matrix type on mechanical and thermal properties is investigated by various tests.

After the evaluation of test results, among other forms of reinforcement material, the particle form shows more similar properties with pure polymer materials so, for the next step, granulation period starts. The selected composites are granulated into small pieces and feed to extruder, production cycle is completed after 4 times granulation. Again mechanical and thermal behaviors are tested on the basis of matrix type and granulation effect.

1. GİRİŞ

İlk modern sentetik plastiklerin 1900'lerin başında geliştirilmesinin ardından, 1930'ların sonunda plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeyde gelişmeye başlamıştır. Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı plastiğin yükselmesindeki en önemli özelliklerdir. Bir çok üstün özelliğinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lilerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozitler, özellikle polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyutsal ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunmaktadır.

Sınır tanımayan bileşen çeşitliliği imkanı, kompozit malzemelerin ürün yelpazesini her geçen gün genişletmekte, bu durum, kompozit sektörünü araştırmacılar için merak uyandıran bir araştırma alanı haline getirmektedir. Atık malzemelerin kompozit malzemelerde değerlendirilmesi ve geri kazanımı konusu ise, oldukça güncel bir araştırma konusu olmuş, hem çevreye duyarlı hem de ekonomik ürün eldesi ile kompozit sektörüne yeni bir boyut kazandırılmıştır.

Günümüzde katı atıkların sağlıklı ve ekonomik bir şekilde uzaklaştırılması konusu, geçmiş yıllara nazaran çok daha önemli bir boyut kazanmıştır. Hızlı nüfus artışı, teknolojik gelişme, sanayileşme ve kentleşme sonucu gerek miktar bakımından hızla artan, gerekse içerdiği türler bakımından çeşitlilik gösteren katı atıklar önemli çevre sorunu haline gelmiştir. Katı atık miktar ve türlerindeki bu artış, bir yandan katı atık yönetim maliyetlerini arttırırken diğer yandan da uzaklaştırılması konusunda birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Bu manada kalkınma çabasında olan ve ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan gelişmekte olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve en üst düzeyde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekliliği ön plana çıkmaktadır.

Tekstil sektörü endüstriyel anlamda oldukça geniş bir dilimde yer almakta, üretimi doğrultusunda tonlarca atık ortaya çıkarmaktadır. Tekstilin tüm kullanım alanları arasında, nonwoven sektörü tekstil endüstrisinin en hızlı gelişen alanlarından biridir. Bu gelişime bağlı olarak her geçen gün artan nonwoven atık miktarı; hatalı üretimler, kenar atıkları ve kullanılmış nonwoven atıkları olarak çoğunlukla tekstil sektöründe geri kazanılmış elyaf olarak kullanılsa da, bu atıkların önemli bir kısmı görmüş olduğu işlemler nedeniyle tekrardan kullanılamamakta, yakılarak veya gömülerek bertaraf edilmektedir. Bu çalışmada her iki tip nonwoven atığının değerlendirilebileceği polimer kompozit malzemenin tasarlanması ve performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Böylece proje bitiminde;

- Nonwoven üretim atıklarının ikinci kalite ürün üretimi dışındaki kullanım alanlarına yenilerini eklemek,
- Atıkların değerlendirilmesi ile düşük maliyette ancak fonksiyonel kompozit tasarımını gerçekleştirmek,
- Firma bünyesinde değerlendirilemediği için, katı atık sahalarında depolanan ve/veya yakılan atıkların ortadan kalkması ile çevresel duyarlılığı arttırmak ve katı atık yönetimine katkı sağlamak hedeflenmiştir.

2. NONWOVEN MALZEMELER

Nonwoven, dokuma ve örme olmayan, özel kullanımlar için imal edilen ve kullanım süresine göre maliyeti çok düşük olan tekstil ürünleridir. Nonwoven malzemelerde, ana hammadde elyaftır. Elyaf doğal veya sentetik olarak ikiye ayrılır. Kullanımda ise devamsız elyaf veya devamlı elyaf (filament) olarak kullanılabilir.

Nonwoven; kesikli veya filament halde, doğal ya da yapay liflerden oluşturulmuş, kağıdı kapsam dışına alan, ipliğe dönüştürülmemiş ve bir çok bağlama tekniklerinin herhangi birisi ile bağlanmış kumaş olarak da tanımlanabilir.

Kağıt ile dokunmamış yüzey arasındaki farkı anlamak için malzemenin tanımlanması gerekir. Malzeme aşağıdaki özelliklere sahipse nonwoven olarak tanımlanabilir. Bu tanım EDANA (European Disposables and Nonwovens Association) ve INDA (The Association of the Nonwoven Fabrics Industry) tarafından yapılmıştır.

a) Lifli miktar dokunun % 50'den fazlasını meydana getiriyorsa uzunluğun çapa oranı 300'den daha büyük olan lifler kullanılıyorsa bu kumaşlar nonwoven olarak isimlendirilir. (kimyasal olarak düzenlenmiş bitkisel lifler hariç).

b) Dokunun lifli miktarı toplam kütleinin % 30'undan daha fazlaysa ve aşağıdaki kıstaslardan birini veya ikisini yerine getiriyorsa bu kumaşlar nonwoven olarak isimlendirilir. Kullanılan lif özellikleri yukarıdaki "a" şıkkı ile aynıdır.

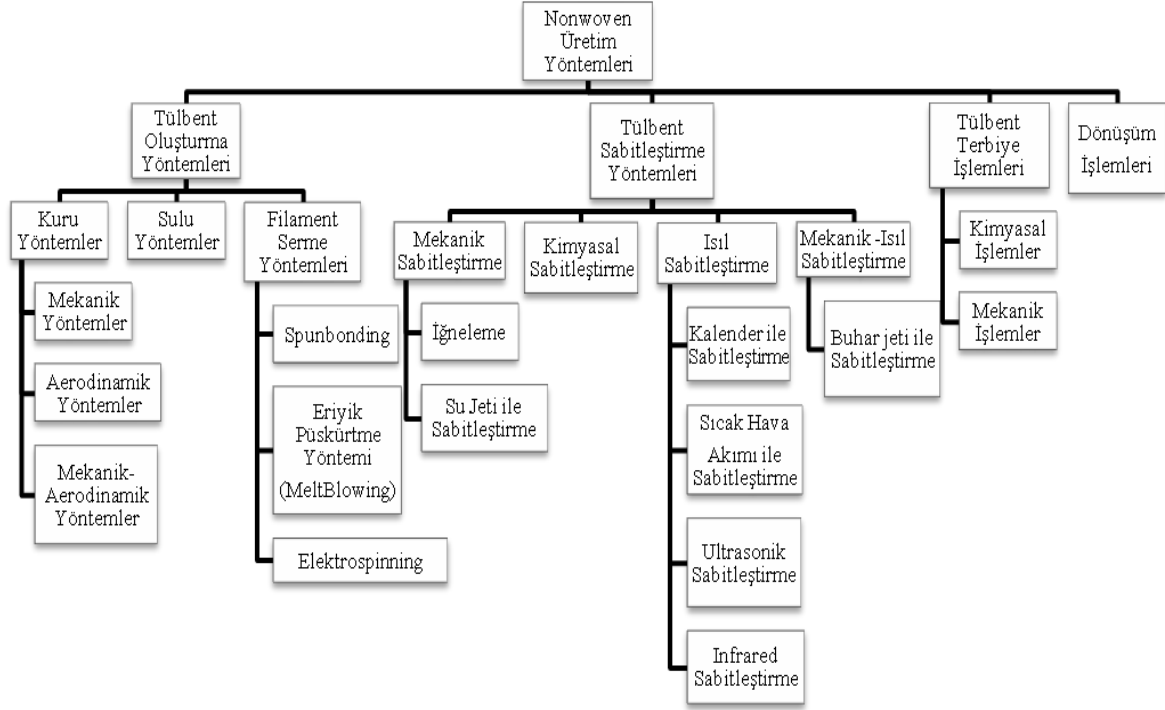
— Uzunluğun çapa oranı 60'den fazla ise.

— Dokuma yoğunluğu 0,4 g/cl değerinden az ise [1].

2.1 Nonwoven Malzemelerin Üretim Aşamaları

Nonwoven malzemeler tekstil, kâğıt, plastik ve deri sanayileri içinden doğmuş, ancak farklı bir sanayi olarak gelişimini sürdürmüştür. Nonwoven malzemelere olan talep artışı, onu yeni teknolojilerle buluşturmuş hammadde ustaları ile donanım tedarikçilerini nonwoven tekstil malzemesi üreticileri ile bir araya getirmeye zorlamıştır.

Nonwoven malzemelerin üretimi *tülbent oluşturma*, *tülbent sabitleştirme* ve *tülbent terbiye yöntemleri* olmak üzere üç basamaktan oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Nonwoven üretim aşamaları [2].

Farklı hammaddelerin beraber kullanım imkânı, endüstride farklı tekniklerin ve farklı ürünlerin ortaya çıkmasını sağlar. Nonwoven tekstil malzemeleri üzerindeki bu hâkimiyet, istenen özellikte ürün eldesini ve istenen performansın ürüne kazandırılmasını kolaylaştırır.

2.1.1 Tülbent oluşturma

Nonwoven üretimi tülbent hazırlığı ile başlar. Elyaf balyalar halinde kesikli olarak bulunabileceği gibi, eriyik halde polimer çipslerinden ekstrude edilmiş filament halde de bu aşamada yer alabilir. Amaç, elyaf veya filament formundaki malzemenin tülbent formuna getirilmesini sağlamaktır. Farklı tülbent oluşturma yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler verimlilik, lif oryantasyonu ve tülbent özellikleri açısından farklılık gösterirler.

2.1.2 Tülbent sabitleştirme

Tülbent formuna getirilmiş malzeme, filament serme yöntemi ile üretilen malzemeler dışında, çok düşük mukavemete sahiptir ve bu tülbentin çeşitli yöntemlerle

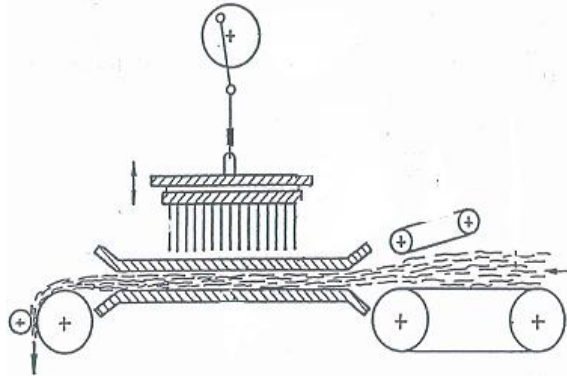
sabitleştirilmesi gerekir. Hangi metodun seçileceğinde belirleyici rolü tülbendi oluşturan elyaf özellikleri üstlenir. Seçilen sabitleştirme yöntemi ürünün son kullanım alanına doğrudan etki etmektedir.

İğneleme yöntemi:

İğneleme yöntemiyle sabitleştirilmiş bir nonwoven tekstil malzemesi, liflerin, çentikli iğnelerin aşağı yukarı hareketi ile birbiri içine dolanması ile oluşur. İğnenin hareketi ile lifler karışarak bir arada tutulur ve sonuçta üç boyutlu bir yapı meydana gelir.

İğneleme yöntemi doğal ve sentetik lifler için uygun bir yöntem olup, lif uzunluğu önem teşkil eder. Çalışma genişlikleri 2-6m arasında değişir. Özel durumlarda 16m'ye kadar çıkabilir. Beslenen tülbent kalınlığı 100-300mm arasındadır. Bu tülbent önce ön iğneleme makinesine girer. Nisbi olarak az iğne sayısı ile iğneleme işlemine hazırlık yapılır.

Ön iğneleme ardından tülbent, besleme aparatı ile iğneleme makinesindeki delikli levhalar arasına beslenir. Çentikli iğneler levhalardaki deliklerin içine sürekli batıp çıkarak çentiğine lifleri takar ve lif tutamı oluşturur. Şekil 2.2'de iğneleme makinesi şematize edilmiştir. İğne tablasındaki iğnelerin sayısı, iğne tablasının ferkansı makinenin performansını belirler. İğnenin yapısı çeşitlilik gösterir. İğneler genellikle üçgen bir kesitte olup; bir, iki veya üç kenarında çentikler vardır. Çentik sıklığı, iğneleme işleminin performansı üzerinde etkilidir. İğneleme yöntemi, oldukça geniş son kullanım alanına yönelik üretim imkanı sunar. Ev tekstili, geotekstil alanı, filtrasyon ürünleri, otomotiv kaplamaları, yalıtım malzemeleri, endüstriyel keçeler, mobilya ve ayakkabı keçeleri, kemer ve yaka telaları, vb [2].



Şekil 2.2 : İğneleme makinesi.

2.1.3 Tülbent terbiye işlemleri

Tülbent terbiye işlemleri sayesinde nonwoven malzemelere var olan özelliklerinin yanına yenilerini katarak veya onları değiştirerek müşterinin ihtiyaçlarına karşılık vermek mümkündür. Sabitleştirme öncesinde veya sonrasında kumaşa çok çeşitli kimyasal madde applike edilebilir veya sabitleştirme sonrasında kumaş mekanik işlemlere tabi tutulabilir.

Nonwoven malzemeler sıvı çekici, sıvı itici, yanmayı geciktirici, filtre edici, antibakteriyel gözenekli nefes alabilen, antistatik, iletkenlik.vb. özelliklere sahip olabilirler. Bunun yanında kaplanmış, baskılı, boyanmış olarak bulunabilir; farklı malzemelerle birlikte kompleks lamineler oluşturabilirler.

2.1.4 Dönüşüm

Nonwoven malzeme tüm işlemleri bitmiş halde levende sarılı şekilde gelir. Buradan, kesim,katlama,dikim gibi işlemlere aktarılır. Bu aşamada eğer; kalitesi, özellikleri, kesim sonucu boyutları; müşterinin talebinin kabul edilebilir değerleri arasında yer alıyorsa, son kullanıma hazır halde temin edilir. Son kullanım alanları ise oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir.

2.2 Nonwoven Malzemelerin Özellikleri

Nonwoven üretiminde ve son kullanımda karşılaşılabilecek problemlerin çözümünün büyük bir kısmı nonwoven özelliklerindedir. Bu özellikler hammadde seçimi ile belirlenebileceği gibi, istenen terbiye ve apre işlemleri (boya, baskı, laminasyon, kabartma, fırçalama) ile ürüne sonradan da kazandırılabilir [1].

Nonwoven malzemelerin sahip oldukları veya bu malzemelere kazandırılabilinecek özelliklerin başlıcaları; aşınma dayanımı yüksek, emici, anti statik, hava geçirgenliği yüksek, iletken, kırışıklık dayanımı yüksek, sıkı yapılı, örtücü, kuru temizlemeye uygun, uzun ömürlü, boyanabilir, elastik, güçtutuşur, katlanabilir, yapıştırıcı, ütülenebilir, yumuşak tuşeli, hafif, yalıtkan, renk haslığı yüksek, gözenekli, koruyucu, baskıya uygun, çürümeye ve küflenmeye karşı dayanıklı, iyi rezilyans özelliğine sahip, dikilebilir, pürüzsüz, sterilizasyona uygun, mukavemetli, kalın, yırtılma mukavemeti yüksek, yıkanabilir, su itici veya su geçirmezlik özellikleri şeklinde toparlanabilir.

2.3 Nonwoven Malzemelerin Kullanım Alanları

Nonwoven malzemelerin kullanım alanları ve muhtelif örnekleri aşağıdaki gibidir.

Kişisel bakım ve hijyen ürünleri: Bebek bezi, bayan pedi, yetişkin bezi, ıslak ve kuru bezler, makyaj çıkarma pedleri, burun mendilleri, diş dolgu tabakaları, tek kullanımlık iç giyim ürünleri, vb.

Tıbbi tekstil ürünleri: Cerrahi kullanımda, tek kullanımlık kep, maske, ayakkabı kılıfı, örtülerde ve paketlemede, süngerler, giysiler ve bezler, yatak çarşafı, tek kullanımlık önlükler, kefen, pedler, sabitleştirici bantlar, küvöz şiltesi, vb.

Ev tekstil ürünleri: Kurulama bezi, kese, elektrik süpürgesi kılıfı, çamaşır yıkama kılıfı, mutfak hava filtreleri, kahve poşetleri, kahve filtresi, mendil ve masa örtüleri, giysi ve ayakkabı çantaları, leke sökücüler, yemek üzeri örtüsü, vb.

Boş vakitler ve gezi ürünleri: Uyku tulumu, çadır, bagaj el çantası alışveriş poşeti, pizza kutusu, cd kılıfı, yastık kılıfı, sörf tahtası, sandviç paketi, vb.

Konfeksiyon ürünleri: Astar, tela, el çantası bileşenleri, ayakkabı bileşenleri, kemer telası, aleve dayanıklı giysiler, transparan giysiler, sanayi başlıkları ve giysileri, tek kullanımlık işçi giysisi, giysi ve ayakkabı kılıfı, kimyasala dayanıklı giysiler, vb.

Döşemelik ürünler: Mobilya konstrüksiyon malzemesi, minder içi dolgu malzemesi, mobilya kılıfları, astar, yatak konstrüksiyon malzemesi, yorgan dolgu malzemesi, yay sargıları, döşek dolgu malzemeleri, perde, duvar kaplaması, halı tabanları, abajur, vb.

Okul ve ofis ürünleri: Kitap kapağı, zarf, harita, havlu, banknot, vb.

Otomotiv ürünleri: Bagaj kaplaması, ısı yalıtım malzemesi, çamurluk kaplama maddesi, yağ filtreleri, başlık kılıfları, hava filtreleri, dekoratif kumaşlar, hava yastığı, ses yalıtım pedleri, araba kılıfları, dolgu malzemeleri, vb.

İnşaat malzemeleri: Çatı ve kiremit tabanı, anduvaz altlığı, ısı ve ses yalıtımı, ev kaplama malzemesi, boru sargı malzemesi, beton kalıp tabakaları, temel çıkma ve stabilizasyon, vb.

Jeolojik tekstil ürünleri: Asfalt altı malzemesi, toprak stabilizasyon, kanalizasyon, sedimentasyon ve erozyon kontrolü, gölcük kaplama maddesi, emdirme tabanı, vb.

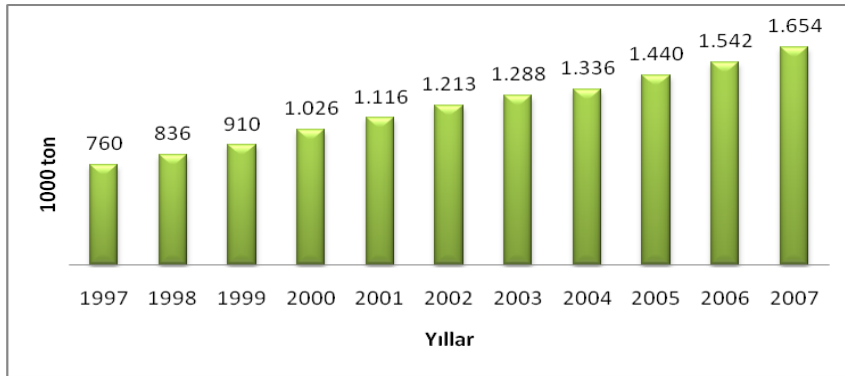
Endüstriyel tekstil ürünleri: Kaplama kumaşları, uydu çanağı, kablo yalıtımı, yalıtım bantları, aşındırma taşlama malzemesi, konveyör bantlar, takviye yardımcı maddeleri, PVC maddesi, alev bariyerleri, suni deri, ses emen tabakalar, hava kondisyonlama, pil seperatörü, alkali piller, kaymayı önleyen matlar, endüstriyel bezler, vb.

Filtreler: Sıvı, yağ, bira, süt, meyve suyu filtreleri, karbon kağıdı, vb.

Tarım tekstil ürünleri: Ekin kaplama örtüsü, tohum örtüsü, zararlı otlardan koruma örtüsü, sera gölgeliği, kök poşetleri, kılcal mat, vb [1].

2.4 Nonwoven Sektöründeki Gelişmeler

2007 yılında, Avrupa'daki nonwoven üretimi 2006 yılına oranla hacimce %7.4 büyüme göstererek, yaklaşık 1.7 milyon tona ulaşmıştır (Şekil 2.3) [1].



Şekil 2.3 : Avrupa (Türkiye ve başlıca Rus üreticileri dahil) nonwoven üretimi [1].

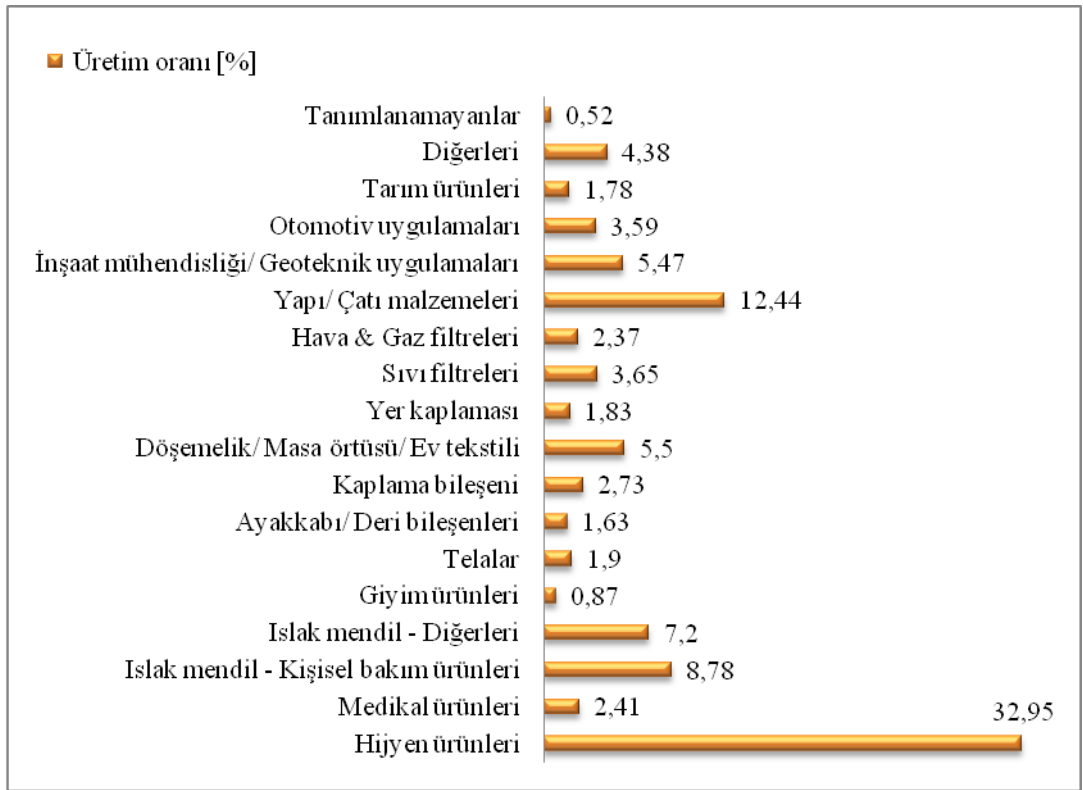
Çizelge 2.1'de 2004-2007 yılları arası dünya genelinde ülkelerin nonwoven üretim miktarları verilmiştir. Avrupa nonwoven üretimi konusunda dünyada lider durumda olup, takibinde kuzey ABD ve Çin gelmektedir.

Çizelge 2.1 : Ülkelerin Nonwoven Üretimi (ton) (2004–2007) [1].

	2004[ton]	2005[ton]	2006[ton]	2007[ton]	Artış oranı [%]
Avrupa	1.335.900	1.470.000	1.581.000	1.699.000	7,4
Kuzey ABD	1.187.000	1.247.000	1.291.000	1.348.000	4,4
Japonya	296,900	313.900	329.750	338.280	2,6
Çin	755.000	838.000	966.000	1.151.000	19,1
Kore	203.900	205.960	210.795	213.065	1,1
Tayvan	139.100	140.550	144.000	160.000	11,1
Diğerleri	404.200	753.590	741.284	841.655	12,7
Toplam	4.322.000	4.969.000	5.263.829	5.751.000	9,3

2006 yılı verilerine göre Avrupa nonwoven endüstrisinde tercih edilen polimerler arasında en önemli yere sahip olan; gerek lif, gerekse granül olarak kullanılabilen polipropilen %48.4 lük bir büyüme göstermiş ve kullanımını 766,200 tona ulaşmıştır. Tülbent sabitleştirme yöntemlerine bakıldığında %13.8 lik bir artış ile iğneleme ile sabitleştirme yöntemi ön sırada yer almaktadır [1].

2007 yılında nonwoven sektörü son kullanım alanları karşılaştırıldığında, hijyen ürünleri %33'lük oran ile ön sırada yer almaktadır. Hijyen ürünlerini, %18'lik dilim ile yapı malzemeleri, %16'lık dilim ile ıslak mendiller ve %5.5'lik dilim ile filtrasyon elemanları takip etmektedir (Şekil 2.4) [1].



Şekil 2.4 : 2007 nonwoven ürünlerin (ton bazında) son kullanım alanları kıyası [1].

3. POLİMERLER VE POLİMERİK KOMPOZİTLER

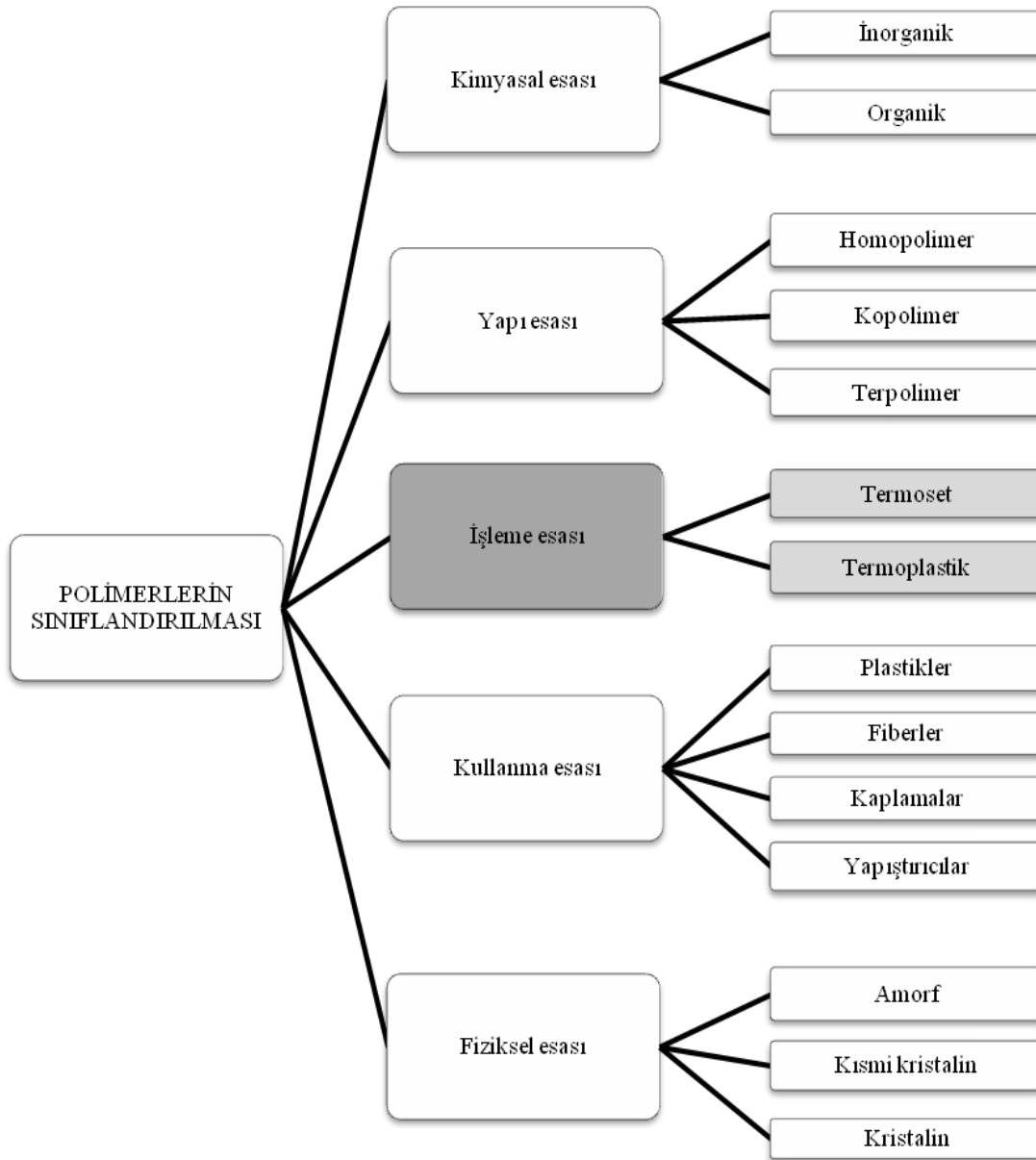
3.1 Polimerik Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

Çok eski tarihlerde kullanılan polimerik malzemelerin başında selüloz, nişasta, doğal kauçuk, vb. gibi doğal polimerler gelmektedir. Doğal polimerler, işlenme zorluğu ve bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin yetersizliğinden dolayı, yerlerini yarı sentetik ve sentetik polimerlere bırakmışlardır. İlk polimer malzemesi 1868 yılında J.Hyatt tarafından keşfedilen“seluloid”dir. Yarı sentetik bir polimer olan seluloid, pamuk selülozundan elde edilmektedir. Ancak modern plastik endüstrisi, L. Baekeland tarafından “bakalit”in sanayi çapında üretilmesi ile, 1909’da başlar. Fenol-formaldehit reçinesi olan bakalit telefon ahizeleri gibi plastik ürünlerin yapımında kullanılmıştır. Bunu 1917 yılında I. Dünya Savaşı esnasında Alman kimyacıları tarafından “dimetil butadien”den suni kauçuğun keşfi takip eder. Bütün bu buluşlar, polimerin yapıları hakkında kesin bilgiler olmadan yapılmıştır. 1924’e kadar polimer yapıların kolloid agregat halinde bulunan küçük moleküllerden oluştuğu sanılmaktaydı. H. Straudinger yaptığı araştırmalar sonucu, plastiklerin zincirler halinde makromoleküllerden oluştuğunu ve bu moleküllerin birbirleriyle kovalent bağlar ile bağlanan küçük ünitelerden meydana geldiğini göstermiştir. Takibinde, 1927 yılında, selüloz asetat ve PVC, 1928’de polimetilmetakrilat, 1929’da üre-formaldehit reçineleri elde edilmiştir. Bunları daha sonra, 1932’de Gibson tarafından bulunan polietilen, 1934 yılında Carothers tarafından bulunan poliakrilonitril, stiren-akrilonitril polivinilasetat ve naylon, 1937’de Plumkett tarafından bulunan poliüretan, 1938’de Whinfield ve Dickinson tarafından bulunan Teflon ticari adıyla tanınan politetrafloroetilen, 1941’de polietilenteraftat ve 1942’de poliester ve Orlon ticari adıyla da tanınan poliakriloniril takip etmiştir [3]. II. Dünya Savaşı sonrası, 1947’de epoksi reçineler bulunmuş ve ardından yüksek mekanik ve teknik özelliklere sahip plastikler sentez edilmiştir. Plastiklerin gelişiminde önemli aşama, bu malzemelerin öncelikli olarak cam, grafit ve karbon elyafları ile karıştırılarak üretilen, kuvvetlendirilmiş plastiklerin elde edilmesidir. Bu

malzemelerin mekanik özellikleri metallerin seviyesine ulaşmakta ve birçok uygulama alanında plastikler metallere rakip olmaktadır [3].

3.2 Polimerlerin Sınıflandırılması ve İlgili Tanımlar

Polimerler, çok sayıda tekrar eden mer veya monomer olarak bilinen basit ünitelerden oluşmaktadır. Polimerlerin çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması mümkündür (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Polimerlerin sınıflandırılması [3].

3.3 Polimerler Sanayinin Mevcut Durumu

Çizelge 3.1’de termoplastiklerin 2001 yılında dünya tüketim payları görülmektedir. Çizelgedeki polietilen miktarı, alçak ve yüksek yoğunluklu polietilen toplamıdır ve polietilen en fazla tüketilen termoplastiktir [4].

Çizelge 3.1 : Termoplastiklerin 2001 yılı dünya tüketim değerleri (%).

Termoplastik	Tüketim(%)
Polietilen	34
Polipropilen	20
Poli(vinil klorür)	17
Polistiren	5
Diğerleri	24

Türkiye’de termoplastik karakterli polimerlerin üretilmesi amacıyla kurulan ilk tesis PETKİM’dir. Çizelge 3.2’de PETKİM tarafından üretilen termoplastiklerin yıllara göre toplam üretim miktarları görülmektedir [4].

Çizelge 3.2 : PETKİM tarafından üretilen termoplastiklerin miktarları (ton).

Termoplastik	1995	2000	2001	2002	2003
DYPE	231,529	215,939	198,805	194,184	184,519
YYPE	71,560	70,355	56,352	84,784	82,129
PVC	74,357	176,629	147,170	156,526	139,974
PP	80,414	75,937	77,944	79,783	70,895

Günümüzde ülkelerin kişi başına termoplastik üretim miktarları, gelişmişliğin bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Çizelge 3.3’te bazı ülkelerin 1999 yılı için kişi başı ortalama termoplastik tüketim değerleri görülmektedir. Çizelge 3.4’te ise; Türkiye bazında yıllara göre kişi başı ortalama termoplastik tüketim değerleri erilmektedir [4].

Çizelge 3.3 : Bazı ülkelerde 1999 yılı için kişi başına termoplastik tüketimi (kg/kişi).

Ülke adı	DYPE	YYPE	PVC	PP	PS	Diğerleri	Toplam
ABD	24,5	22,6	21,8	21,6	9,1	2,3	101,9
Kanada	25,2	18,1	13,8	21,1	6,7	2,1	87,0
Batı Avrupa	17,8	11,5	17,8	14,4	5,9	1,9	69,4
Malezya	9,0	6,6	9,8	4,9	6,4	4,4	41,1
Macaristan	10,2	6,5	9,6	8,9	5,3	0,2	40,7
Bulgaristan	5,7	1,1	6,2	9,2	3,5	0,1	25,9
Türkiye	5,7	2,4	7,1	6,1	2,6	0,5	24,3
Polonya	5,7	3,8	3,9	6,6	11,3	0,1	21,4
Brezilya	4,2	3,8	3,7	3,8	1,5	0,3	17,2
Çin	2,7	1,7	2,6	2,4	1,5	1,1	11,9
Romanya	1,7	0,9	0,7	1,3	0,6	0,0	5,3
Hindistan	0,5	0,7	0,8	0,9	0,2	0,1	3,1

Çizelge 3.4 : Türkiye’de kişi başına yıllık plastik tüketimi (kg/kişi).

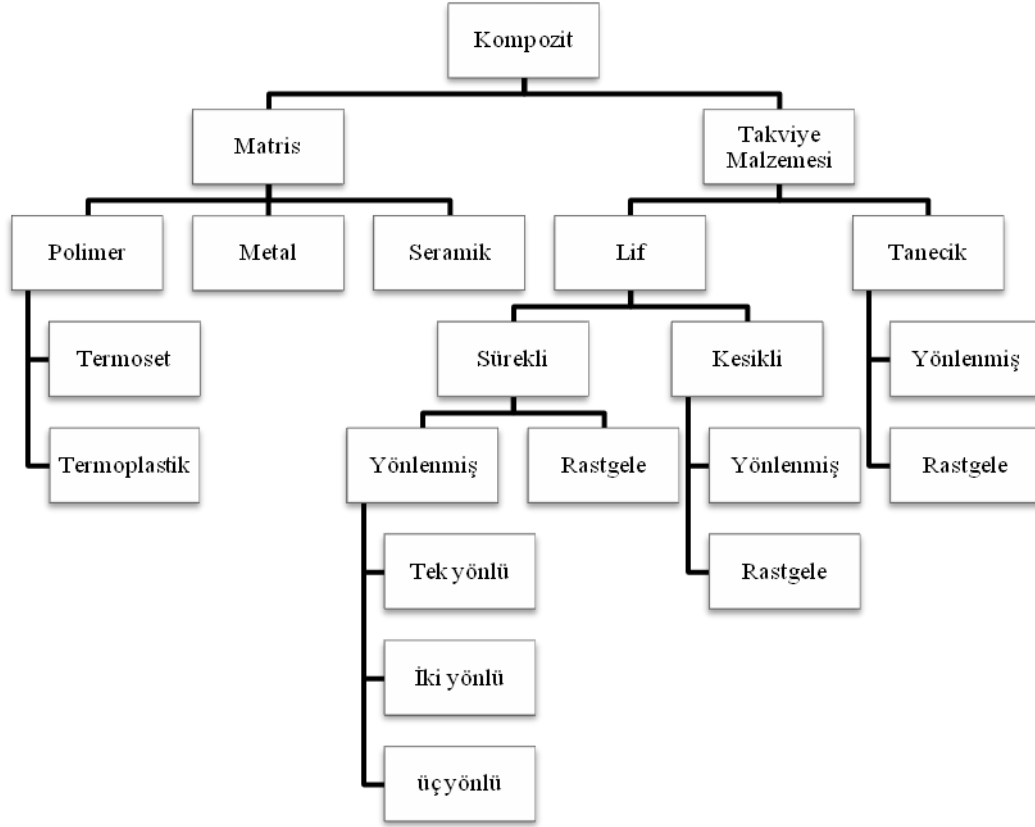
Yıllar	Tüketim (kg/kişi)
1995	15,7
1996	17,5
1997	20,6
1998	23,9
1999	24,3

3.4 Polimerik Kompozitler

3.4.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozitler, farklı maddelerin istenilen amaca yönelik, belli düzende bir araya getirilmesiyle hazırlanan malzemelerdir. Kompoziti oluşturan maddelerin arasında birincil kimyasal etkileşimler bulunmaz ve çoğu kez kompozitteki bileşenlerin birbirleri ile temas ettiği noktalar gözle ayırt edilebilir. Kompozit hazırlamada temel amaç, değişik malzemelerin iyi özelliklerini tek bir malzemede birleştirebilmektir [4].

Kompozitler farklı yaklaşımlarla kendi içlerinde gruplandırılabilirler. Bunlardan en yaygını, takviye malzemesi ve matris türüne göre yapılandırılır. Şekil 3.2’de kompozit malzemelerin sınıflandırılmasına yer verilmiştir.



Şekil 3.2 : Kompozitlerin sınıflandırılması [4].

3.4.2 Kompozit malzemelerin bileşenleri

Kompozit malzemeyi oluşturan iki ana madde vardır: Matris ve takviye elemanı. Üçüncü bir bileşen olarak ise katkı maddeleri gösterilebilir.

3.4.2.1 Matris

Matris bileşeni, takviye malzemesini bir arada tutan polimerik, metal veya seramik malzemelerdir.

Matrisin başlıca görevleri;

- Kuvvetleri liflere iletmek
- Lifleri, korozyon ve oksidasyon gibi, ortamın etkisi ve darbelerden korumak
- Maliyeti düşürmektir.

Matris seçiminde, malzemenin nem ve su alma özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gereklidir. Kayma sertliği, boyuna olan basınç mukavemeti, uzaması, kopması, yorulması, darbe özellikleri de çok önemlidir. Matrisin yüksek bir kayma modülüne sahip olması istenir. Böylece kompozitten elde edilen kayma

katılığı sağlanır. Kayma gerilmesi ve kayma modülü, matris için mukavemetten daha önemli bir unsurdur. Matrislerin çoğu sıvı halde kullanıldığı için viskozite önemlidir. Erime noktası, kür zamanı, sıcaklık gibi fiziksel özellikler de matrislerin diğer önemli noktalarıdır [5].

Kompozitlerin %90'ı, polimer matrisli kompozitlerden oluşmaktadır. Bu polimerler, termoset polimerler ve termoplastik polimerler olmak üzere ikiye ayrılır.

Termoset polimerler

Termosetler, zincirleri arasında yoğun çapraz bağlar bulunan polimerlerdir. Çapraz bağlı yapıları nedeniyle ısı ile eritilemezler ve yeterince yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında bozunurlar. Ayrıca çözücülerden etkilenmedikleri varsayılır ve sıvılar içerisinde izlenebilir bir şişme göstermezler. Termosetler polikondansasyon reaksiyonu ile elde edilirler. Bu polimerizasyon işlemi, malzemeyi ihtiva eden monomerlerin bir araya getirildiği reaktörde başlar ve kalıplama işlemi sırasında biter. Ticari üretimi yapılan önemli termosetler; doymamış polyesterler, epoksiler, alkitler, fenol-formaldehit, melamin-formaldehit, vinil esterler, bismaleimid, fenolikler, silikon, poliüretan ve poliimid polimerleridir. Üstün elektrik yalıtımı, yüksek sertlik, yanmada düşük duman, alevlenmeye karşı dayanım, yüzey parlaklığı, üstün ses yalıtımı, iyi boyutsal kararlılığı, kimyasallara direnç, yüksek ısı absorpsiyonu şeklinde sıralanabilir. Sertlik, iyi boyutsal kararlılık, kimyasallara direnç vb özellikler termosetlerdeki zincirler arası yoğun çapraz bağların sonucudur [4].

Termoplastik polimerler

Termoplastik ısı etkisi ile eritilerek yeniden şekillendirilebilen polimerler için kullanılan genel bir kavramdır. Polietilen, polistiren, poli(vinil klorür), poli(hekzametilen adipamit), polipropilen; termoplastik davranışlı ticari polimerlerden bazılarıdır.

Termoplastik polimerlerin zincirleri doğrusal veya dallanmış yapıda olabilir, ancak zincirler arası çapraz bağ görülmez. Polimer zincirlerini küçük moleküllerde de gözlenen London kuvvetleri (0-1,5kcal/mol), polar etkileşimler (1,5-3kcal/mol) ve hidrojen bağları (3-7kcal/mol) gibi ikincil etkileşimler birarada tutar. Polimer zincirlerinin kendi içindeki veya farklı zincirler arasındaki fiziksel dolaşmalar ayrıca zincirlerin ilişkilerini güçlendirir. Sözü edilen zincirler arası ikincil etkileşimler ve

dolaşmalar çözücü veya ısı etkisi ile kırılabileceğinden, termoplastikler uygun çözücülerde çözünürler ve ısıtıldıklarında erirler.

Günlük eşya ve malzeme yapımında en fazla kullanılan polimerler polietilen, polistiren, poli (vinil klorür) ve polipropilen termoplastikleridir. Fiyatları düşük olan bu polimerlere temel plastikler (genel amaçlı, standart plastikler) adı verilir.

Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Bu şekillendirme esnasında hiç bir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Bunun yanı sıra uygun çözücüde çözünebilirler. Termoplastikler termosetlere kıyasla hammaddesi daha pahalı polimerlerdir. Devamlı kullanım sıcaklıkları 60°C ile 245°C arasında değişebilen termoplastik reçine çeşitleri bulunmaktadır. Çizelge 3.5’de bazı termoplastiklerin özelliklerine yer verilmiştir [3].

Çizelge 3.5 : Bazı termoplastiklerin özellikleri [6]

Malzeme	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Kullanma Sıcaklık Sınırı (°C)
Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE)	0,92-0,93	6,2-17,2	105-280	82-100
Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)	0,95-0,96	20-37,2	420-1260	80-100
Polivinil klorür (PVC)	1,50-1,58	40-62,1	2800-4200	110
Polipropilen (PP)	0,90-0,91	29,3-38,6	1120-1500	107-150
Akrilik	1,11-1,19	75,9	-	54-110

Polietilen ve polipropilen; termoplastik polimerler arasında %54’lük bir paya sahiptir.

Poliolefinler

Poliolefin homopolimeri, propilen, butilen ve metil penten gibi monomerlerden elde edilir. Bunun yanı sıra, penten ve heksen monomerlerinden poliolefin kopolimeri oluşturulur. Poliolefin ailesine ait en önemli reçineler, polietilen ve polipropilendir;

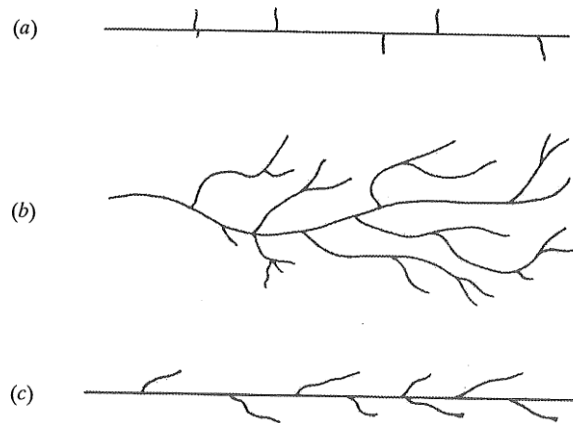
bunların yanı sıra, etilen vinil asetat, ionomer, poliallomer, polibutilen ve polimetil penten gibi reçineler de vardır. Poliolefinlerin çekme eğilme ve darbe mukavemeti gibi mekanik özellikleri ve kullanma sıcaklıkları kristalinite derecesine bağlı olarak oldukça farklıdır. Ancak elektriksel ve kimyasal özellikler bu aileyi oluşturan reçineler için pek değişmez [3].

Polietilen

Etilen gazının polimerizasyonu ile sentezlenen polietilen (PE), toplam termoplastikler içinde %34'lük oranla en fazla tüketilen ticari polimerdir [4].

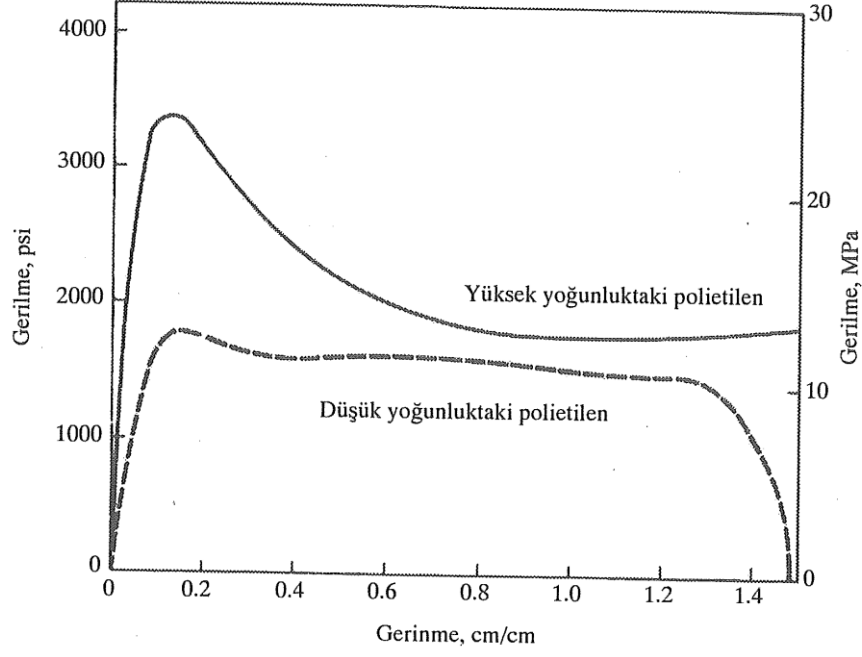
En çok kullanılan termoplastik olan polietilenler tok, yüksek elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip, düşük sürtünme katsayısı, sifıra yakın nem alma özelliği olan ve kolay işlenebilen reçinelerdir. Çalışma sıcaklıkları -4.5°C ile $+90^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Polietilenler yoğunluklarına göre alçak orta ve yüksek olmak üzere 3 gruba ayrılır; bunlara çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen denilen dördüncü bir grup da eklenebilir. Ayrıca kimyasal işleme elde edilen ve termoset olan çapraz bağlı polietilen çeşidi de mevcuttur.

Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE), ana zincirdeki dallanmalardan oluşur (Şekil 3.3). Ana zincirdeki dallanmalar, zincir içi transfer tepkimelerden kaynaklanır. Yan dalların boyları kısadır ve genelde etil, propil, bütül vb alkil gruplarıdır. DYPE nin üretimi 3000 atm gibi yüksek basınçta yapıldığından bu polimere aynı zamanda yüksek basınç polimeri de denir. Mol kütlesi, 5000-40000 aralığında değişir [4].



Şekil 3.3 : Polietilenin zincir yapısı (a) YYPE (b) DYPE (c) DDYPE [6].

Şekil 3.4'te YYPE veDYPE'e ait gerilme-gerinme grafiği yer almaktadır. [6]



Şekil 3.4 : DYPE ve YYPE çekme gerinme gerilme grafiği.

DYPE, iyi tokluk ve esneklik özelliklerine, düşük sıcaklıklarda yüksek darbe mukavemetine ve film şeklinde berraklık gibi özelliklere sahiptir, ancak sıcaklığa karşı mukavemeti oldukça düşüktür. Oda sıcaklığında iyi kimyasal mukavemete sahip olan bu reçinenin kimyasal mukavemeti sıcaklığı arttıkça azalır. DYPE'nin bir çeşidi doğrusal alçak yoğunluklu polietilen (DDYPE)'dir. Bilhassa film şeklinde kullanılan bu polietilen darbe ve yırtılma etkisine, sıcaklığa ve çevre koşullarına daha dayanıklıdır. Orta yoğunluklu polietilen (OYPE) yüksek rijitliğe ve çekme mukavemetine sahiptir ancak darbe mukavemeti daha düşüktür. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen (CYMAPE), yüksek erime viskozitesine sahip olduklarından işlenmeleri oldukça zordur. Genellikle polietilenler aşırı zorlanmalara veya yüksek sıcaklıklara maruz kalan makine elemanlarının yapımında kullanılmazlar. Bunlar daha çok bavul, şişe, kap, bidon, torba ve mutfak eşyası yapımında tercih edilirler [3].

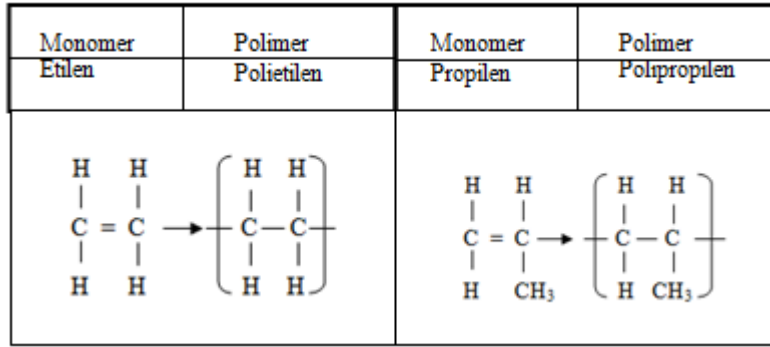
Toplam polietilen üretimi içerisinde DDYPE payı %36, DYPE payı %36, YYPE payı %28 kadardır [4].

Polipropilen

Alçak yoğunluklu bir reçine olan polipropilen, propilenin polimerizasyonu sonucu oluşur ve yarı sert, şeffaf, kolay şekillendirilen pahalı olmayan bir polimerdir. Şekil 3.5'te polipropilen ve polietilenin kimyasal yapısına yer verilmiştir. Monomer olan

propilen, petrolden sağlanır. Ayrıca çok iyi boyanma kabiliyeti vardır. Polipropilenin camsı geçiş sıcaklığı -10 °C, erime sıcaklığı 160 °C dolayındadır. Erime noktası düşük olduğu için 90-110°C sıcaklık aralığı gibi düşük sıcaklıkta kullanılabilir. Polipropilenden yapılan parçaların ömrü 120 °C’de 5 sene, 110 °C’de 10 senedir. Genellikle polipropilene enjeksiyon, ekstrüzyon ve üfleyerek şişirme yöntemleri uygulanır.

Polipropilenin kimyasal dayanımı iyidir. Bazların, asitlerin ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmez, alkollere ve deterjan çözeltilerine karşı dayanıklıdır. Görünür bölge ışınlarına dayanıklı olmakla birlikte, UV ışınları PP’den yapılan malzemelerin yüzeyini bozar. Polipropilen ilaç, kozmetik ve besin alanında kutu, şişe, kap, valiz, bavul, çanta, diş macunu tüpü, steril sağlık gereçleri, akü kutusu, plastik raf, hava filtresi, gösterge tabloları, güneşlik, kasa, bant, şeffaf ambalaj, bahçe mobilyası, termos vb. parçaların yapımında; köpük çeşidi ise mobilya veya koltuk yastıklarının dolgusunda kullanılır [4].



Şekil 3.5 : Polietilen ve polipropilenin kimyasal yapısı

Termoplastik malzemelerin ısıl bozunma özelliği

Termoplastiklerin erime sıcaklıkları genelde yüksektir ve işlenmeleri sırasında erime sıcaklıkları üzerine ısıtılırlar. Isı enerjisi, termoplastikleri belli derecede etkileyerek mekanik ve fiziksel özelliklerini zayıflatır. Bu nedenle termoplastikler, ısıl bozunma tepkimeleri ile ilk kez işlenmeleri sırasında karşılaşılırlar. Termoplastiklerden yapılmış malzeme atıkları (su şişeleri gibi) toplanmakta ve öğütülerek küçük parçalar haline getirildikten sonra eritilerek tekrar şekillendirilmektedir. Bir termoplastiğin eritilerek yeniden şekillendirilmesi, ikinci bir bozunma sürecinin başlaması anlamına gelir. Her yeni şekillendirme adımında polimerin bozunma derecesi artar ve önceki şekillendirme adımlarındaki bozunma izleri de malzeme üzerinde kalır. Bu olaya ısıl geçmiş adı verilir. İkinci kez şekillendirme yapılacak plastiklerin içerisine ısıl

bozunmanın toplam ürün içerisindeki payını azaltmak amacıyla, kütlece yaklaşık %50 veya daha fazla yeni polimer karıştırılır.

Termoplastikler ekstrüzyon gibi bazı işleme tekniklerinde daha uzun süre yüksek sıcaklıkların etkisinde kalırlar. Isınmaya bağlı olarak polimer eriyiği içerisinde bölgesel çapraz bağlanma tepkimeleri ilerleyebilir ve termoset karakterli küçük, katı, sert tanecikler oluşabilir. Bu durum son ürün kalitesini düşürebilir [4].

Polimerlerin harmanlanması

Harmanlama (blending) bilhassa darbe mukavemetini, eğilme sıcaklığını ve aleve karşı dayanıklılığı iyileştirmek için iki veya daha çok polimerin karıştırılması işlemidir. Bu işlemde harmanlanan malzemelerin en iyi özellikleri elde edilmeye çalışılmaktadır. Harmanlama işleminin özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

a) Harmanlama yalnız polimerlerin karıştırılması ile yapılan tamamen mekanik bir işlemidir ve harmanlanan polimerler birbirlerine kimyasal bağlarla bağlı değildir. Bu bakımdan kopolimerler ve terpolimerler harmanlanan polimer değildirler.

b) Elde edilen karışımın tek bir erime sıcaklığı ve camsı geçiş sıcaklığı vardır. Birbirine uyan (kimyasal bakımdan) polimerlerde elde edilen son camsı geçiş sıcaklığı, harmanlanan polimerlerin camsı geçiş sıcaklığının arasındadır; uyuşmayan polimerlerde ise son camsı geçiş sıcaklığı, harmanlanan polimerlerin en düşük camsı geçiş sıcaklığından daha küçüktür. Birbirine uyan polimer harmanlarına ait örnekler; polimetil metakrilat-akrilonitril, stiren-metilmetakrilat, akrilonitril-akrilamit ve polivinilasetat-polimetil metakrilat'tır. Uyuşmayan polimer harmanlara polistiren gibi camsı, gevrek bir polimerin, kauçuk ile karışımı örnek verilebilir. Bu karışım çok iyi darbe mukavemeti olan tok bir malzemedir.

c) Harmanlanan ana polimerin en azından bir özelliği önemli şekilde iyileşmelidir. Bu özellik fiziksel, mekanik, teknolojik yönde olabileceği gibi, maliyet yönünde de olabilir.

d) Harmanlanan polimerin miktarları en az %25 olmalıdır. Genellikle karışımlar 50:50 civarındadır [3].

3.4.2.2 Takviye elemanı

Kompozit malzemelerde lifler ve değişik geometrilerde tanecikler takviye amacı ile kullanılmaktadır. Takviye elemanları, kompozitin mekanik dayanımından

sorumludur ve dayanıklılığı artırıcı etkisi çoğu kez kompozit içerisindeki hacmi %10' u geçtiğinde gözlenmeye başlar. Kompozitlerin %90 'ı polimerik liflerle takviye edilerek kullanılmaktadır [4].

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

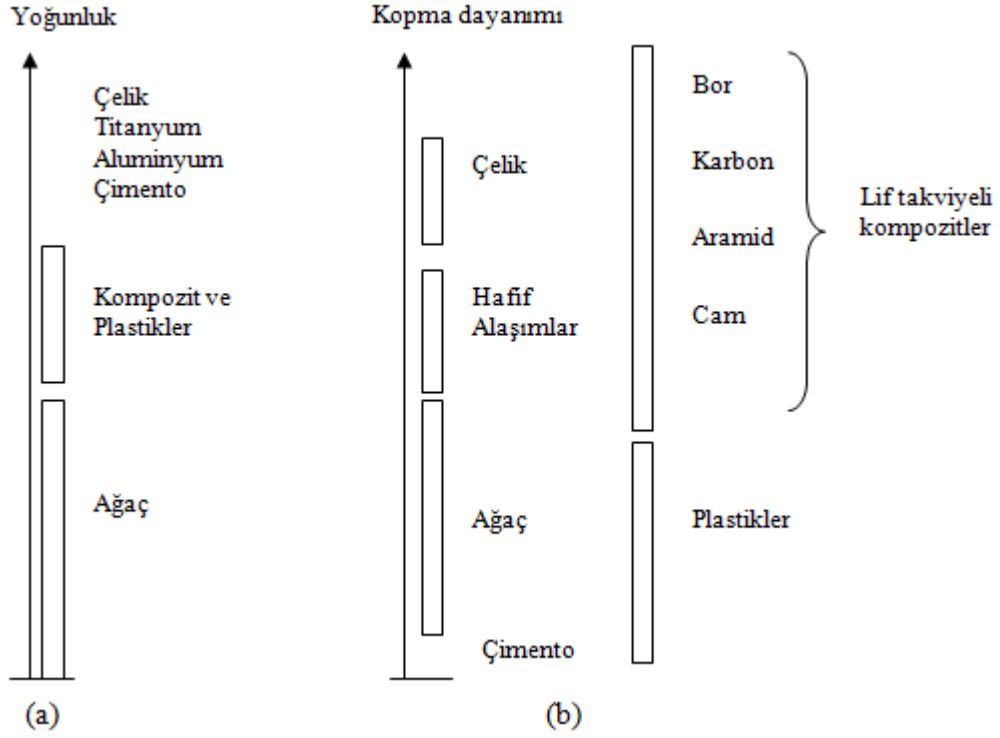
- Cam elyafı,
- Karbon (Graphite) elyafı (PAN -polyacrylonitrile- ve zift kökenli),
- Aramid (Aromatic Polyamid) elyafı (Ticari ismi; Kevlar-DuPont),
- Bor elyafı,
- Oksit elyafı,
- Yüksek yoğunluklu polietilen elyafı,
- Poliamid elyafı,
- Polyester elyafı,
- Doğal organik elyaflardır [7].

Türkiye, sentetik lif endüstrisi, kapasite, kalite ve çeşitlilik açısından oldukça iyi bir konumdadır. Çizelge 3.6 yıllara göre Türkiye yapay lif üretim miktarlarını göstermektedir [4].

Çizelge 3.6 : Yıllara göre Türkiye yapay lif üretimi (ton).

	1995	1996	1997	1998
Lif türü				
Akrilik elyaf	180,000	189,298	205,475	202,936
Poliester iplik	147,436	177,434	197,969	180,241
Poliester elyaf	69,757	74,363	85,038	83,263
Poliamit iplik	52,322	58,819	57,656	61,289

Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), almina, cam ve polietilen gibi malzemelerin kısa veya uzun devamlı elyaf formunda kullanıldığı ve matrisi (yaklaşık % 60 hacim oranında) pekiştirici işlevi olan malzemelerdir [7]. Şekil 3.6'da polimer ve diğer bazı maddelerin kimi özelliklerinin karşılaştırmaları verilmiştir.



Şekil 3.6 : Bazı maddelerin (a) yoğunluk; (b) kopma dayanımı karşılaştırmaları.

Kompozit yapıda lif seçimine etki eden etmenler:

- Hafiflik (özellik ağırlık),
- Mukavemet ve modül (çekme ve basma),
- Yorulma mukavemeti,
- Yorulmadaki kopma mekanizması (malzemenin gevrek ya da sünek olması),
- Elektrik, ısı iletkenliği ve
- Ekonomiklidir [5].

3.4.2.3 Diğer katkı maddeleri

Dolgu maddeleri

Polimerlerin; çekme mukavemeti, darbe mukavemeti, ısı iletim özelliği ve boyut kararlılığı gibi bir çok özelliğini iyileştirmek için, başka malzemelerle takviye edilmektedir. Katkı malzemeleri, takviye malzemesi olabileceği gibi dolgu malzemesi de olabilir. Bu iki kavram arasında net bir ayrım olmaksızın, takviye malzemesi, plastik malzemenin performans özelliklerini iyileştirmek amacı ile ilave edilen malzeme, dolgu malzemesi ise, genellikle plastik malzemenin maliyetini

düşürmek maksatlı ilave edilen malzeme olarak tanımlanmaktadır. Ancak mika, kil veya CaCO_3 gibi mineral dolgu maddeleri, oluşan malzemenin ısıl iletkenliğini arttırır, soğutma sırasında şekil değitirmeleri azaltır ve kalıplama zamanını düşürür. Bununla beraber genellikle dolgu maddeleri, oluşan malzemenin mekanik özelliklerini bilhassa çekme mukavemetini azaltır. Bu azalma dolgu miktarının artışı ile hızlanır. Dolgu malzemesinin iyi sonuç verebilmesi için, mutlaka reçine içerisinde homojen olarak dağılabilmesi gerekir. Bu da dolgu malzemesinin tane büyüklüğünün çok küçük olmasına bağlıdır.

Yumuşatıcılar

Plastiklerin esnekliğini ve plastisitesini arttırmak için kullanılan katkı malzemelerine yumuşatıcı denir. Bunlar üç grupta toplanır; (1) bitkisel yağlar (kurumayan tip) (2) yüksek kaynama noktasına sahip monomer kimyasallar (çözelti olarak) (3) alçak molekül ağırlığına sahip polimer reçineler. Yumuşatıcıların etkisi, molekül zincirleri arasında oluşan bağları zayıflatmak yönündedir. Buna bağlı olarak esnekliği ve plastisitesi artar. Ancak çekme ve kimyasal mukavemeti azalır. Aynı zamanda amorf polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı T_g ve kısmi kristalin polimerlerin kristalinite derecesi azalır. İlave edilen yumuşatıcı miktarına bağlı olarak plastiklerin özellikleri değişebilir. Örneğin yumuşatıcı kullanılmayan PVC rijit bir yapıda bulunurken, çeşitli miktarlarda yumuşatıcı ilave edilerek kısmi rijit ve lastiki bir formda elde edilebilir. En çok kullanılan yumuşatıcı maddeler çeşitli fatalatlardır.

Stabilizatörler

Stabilizatörler, plastiklerin ışık, hava ve diğer çevre faktörlerinin etkisi altında yıpranmalarını önlemek için kullanılan malzemelerdir. Örneğin; aynı anda kuvvetlendirici elyaf olan karbon siyahının, polietilene ilave edilmesiyle malzemenin fotokimyasal yıpranması önlenabilmektedir. Plastiklerin oksidasyonunu önleyen antioksidantlar da bir çeşit stabilizatör sayılır. Bunlar genellikle havadaki oksijen ile reaksiyona girme özelliğine sahip olan fenoller, aromatik aminler, aminofenoller, aldehitler ve ketonlar gibi bileşimlerdir.

Aleve karşı katkılar

Genellikle saf halinde plastikler, poltetrafluoretilen, poliimid, melanin-formaldehid ve yüksek sıcaklığı dayanıklı bazı diğer aromatik polimerler hariç, ateşten etkilenmektedirler. Bununla beraber kendini söndürebilen klorlu polieter, naylon,

polifenilen oksit, polikarbonat, polisülfon ve silikon gibi plastikler de vardır. Plastiklerin ateşe karşı dayanımını arttırmak için antimuan bileşikler, çeşitli fosfor bileşikleri, klorlu fosfatlar, klorlu parafinler ve polifosfanat gibi ilaveler kullanılır. Bunların yanı sıra aliminyum trihidrat, amonium sülfamat, barium metaborat ve çinko borat gibi inorganik bileşikler de kullanılmaktadır.

Katalizör sistemler

Çapraz bağ oluşturmak amacıyla ilave edilen maddeler toz halinde bulunan termoset reçineye veya son şekli vermeden biraz önce üretime katılırlar.

En çok kullanılan katalizör sistemleri;

-Metil etil keton peroksit-kobalt naftanat ve

-Benzoil peroksit-amin'dir.

Renklendiriciler

Plastiklerin renklerini değiştirmek için az miktarda boya ilave edilebilir. Genellikle boyalar stiren monomeri içinde çözünür ve daha sonra reçine ile karıştırılır. Boya miktarı istenilen renk koyuluğuna ve opaklığına bağlıdır. Az miktarda katılırsa (%0.05...0,1) boya ana malzemenin özelliklerini etkilemez ancak miktar artarsa bilhassa mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir [8].

3.4.3 Kompozit malzemelerin bağ yapma davranışı

Kompozit yapıda bağ oluşumu dendiğinde ortaya arabirim kavramı çıkmaktadır. Arabirim, kompozitin özelliklerini oluşturan matriks ve takviye elemanından sonraki üçüncü önemli unsurdur. Arabirimin sahip olduğu bağ kuvveti değeri, kompozitin davranış karakterlerini belirler. Arabirimdeki bağın ya da yapışmanın yüksek olması, kompozitin mukavim ancak katı, zayıf olması kompozitin mukavemet ve katılık yönünden zayıf olduğunu gösterir. Bu bağlanma çekme-sıyırılma testinde kendini kopma ya da sıyırılma şeklinde gösterir. Arabirimde fiziksel kimyasal ve mekaniksel bağların ve takviye elemanının geometrisinin önemi vardır. Arabirimdeki yapışma;

- Yüzeylerin şekillerine,
- Arabirimi meydana getiren malzemelerin yapılarına,
- Temas basınçlarına,
- Yüzeylerde kalan elementlere,

- Yüzeylerdeki fonksiyonel gruplara,
- Kalmış gerilimlere ve
- Çalışma sıcaklığına bağlıdır.

Reçine maddesi, takviye elemanını çok iyi sarabilmeli ve ıslatabilmelidir. Islanma iyi olmazsa, zayıf bir arabirim meydana gelir. Islatılabilirlik gerek şarttır ancak, iyi bir arabirim için yeter şart değildir. Reçinenin ani dökülmesi, takviye elemanının yüzeyinde hava kabarcıkları oluşmasına, zayıf ara bağlara ve zamanla çatlakların oluşumuna neden olur. Arabirimdeki bağ normal koşullarda yeterli sağlamlıkta oluşmuyorsa, bir takım yöntemler kullanılır.

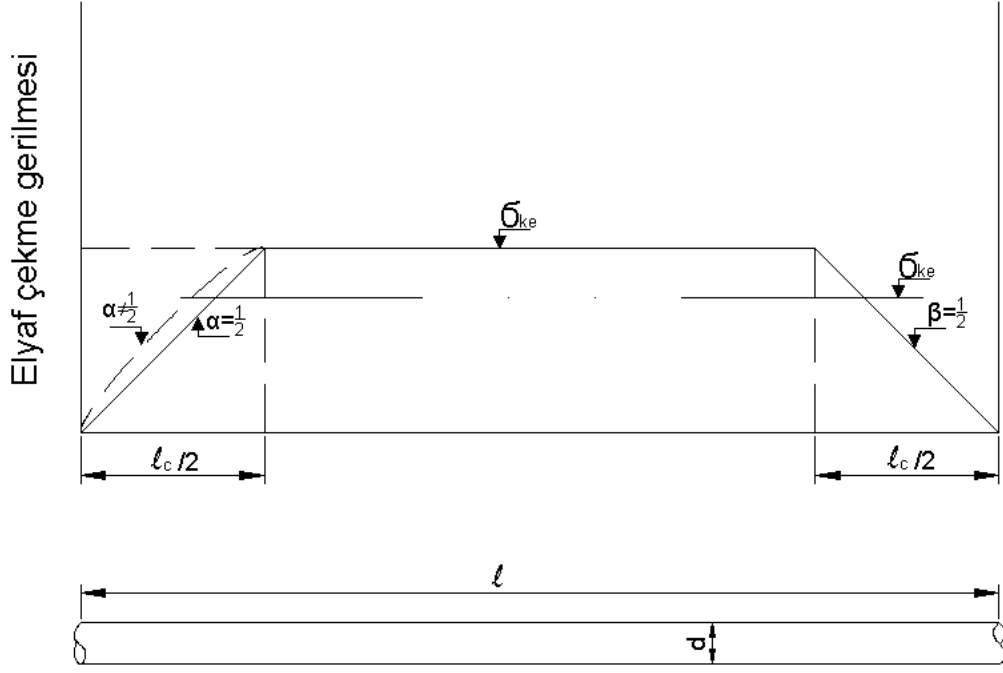
Bunlara birkaç örnek vermek gerekirse;

- Takviye elemanının yüzeyini pürüzlendirerek, sürtünmeyle mekanik bağ arttırılabilir,
- Takviye elemanının yüzeyindeki düşük yüzey enerjisi veren maddeler temizlenebilir,
- Bağ yapıcı özelliği olan ilave maddeler kullanılabilir,
- Kimyasal buhar kullanılarak bağ yapma ve kuvvetli bağ oluşturma yöntemi denenebilir,
- Fiziksel yollar kullanılabilir ve
- Matris modifiye edilebilir [5].

Arabirimi kuvvetlendirmekte kullanılan en geçerli yöntem birleştirme maddeleri kullanmaktır. Kimyasal ajan olarak adlandırılan bu maddeler matris ve takviye elemanına uygun olarak seçilmelidir. Mekanik bağ oluşumu yeterli değildir, çok çabuk ayrılma ve kopmalar meydana gelir. Bu ara malzeme bağ yapma, çekme ve takviye elemanının sürtünüp hasar görmesini önlemek gibi üç görevi yerine getirmesi gerekir [5].

3.4.4 Kısa elyaf ile takviyelendirilmiş polimerlerin teorik analizi

Kısa elyaf elemanın uzunluğu boyunca sürekli bir ortam oluşturmadığı için, her elyafın uçlarında, matris ile elyaf bağları kopmaktadır; dolayısıyla elyafın orta kısmında maksimum değerde gerilme oluşur. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi, bu gerilme elyafın uçlarına doğru azalmaktadır.



Şekil 3.7 : Süreksiz elyafli kompozit malzemede gerilme dayanımı.

Elyafın çekme mukavemeti σ_{ke} , elyafın uzunluğu l ve gerilmelerin azalmaya başladığı uç kısımların uzunluğu l_c ile ifade edilirse, elyafın ortalama gerilmesi (3.1),

$$\sigma_{ke} = \frac{1}{l} \times \int_0^l \sigma_{ke} \times dl \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. İntegrasyon işlemi yapılırsa (3.2),

$$\sigma_{ke} = \sigma_{ke} \left[1 - (1-a) \left(\frac{l_c}{l} \right) \right] \quad (3.2)$$

olarak bulunur. Burada a , $\left(\frac{l_c}{2} \right)$ mesafeye karşılık gelen ortalama gerilme oranıdır.

Kopma mukavemeti denklemine göre (3.3),

$$\sigma_{kk} = \sigma_{ke} \times K_e + \sigma_{km} \times K_m \quad (3.3)$$

şeklinde yazılırsa ve (3.3)'te yerine konulursa (3.4),

$$\sigma_{kk} = \sigma_{ke} \left[1 - (1-a) \left(\frac{l_c}{l} \right) \right] \times K_e + \sigma_{km} \times K_m \quad (3.4)$$

bulunur.

σ_{km} = elyafın kopma gerilmesinde matrisin akma gerilmesini ifade eder.

Elyafın uç kısmındaki gerilmelerin azalması lineer olduğu anlamına gelen $a= 0,5$ değeri kabul edilirse, yukarıdaki denklem (3.5),

$$\sigma_{kk} = \sigma_{ke} \left[1 - 0,5 \times \left(\frac{l_c}{l} \right) \right] \times K_e + \sigma_{km} \times K_m \quad (3.5)$$

olarak elde edilir. Bu denklemden görüldüğü gibi, kısa elyafly kompozitlerin kopma mukavemeti $\left(\frac{l_c}{l} \right)$ oranına bağlıdır ve sürekli elyafly kompozitinkinden her zaman daha düşüktür. Polimer matrisi için genellikle $a \neq 0.5$ 'tir.

Elyaf ile matris arasında bir bağ kurulması için, elyafın uzunluğunun, kritik uzunluk (l_c) denilen belirli bir uzunluktan daha büyük olmması gerekir. Bu uzunluktan daha küçük olursa, elyaf ile matris arasında bağ oluşmaz. Zorlanma sırasında matris elyafın etrafında kayar ve matristen elyafa gerilme transferi yer almaz. Matris içinde bağlı bulunan ve çekmeye zorlanan elyaf için (3.6),

$$F = \left(\pi \times \frac{d^2}{4} \right) \times \sigma_e = \pi \times d \times l \times \tau \quad (3.6)$$

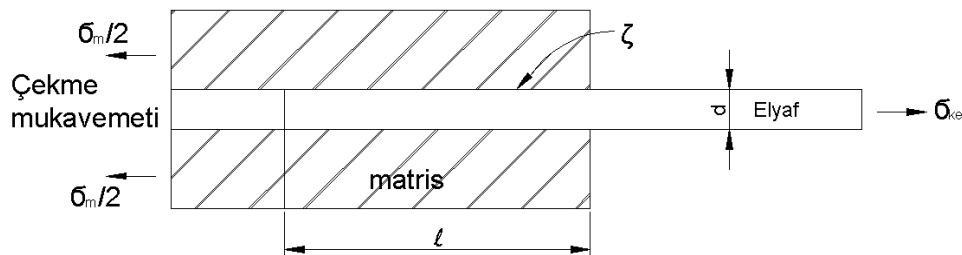
denge denklemini yazılırsa, buradan (3.7),

$$l = \left(\frac{d}{4} \right) \times \left(\frac{\sigma_e}{\tau} \right) \text{ veya } \frac{l}{d} = \left(\frac{\sigma_e}{4 \times \tau} \right) \quad (3.7)$$

elde edilir.

Burada: d = elyafın çapı, σ_e = elyaf çekme gerilmesi (uygulanan çekme gerilmesi), τ = matris ile elyaf arasındaki yüzeysel bağ mukavemetidir ve bu değer, matrisin kayma akma gerilmesi (τ_{AK}) ile tayin edilir. Kopma sırasında σ_e , kopma mukavemeti σ_{ke} değerine ulaşır. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi, kısa elyafın her iki ucu

da serbesttir ve her uçtaki mesafenin değeri $\frac{l_c}{2}$ 'dir.



Şekil 3.8 : Matris-elyaf yüzeysel bağ mukavemeti.

Dolayısıyla (3.7) denkleminde $l = \frac{l_c}{2}$ konulursa elyafın kritik uzunluğu;

$$l_c = \left(\frac{d}{2}\right) \times \left(\frac{\sigma_e}{\tau}\right) \text{ veya } \frac{l_c}{d} = \left(\frac{\sigma_e}{2 \times \tau}\right)$$

olarak bulunur. Genellikle aynı matris için elyafın kopma mukavemeti büyüdükçe, $\frac{l_c}{d}$ oranı artar ve aynı elyaf mukavemeti için, matrisin kayma mukavemeti arttıkça $\frac{l_c}{d}$ oranı azalır [3].

3.4.5 Polimer kompozitlerin üretimi

Kompozitler doğrudan el ile ya da bazı sistem ya da aletler yardımıyla hazırlanırlar. Bu sistemlerden başlıcaları;

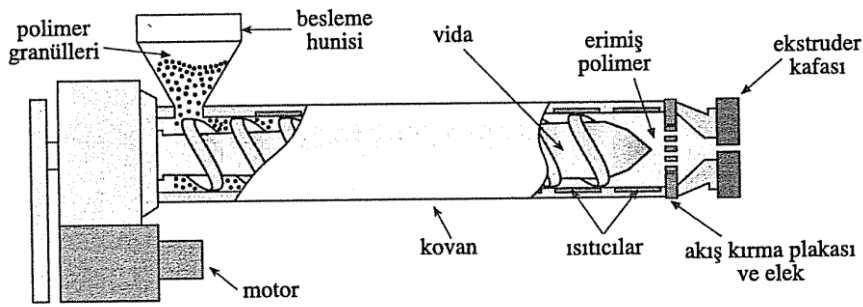
- Elle yatırma,
- Püskürtme,
- Döküm,
- Elyaf sarma,
- Reçine transfer kalıplama (RIM),
- Pultrüzyon,
- Vakumla kalıplama,
- Enjeksiyon kalıplama,
- Yapısal reaksiyon enjeksiyon kalıplama (SRIM),
- Otoklav ve
- Ekstrüzyon'dur.

Kompozit üretiminde kullanılacak yöntem, aynı zamanda takviye malzemesinin matris içinde geometrisini ve dağılımını belirleyen temel faktördür. Örneğin lif takviyeli kompozitlerde; lif yönelmesinin nasıl olacağı, kullanılacak lifin miktarı, lif boylarının dağılımı, kompozit üretim tekniğine bağlıdır.

3.4.5.1 Ekstrüzyon yöntemi

Ekstrüzyon, basınç altında eritilmiş plastik malzemenin bir başlıktan akışa zorlanarak şekillendirilmesi işlemidir. Ekstrüzyon, uzunlukları belli olmayan fakat kesitleri sabit olan levha, film, boru, çubuk gibi yarı mamullerin üretiminde kullanılır. Esasen sürekli bir işlem olan bu yöntemde, genellikle toz veya granül halinde bulunan polimer bir besleme hunisinden sürekli olarak bir ısıtma silindirine düşmekte, burada bulunan bir sonsuz vidanın yardımı ile ileri itilmekte, silindirde ilerledikçe ısınmakta ve yumuşamaktadır. Silindirin ucuna, ulaştığında burada bulunan ve mamulün kesit şeklini tayin eden bir kalıptan geçmeye zorlanmakta, kalıptan çıktıktan sonra düzenli bir şekilde soğutulmakta ve bir konveyör veya süreklilik esasına göre çalışan bir başka sistemle uzaklaştırılmaktadır.

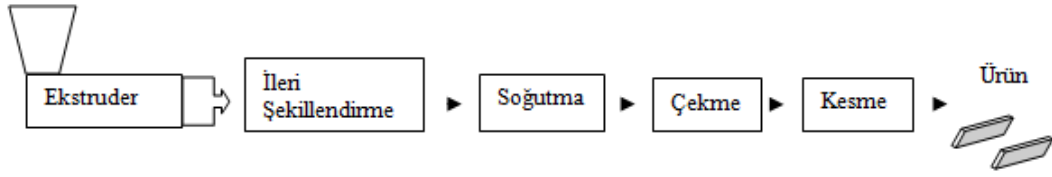
Bir ekstruder; besleme hunisi, sonsuz vida, kovan ve kafa olmak üzere dört ana kısımdan oluşmaktadır. Şekil 3.9'da bir ekstruderin kısımları şematik olarak gösterilmiştir [4].



Şekil 3.9 : Ekstruderin kısımları.

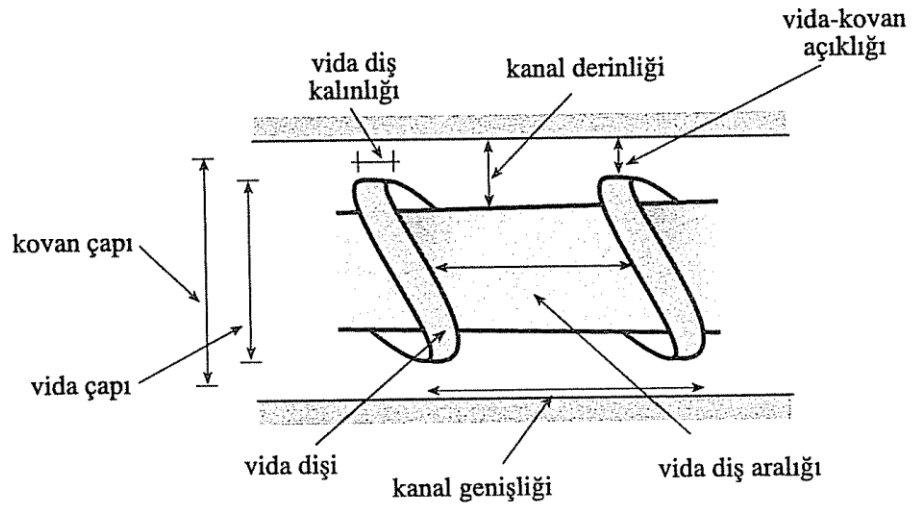
Ekstruderde üretim akışı, polimerin besleme hunisine genelde granül veya toz halinde konulması ile başlar. Bu işlem el ile yapılabileceği gibi otomatik doldurma yapan sistemler de bulunmaktadır. Besleme hunisinden kovan girişine geçen polimer, sonsuz vida yardımı ile kovan boyunca taşınarak kafaya doğru hareket ettirilir. İlerleme sırasında malzeme, gerek silindir cidarından aldığı ısı ile gerekse viskoz akışın meydana getirdiği iç sürtünmeden dolayı ısınmakta ve yumuşamaktadır. Silindir sonunda, basınçları eşleştiren kırma plakası bulunmaktadır. Bu plakadan geçtikten sonra, malzeme kafaya girmekte ve kalıp ağzının kesit alanının şeklini almaktadır. Isıtma genellikle silindirin çevresinde bulunan elektrikli ısıtıcılarla yapılır. Reçinenin yumuşaması, sadece ısı ve iç sürtünmelere dayanan sisteme kuru ekstrüzyon denir. Bunun yanı sıra, yüksek sıcaklıklarda, alevlenme ve yanma

tehlikesi gösteren selüloz nitrat gibi reçinelerde yumuşatma bir çözeltinin yardımı ile yapılır, ıslak ekstrüzyon denilen bu yöntemde reçine daha düşük sıcaklıkta ısıtılır veya hiç ısıtılmaz. Polimer kafa çıkışında yumuşaktır. Bu nedenle çekme sistemi ile sürekli çekilir ve boyutlandırma elemanında geçtikten sonra su dolu kanaldan geçirilerek veya su püskürtülerek soğutulup, katılaştırılır. Çıkan ürünün uygun boyutlarda kesilmesi ile ekstrüderde üretim akışı sonlanmış olur. Şekil 3.10'da ekstrüder boyutlandırma soğutma ve kesme birimlerini kapsayan ekstrüzyon sistemi toplu halde şematize edilmiştir [4].



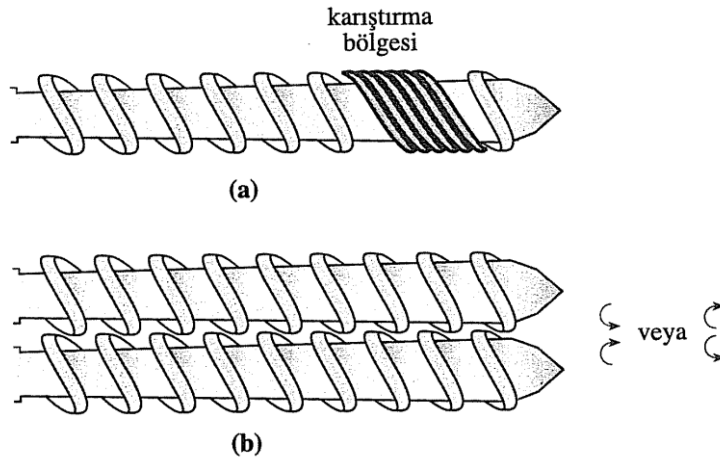
Şekil 3.10 : Ekstrüzyon akış şeması.

Ekstrüzyon makinelerinde sonsuz vidanın çapı (D) uzunluğu (L) , hatvesi, helis açısı, vidanın şekli, makinenin çalışma faktörlerini etkilemektedir. Şekil 3.11'de vida karakteristiklerine yer verilmiştir. Buna göre makinenin hacimsel kapasitesi; vidanın çapı, uzunluğu, vida dişinin yüksekliğine, ısı iletimi; vidanın şekli, hızı ve kalıplama basıncına, kalıplama basıncı; kalıbın konstrüksiyonuna, kırma plakasına vidanın helis açısına, vida dişi yüksekliğine, harcanan güç; malzemenin viskozitesine, kalıplama basıncına, vidanın konstrüksiyonuna ve hızına bağlıdır. Vida çapı ve uzunluğunun etkisi genellikle (L/D) oranı ile ifade edilmektedir. Silindirin boy /çap oranı üretim kapasitesine ve işlenecek plastik malzemenin cinsine göre seçilmektedir [8].



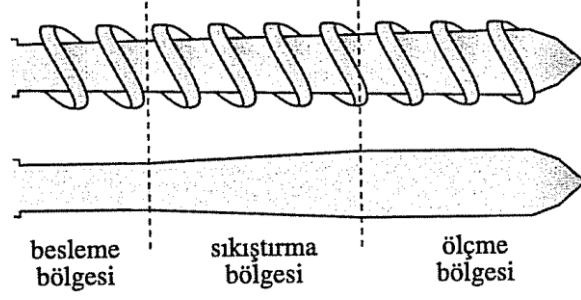
Şekil 3.11 : Vida karakteristikleri.

Termoplastikler için (L/D) oranı genellikle (15/1-35/1) olan ekstruderler kullanılır. Plastiklere katkı maddeleri ilave edilirse, uzun olanlar tercih edilir. Kalıplama basıncını yükseltmek ve daha iyi bir karışım sağlamak için iki veya daha fazla vida kullanılabileceği veya vidaya bir karıştırma bölgesi entegre edilebilmektedir (Şekil 3.12). Termoplastik malzemeler mekanik ve termal özelliklerden dolayı birbirlerinden oldukça farklıdır. Bu nedenle belirli bir malzeme-kalıp ikilisi için en iyi sonuç veren belirli bir vida vardır. Ayrıca aynı malzeme ekstrüzyon silindiri içinde farklı özelliklere sahip hallerde (katı,yumuşak,ergimiş) bulunmaktadır. Bu özellikleri en iyi şekilde karşılamak için vidanın konstrüksiyonu değişik bir şekilde yapılmaktadır.



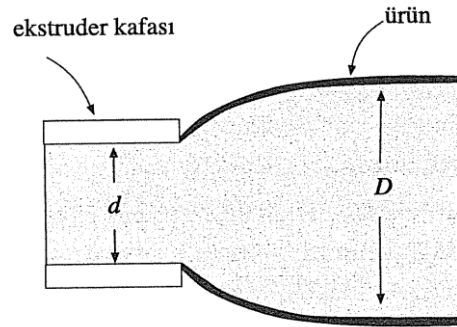
Şekil 3.12 : (a) Vida karıştırma bölgesi, (b) Çift vida ekstruder ve dönüş yönleri.

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere, vidanın besleme, sıkıştırma(geçme) ve ölçme olmak üzere üç bölgesi vardır. Besleme bölgesi granüllerin ön ısıtıldığı ve taşındığı kısımdır. Bu bölgede vidanın diş yüksekliği en büyüktür ve polimer besleme bölgesi boyunca granül ya da toz halini korur. Polimerin erimesi sıkıştırma bölgesine yaklaştıkça başlar. Bu bölgede diş yüksekliği dereceli olarak azalır ve daha sonra diş yüksekliğinin en küçük; basıncın en yüksek olduğu ölçme bölgesine geçilir. Erimiş polimer ölçme bölgesi sonunda kafaya basılır. Ekstruderdeki sonsuz vidanın şekli, kullanılan polimerin türüne veya uygulamaya göre farklılık gösterir. Polietilen için, besleme ve ölçme bölgesinde vida yüksekliği sabittir [4].



Şekil 3.13 : Vida bölgeleri.

Basınç altında kafadan geçmeye zorlanan erimiş polimer, viskoelastik karakteri nedeniyle kovan boyunca üzerine uygulanan gerilimleri, kafadan çıkış esnasında vida eksenine dik doğrultuda yaptığı genişleme ile atar. Kafa şişmesi denen bu olay nedeni ile ekstruderden alınan malzemenin kesiti, kafa ölçüsünden büyüktür (Şekil 3.14). Kafa şişmesini derecesi ürün kesitinin (d), kafa kesitine (D) oranlanması ile belirlenir ve polimer türünden, mol kütlesi dağılımından, sıcaklıktan, akma hızından ve katkı maddelerinde etkilenir. Sayısal değeri etkenler bağlı olarak, 1,5-2,5 arasında değişir [4].



Şekil 3.14 : Kafa şişmesi.

Genellikle termoplastikler için geçerli olan bu yöntem en çok polietilen (PE), polivinil klorür (PVC), akrilonitril bütadien stiren (ABS), stiren akrilonitril (SAN), selülozikler, polistiren (PS) için uygulanır. Polietilen genellikle boru, hortum ve film yapımında kullanılır. Yumuşak ve esnek ürünlerde alçak yoğunluklu polietilen; sert ürünlerde yüksek yoğunluklu polietilen tercih edilir [8].

4. KATI ATIKLARIN EKONOMİK DEĞERLENDİRME UYGULAMALARI

Günümüzde katı atıkların sağlıklı ve ekonomik bir şekilde uzaklaştırılması konusu, geçmiş yıllara nazaran çok daha önemli bir boyut kazanmıştır. Hızlı nüfus artışı, teknolojik gelişme, sanayileşme ve kentleşme sonucu gerek miktar bakımından hızla artan, gerekse içerdiği türler bakımından çeşitlilik gösteren katı atıklar önemli çevre sorunu haline gelmiştir. Katı atık miktar ve türlerindeki bu artış, bir yandan katı atık yönetim maliyetlerini arttırırken diğer yandan da uzaklaştırılması konusunda birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Bu manada kalkınma çabasında olan ve ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan gelişmekte olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir.

Demir, çelik, bakır, kurşun, kağıt, tekstil, plastik, kauçuk, cam gibi maddelerin geri kazanılması ve tekrar kullanılması, tabii kaynaklarımızın tükenmesini önleyeceği gibi ülke ihtiyaçlarını karşılayabilmek için ithal edilen hurda malzemeye ödenen döviz miktarını da azaltacak, kullanılan enerjiden büyük ölçüde tasarruf edilecektir.

En az yukarıda sayılanlar kadar önemli olan diğer bir husus da uzaklaştırılacak katı atık miktarlarındaki büyük azalma ve dolayısıyla çevre kirliliğinin önemli ölçüde önlenmesidir. Özellikle katı atıkları düzenli bir şekilde bertaraf edebilmek için yeterli alan bulunmayan ülkeler için katı atık miktarının ve hacminin azalması büyük bir avantajdır.

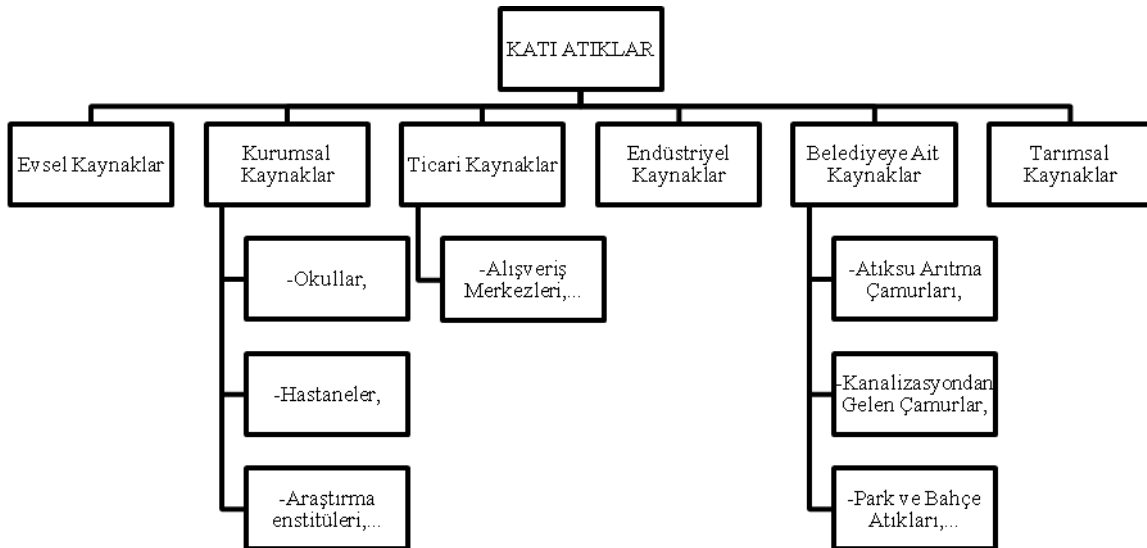
Evsel katı atıklar içindeki geri kazanılabilir atıklar istatistiksel verilere göre, tam bir ayrıştırmaya tabi tutulsa, depolanacak atık hacminde yaklaşık % 35 oranında bir azalma gerçekleştirilebilir. Ağırlık olarak ise evsel atıklarımızın % 12'si geri kazanılabilir atıklardır. Bu da yıllık olarak yaklaşık 3 milyon tona karşılık gelmektedir [9].

4.1 Katı Atık Yönetimi

Sahibinin istemediği ancak ekonomik değeri olan ve toplumun menfaati gereği toplanıp fen ve sanat kurallarına, bilimsel esaslara, mühendislik prensiplerine göre bertaraf edilmesi gereken katı şeylere *katı atık* denir. “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”ne göre *katı atık* ‘Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile, özellikle, çevrenin korunması bakımından düzenli şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamurudur.’ şeklinde tanımlanmaktadır. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı’nın yayınında *katı atık* ‘insanların sosyal ve ekonomik etkinlikleri esnasında veya sonucunda işe yaramaz hale gelen ve akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen her tür madde ve malzeme’ şeklinde tanımlanmaktadır.

Katı atık yönetimi ise; katı atıkların fen ve sanat kaidelerine ve mühendislik kurallarına uygun şekilde toplanmasını, geçici olarak depolanmasını, taşınmasını, geri kazanma, kompostlaştırma, yakma, düzenli depolama ve benzeri işlemlere tabi tutulmasını kapsamaktadır. Bilimsel esaslara ve mühendislik prensiplerine göre işleme tabi tutulmayan katı atıklar çevrede pek çok kirlenme problemine sebebiyet vermektedir. Katı atık yönetiminin amacı bu atıklardan hammadde kaynağı olarak yararlanmayı öğretmek ve özendirmektir [9].

Katı atıkların kaynaklarına göre detaylı sınıflandırılması Şekil 4.1’de gösterilmiştir



Şekil 4.1 : Katı atıkların sınıflandırılması [9].

4.2 Katı Atığın İçeriği ve Miktarı

Katı atıklar heterojen bir yapıya sahip olduğu gibi bileşimi de sürekli değişmektedir. Her ülkenin ürettiği katı atık miktarı ve niteliği birbirinden çok farklıdır. Bunun nedeni sosyo-ekonomik ve mali yapılarının yanı sıra tüketim alışkanlıklarının birbirinden çok farklı olmasıdır. Gelişmiş ülkelerde katı atık birim üretim miktarı 1.5-2 kg/kişi.gün'dür. Bu değer Amerika'da 3.0 kg/kişi.gün'e ulaşırken ülkemizde ortalama 1.0 kg/kişi.gün alınmasının uygun olacağı yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiştir [10].

Genellikle, seneler geçtikçe insanların oluşturduğu katı atık miktarı artmaktadır. Bunun dışında şehirlerin nüfusu ile üretilen katı atık doğru orantılıdır [11]. Çizelge 4.1'de farklı ülkelere ait atık bileşimleri verilmiştir. Hızlı kentleşme, yaşam koşullarındaki değişimlere paralel olarak artan tüketim eğilimleri gibi nedenlerle kişi başına üretilen katı atık miktarlarında sürekli bir artış söz konusudur.

Çizelge 4.1 : Farklı ülkelere ait katı atıkların bileşimi.

Bileşen	Atık Bileşen Miktarı (%)			
	Türkiye	Avrupa	A.B.D.	Ortadoğu
Organikler	20-90	21,3	22,6	62,3
Kağıt ve Mukavva	0,5-15	27,4	45,6	25,3
Plastik	1,5-12	3,1	2,6	5,8
Tekstil	0,3-5	3,9	4,5	1,4
Cam	0,3-5	9,5	6,2	1,0
Metal	0,3-5	8,5	9,1	2,8
Kül	-	19,8	7,6	-
Diğer	-	6,9	1,8	1,4

4.3 Katı Atıkların Geri Dönüşümü

Katı atıklar insanın türlü faaliyetleri sonucunda, günlük yaşam, ticaret, endüstri ve diğer faaliyetleri sonucunda çıkmaktadır. Atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasına *tekrar kullanma* denir. Atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikinci hammadde olarak üretim sürecine sokulmasına *geri kazanım (recovery)* denir. Atıkların kimyasal ve fiziksel işleme tabi tutulmadan ekonomiye kazandırılmasına ise *geri dönüşüm (recycle)* denilmektedir.

İstanbul'da bir günde ortalama 14 bin ton katı atık toplanmaktadır. Değersizmiş gibi gözüken, hiç düşünmeden atılan bu atıklar, aslında ülke ekonomisi için önemli bir ekonomik değerdir. Atık olarak gördüğümüz cam, metal, tekstil ve kağıdın ayrıştırılarak yeniden işlenmesi Türkiye'ye, milyonlarca dolar şeklinde geri dönmektedir. Yani katı atıkların geri kazanımı, hem kaynak israfını önlemekte hem de enerji ihtiyacının karşılanmasına yardım etmektedir.

Türkiye'de yılda yaklaşık bir milyon ton atık geri kazanılmaktadır. Türkiye, bu atıkların geri kazanımı sayesinde her yıl ortalama 300 trilyon lira kazanç elde etmektedir. Bu oran çoğu Avrupa ülkesinden yüksektir. Hatta Türkiye, PET şişe toplama ve değerlendirmede, İsviçre'den sonra dünyada ikinci sırada yer almaktadır [9].

Geri kazanım konusunda öncü kuruluşlardan İSTAÇ, çöplerden oluşan metan gazının elektrik enerjisine; mutfak ve bahçe atıklarından oluşan organik atıkların kompost yani gübre üretimine dönüşmesi konusunda çalışmalar yapmaktadır. Hasdal enerji üretim tesisinde metan gazından enerji üretimi sağlanırken, günlük 700 ton kapasiteli Kemerburgaz Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nde her gün 200 ton kompost elde etmektedir. İSTAÇ'a bağlı tesislerde çöplerin depolama sahasında oluşan gazlar, aktif toplama sistemiyle biraraya getirilmektedir. Bunlar gaz motorlarına gönderilerek yakılmakta, elektrik ve ısı enerjisi üretilmektedir. Depolama alanlarında oluşan çöp gazının atmosferde meydana getirdiği 'sera' yani; atmosferi ısıtma etkisi karbondioksitin yaklaşık 20 katına karşı gelmektedir. Böylece bu sistemle, kontrol dışı oluşan gazların çevreye zarar vermeden bertarafı sağlanıp ve patlama riski azaltılmaktadır. 5,7 milyon katı atıktan kontrol dışı oluşan gazlar, 20 silindirli özel gaz motorlarında yakıt olarak kullanılıp motorlarda ısı enerjine, jeneratörlerde de elektrik enerjisine dönüştürülmektedir [12].

1991'de kurulan Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı (ÇEVKO)'da kullanılmış ambalajların değerlendirilmesi, ekonomik ve kalıcı bir geri dönüşüm sisteminin yerleşmesi için faaliyet göstermektedir. ÇEVKO, bu yıldan itibaren "Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" uyarınca, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın kararı ile, her çeşit ambalaj atığının geri kazanımı konusunda "Yetkilendirilmiş Kuruluş" ünvanını almıştır. ÇEVKO'ya katılan firma sayısının ise 240'ı aştığı ifade edilmektedir [9].

4.3.1 Geri dönüşüm sisteminin temel aşamaları

Katı atığın içindeki geri dönüştürülebilir malzemelerin önemli bir miktarını yiyecek ve içecek ambalajlarında kullanılan metal plastik ve cam atıklar ile kağıt ve karton oluşturmaktadır. Bunun yanında kemik, tekstil parçaları da özel ayırma tesislerinde geri dönüştürülebilmektedir. Geri kazanılabilir katı atıkların değerlendirilmesinde 3 geri kazanım seçeneği bulunmaktadır.

Bunlar;

- Kaynakta ayırma,
- Karışık atıkların transfer istasyonlarında işlenmesi ve
- Karışık atıkların katı atık dolgu alanlarında işlenmesi'dir .

Kaynakta ayırma prosesi geri dönüşümü yapılacak maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmeden kullanılabilmesine imkan sağladığı için diğerlerine göre daha yaygın olarak tercih edilen bir sistemdir [13].

Kaynakta ayırma geri dönüşüm sisteminin 5 temel basamağını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- a) Kaynakta ayırma; Değerlendirilebilir nitelikli atıkları çöple karışmadan oluştukları kaynakta ayırarak biriktirme.
- b) Değerlendirilebilir atıkları ayrı toplama; Bu işlem değerlendirilebilir atıkların çöple karışmadan temiz bir şekilde ayrı toplanmasını sağlar.
- c) Sınıflama; Bu işlem kaynağında ayrı toplanan malzemelerin cam, metal, plastik ve kağıt bazında sınıflara ayrılmasını sağlar.
- d) Değerlendirme; Temiz ayrılmış kullanılmış malzemelerin ekonomiğe geri dönüşüm işlemidir. Bu işlemde malzeme kimyasal ve fiziksel olarak değişime uğrayarak yeni bir malzeme olarak ekonomiye geri döner.
- e) Yeni ürünü ekonomiye kazandırma; Geri dönüştürülen ürünün yeniden kullanıma sunulmasıdır [9].

4.3.2 Geri dönüşümün avantajları

Doğal Kaynakların Korunması

Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklarımızı verimli kullanmak zorundayız. Bu nedenle geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir. Örneğin; kağıdın geri dönüşümü ile ormanlarda ağaçların daha az kesilmesini sağlamış oluruz. Benzer şekilde plastik atıklarının geri dönüşümü ile petrolden tasarruf sağlanabilir.

Enerji Tasarrufu

Geri dönüşüm malzeme üretiminde endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlar. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünde bu metallerin üretimi için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümünden % 96 oranında enerji tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde katı atıklarda ayrılan kağıdın yeniden işleme sokulması için gerekli olan enerji normal işlemler için gerekli olanın % 50'si kadardır. Aynı şekilde cam ve plastik atıkların da geri dönüşümünden önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir. Katı atıkların geri kazanılmasıyla kaynak tasarrufu yanında direkt ve endirekt olarak çevre kirlenmesi azalmaktadır. Çizelge 4.2'de atık maddelerin üretimde tekrar kullanılması suretiyle çeşitli kirlenici unsurlarda meydana gelebilecek azalmalar görülmektedir [14].

Çizelge 4.2 : Bazı atıkların üretiminde tekrar kullanılması halinde çevre kirlenmelerinde meydana gelen endirekt azalmalar (%)

Parametre	Kağıt	Cam	Çelik	Alüminyum
Enerji	27-24	4-32	47-74	90-97
Hava Kirlenmesi	74	20	85	95
Su Kirlenmesi	35	-	76	97
Su Tüketimi	58	50	40	-

Atık Miktarının Azalması

Geri dönüşümün uygulanması ile çöplere giden atık miktarında azalma sağlanarak bu atıkların taşınması ve depolanması işlemleri için daha az miktarda alan ve daha az

enerji kullanılmış olur. Evsel atıklar için bu azalma ağırlık olarak fazla olmamakla birlikte hacimsel olarak bakıldığında oldukça önemli bir oran teşkil etmektedir.

Geleceğe ve Ekonomiye Yatırım

Geri dönüşüm uzun vadede verimli bir ekonomik yatırımdır. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya çıkabilecek ve işte bu noktada geri dönüşüm ekonomi üzerinde olumlu etki yapacaktır; yeni iş imkanları sağlayacak ve gelecek kuşaklara doğal kaynaklardan yararlanma olanağı sağlayacaktır. Tüm bunların ötesinde geri dönüşüm; doğal kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlayacak, gelecek kuşaklara potansiyel kaynakların mümkün olabilen en fazla miktarını bırakabilecek en önemli katı atık yönetim biçimidir.

4.4 Plastik ve Tekstil Sektöründe Geri Dönüşüm

4.4.1 Plastik malzemelerin geri dönüşümü

Plastik, petrokimya sanayinde, petrol esanslı ürün veya yan ürünler ile doğal gazı hammadde olarak kullanıp bunların kimyasal dönüşümleri ile elde edilen önemli madde gruplarından birisidir. Hafif olmalarının yanında; paslanmaz, korozyona uğramaz olmaları, yüksek ısı ve elektrik izolasyonu sağlamaları, kolay hasara uğramamaları, esnek ve yumuşak olmaları ve kolay şekil verilebilme gibi özellikler, plastikleri vazgeçilmez paketleme malzemesi yapmıştır [15].

Plastik ürünlerin; kimyasal yapısı ve kullanım alanları göz önüne alındığında, termoelastik plastikler, termoset plastikler, alaşımlar ve termoplastikler gibi birçok türleri bulunmaktadır. Ayrıca, plastikleri, geri kazanıldığında; eritilerek yeniden işlemeğe elverişli olan termoplastikler ve eritilemeyen termosetler olarak iki ana guruba ayırmak da mümkündür.

Bu türlerin başlıcaları PET (Polietilentetraftalat), PVC (Polivinilklorür), PP (Polipropilen), PS (Polistren) ve PE (Polietilen)'dir. Bu isimler, ambalajların değişik kimyasal yapılarından kaynaklanmaktadır.

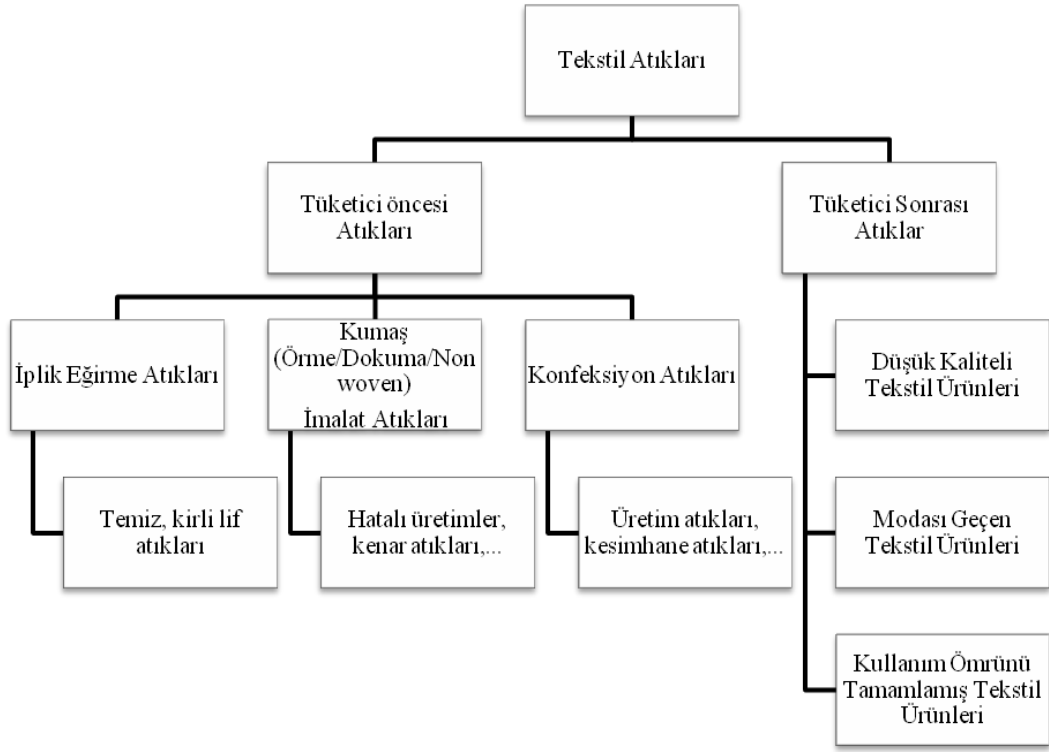
•Polietilen (PE) evlerimizde en çok kullandığımız plastik türüdür. Çamaşır suyu, deterjan ve şampuan şişeleri, motor yağı şişeleri, çöp torbaları gibi birçok kullanım alanı vardır. Geri dönüştürülmüş PE'den deterjan şişeleri, çöp kutuları ve benzeri ürünler üretilebilir.

- Polivinilklorür (PVC) su ve sıvı deterjanların, bazı kimyasal maddelerin, sağlık ve kozmetik ürünlerinin ambalajlarında kullanılır. Kullanılmış PVC ambalajlarından kirli su boruları, marley ve çeşitli dolgu malzemeleri üretilir.
- Polipropilenden (PP) deterjan kutularının kapakları, margarin kapları gibi ambalaj malzemeleri üretilir. Ayrıca dayanıklı olması ve geri dönüştürülebilirliği nedeniyle otomotiv sektöründe de önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Geri dönüştürülmüş PP'den sentetik halı tabanı, çeşitli plastik oyuncak ve kırtasiye malzemeleri üretilir.
- Polistren (PS) evlerden kaynaklanan ambalaj atıkları içerisinde en az rastlanan ambalaj türüdür. Yoğurt ve margarin kaplarında yoğun olarak kullanılan polistrenin geri kazanımı, PE ve PP de olduğu gibi yaygın bir şekilde yapılmaktadır.
- Polietilentetraftalat (PET) genellikle su, meşrubat ve yağ şişelerinin ambalajlanmasında kullanılır. Hafif ve dayanıklı olması nedeniyle kullanım alanı giderek genişlemektedir. Atık PET'ler, sentetik elyaf ve dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir [9].

4.4.2 Tekstil malzemelerinin geri dönüşümü

Tekstil sanayi, imalat sanayi içerisinde yer alan en uzun ve karmaşık endüstriyel zincirlerden birisi olan ve giyim, ev tekstilleri, endüstriyel kullanım olmak üzere üç temel nihai kullanım alanından doğan bir talebe sahip, alt sektörlere parçalanmış heterojen bir sektördür [16].

Dolayısı ile çok sayıda kollara ayrılan tekstil sektöründe meydana gelen atıkların sınıflandırılması da oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Temel olarak, tekstil atıklarını tüketici öncesi atıklar ve tüketici sonrası atıklar olmak üzere iki ana grup altında toplamak mümkündür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Tekstil atıklarının sınıflandırılması.

Tekstille ilgili üretim birimlerinde; parça kumaş, iplik atıkları, şilte (pamuk balyalarında kullanılan kaneviçe), elyaf atığı, pamuk tozu, üstüğü ve kadife tozu gibi endüstriyel katı atıklar oluşmaktadır. Üretim birimleri bu katı atıkların bir kısmını geri dönüşüm için hurdacılara satmakta, bir kısmını da çöpe atmakta veya yakmaktadırlar. Atıkları hurdacılar tarafından toplanıp şekil ve tiplerine veya karışımlarına göre sınıflandırılır. Bazı tekstil atıklarından keçe ve temizlik aracı yapılabilmektedir. Parça kumaş ve üstüğüler büyük oranda geri kazanılırken iplik fabrikası atıkları, özellikle telef yakılmakta veya çöpe atılmaktadır. Kadife tıraş tozunun beyaz olanı tutkal yapımında ve banknotlarda kullanılırken, renkli olanları atılmaktadır.

Tekstil ambalaj, ambalaj sanayinde genel olarak torba, çuval gibi formlarda kullanılmaktadır. Tülbent, file, kaneviçeler de yaygın olarak kullanılan ambalaj malzemeleridir. Tekstil ürünleri; oksijen girişine, su ve karbondioksit çıkışına izin verdiği için özellikle tarım ürünlerinin ambalajında kullanılır. Ayrıca ambalajlamada kullanılan halat, urgan, rafya, sicim, ip gibi malzemeler de tekstil ürünleri arasında yer almaktadır. Geri kazanılmış tekstil ambalajlarından dolgu ve yalıtım malzemesi olarak yararlanılabilmektedir. En büyük tekstil geri dönüşümü olarak artık kumaşı ya da işlenmiş hali olan keçeyi gösterebiliriz.

Naylon, polyester gibi termoplastik lifler içeren tekstil atıkları eritme ve yumuşatma işlemiyle plastik kısım alındıktan sonra geri dönüştürülebilir [17].

Ayrıca, tekstil yan sanayinde kullanılan; düğme, fermuar, çıt çıt, rivet ve cırt bant gibi ürünlerin atıklarının da ayrı ayrı geri kazanım prosesleri vardır.

Tekstil sektöründeki işletmelerde, üretimde yeniden kullanılabilir ya da kullanılamaz, atıkların meydana geliş sebepleri karışık bir sorun olup çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler: işletmelerde hammadde değişkenliği, işletme klima şartları değişkenliği, işletme üretim programına alınan sipariş miktarlarının değişkenliği (sipariş büyüklüğü azaldıkça ve sipariş türü arttıkça atık artış gösterir), yetersiz çalışma programları ve yetersiz kontrollerdir. İşletmelerde atık kontrolü adım adım ele alınmalı ve optimum koşullar sağlanmalı, atık türleri sınıflandırılmalı genellikle aynı özellikleri olan (lif kalitesi, uzunluğu gibi) atıklar bir arada toplatılmalıdır. Aksi takdirde atığın değeri düşecektir. Atık sorununa çözüm getirebilmek için öncelikle çalışanların atık minimizasyonu konusunda eğitilmeleri ve dikkatli davranmaları gerekir [18].

4.4.2.1 Nonwoven sektörü, çıkan atıklar ve bertaraf işlemleri

Türkiye’de 80.000 ton’u spunbond, 60.000 ton’u iğneleme olmak üzere 200.000 ton’un üzerinde bir non-woven üretim kapasitesi bulunmaktadır. Halı ve özel teknik tekstil ürünleri için de 200.000 ton’a yakın bir kapasitenin bulunduğu kabul edilirse, bu gruptaki toplam üretim kapasitesi 400.000 ton civarındadır [19]. Nonwoven malzemeler, tekstil sektörünün birçok alanında kullanılmaktadır. Hammadde, üretim akışı ve tasarımına bağlı olarak farklılıklar gösteren nonwoven malzemelerin geri dönüşümü esnasında da aynı parametrelerin etkili olduğu görülmektedir. Çevre ile uyumluluk söz konusu olduğunda, çevre dostu hammadde kullanımı öngörülmekte ve bu durum üretimde yeni teknolojilerin gelişimini gerekli kılmaktadır. Tüm bu gelişimler, üretim süreci veya uygulama alanları ile ilgilenen girişimcilere, ortaya çıkan atıkların önüne geçebilmeleri veya geri kazandırılabilmesi konusunda büyük bir sorumluluk yüklemektedir.

Nonwoven malzeme üretim kapasitelerinin geniş bir bölümünde hammadde olarak, değerlendirilmiş elyaf kullanımı mümkündür. Almanya’da geri kazandırılmış elyafın %95’i nonwoven üretiminde kullanılmaktadır.

Gelecekte hatırlanması gereken formül, atık ile değerli malzemenin aynı malzeme olduğu ve defalarca yeni ürün üretimi için atıklardan faydalanılabileceğidir.

Diğer tekstil atıkları gibi, nonwoven atıkları da üretim aşaması kaynaklı atıklar veya kullanılmış ürünler şeklindeki atıklar olarak ikiye ayrılabilir.

Nonwoven malzemelerin üretim atıkları

Nonwoven üretim atıklarının değerlendirilmesi problemi birçok alanda çoktan çözüme ulaşmıştır. Üretimde kenar atıkları, ikinci kaliteye ayrılmış ürünler ve üreticiden dönen ürünler, tekrardan aynı ürün üretim işlemlerinde veya uygun bir başka şekilde değerlendirilebilmektedir. Mekanik sabitleştirme yönteminin yanı sıra kullanılan birçok yöntem, nonwoven atıklarının mekanik parçalama yöntemi ile geri kazandırılabilirdiği duruma kısıtlama getirmektedir. Örneğin, hem tekstil, hem de plastik içerikli kompozit malzemelerin atıkları geleneksel yöntemlerle geri kazanıma uygun değildir. Bu ürünler için, üretim aşamasına bağlı bir çözüm yöntemi geliştirilmelidir.

Üretim atığını olabildiğince az tutmak, bir miktarda üreticiye bağlıdır. Teknik ve teknolojik açıdan alınabilecek ölçütler şu şekildedir [20].

- Üretimdeki malzemenin en iyi şekilde yaralanabilmesi için, uygun teçhizat kurulumu optimizasyonu,
- Uygun malzeme ve teknoloji seçimi sayesinde geri dönüşüme yönelik, malzeme optimizasyonu ve
- Uygun kenar kesim zamanlaması, kalite veya parti değişimi söz konusu olduğunda uygun işlem akışı kontrolü gibi üretim teknolojisi optimizasyonu.

Kullanılmış nonwoven ürünler şeklindeki atıklar

Nonwoven malzemeler kısa ve uzun ömürlü olarak ayrılabilirler gibi, nonwoven malzeme atıkları da aynı sınıflandırmaya tabi tutulurlar.

Günümüzdeki üretimler göz önüne alındığında kısa zamanlı kullanıma sahip nonwoven malzemelerin geri dönüştürülmesi çok gerekli görülmemektedir çünkü üreticiler bu ürünleri biyolojik olarak parçalanabilen şekilde üretmeye çalışmaktadır. Böylece bu ürünler atıldıktan sonra bakteriler tarafından kolaylıkla ayrıştırılabilmektedir. Tek kullanımlık nonwoven malzemelerin katı atık sahasında kapladıkları toplam hacim tüm hacmin %2 sini geçmemektedir. Çoğu zaman yakarak küleleştirme işlemi bu duruma çözüm olarak görülmektedir.

Uzun kullanım süresine sahip nonwoven malzemeler, karakteristikleri ve kullanım halinde kısmen veya tamamen kaybolan fonksiyonellikleri doğrultusunda geri kazanım esnasında çok çeşitli gereksinimler doğurmaktadır.

Gelecekte satıcıların bu kullanılmış ürün atıklarını geri alması beklenmektedir. Almanya'da otomotiv sektöründe bu uygulama gerçekleştirilmektedir.

Bu durum geri kazanımı kullanan tasarımların da gelişimine yol açmaktadır ve tekstil endüstrisi de bu sonuçlardan etkilenecektir. Kullanılmış nonwoven ürünlerin geri kazanımı, şimdiye dek pek de önem teşkil eden bir sorun olarak karşımıza çıkmasa da, gelecek için daha dikkat çekici hale bürüneceği aşikârdır [20].

Nonwoven atıklarının geri kazanım yöntemleri

- Mekanik işlemlerle liflerin geri kazanımı

Kimyasal ve doğal lif karışımlarından veya saf doğal elyaftan mekanik işlemlerle üretilmiş nonwoven malzemeler, mekanik açma yöntemleri ile lif haline dönüştürülebilmektedirler. Bu değerlendirilmiş lifler, hem çok yaygın kullanıma sahiplerdir, hem de ekonomiktirler. Liflerin kimi fiziksel özellikleri zarar görmüş olsa da, lifteki fonksiyonel bileşen olan fibrilli yapı muhafaza edilebilmektedir. Bu yöntem hem üretim atıkları, hem de kullanılmış ürün atıkları için uygundur. Ancak tekstil dışı malzemelerden kaynaklı safsızlıklar, liflerin geri kazanımı olumsuz yönde etkilemektedir [20].

- Tekrar granül haline getirme

Bu yöntemde yalnızca üretim atıkları geri kazanılabilmektedir. PE, PP, PET ve PA gibi tüm termoplastik nonwoven hammaddeleri granülleştirilebilir. Aynı zamanda lif üretimi de yapılabilir. Granül ile çalışmada etkili parametreler, eriyik viskozitesi, hacimsel viskozite ve akış özellikleridir. Bu granüllerle yeni ürün eldesi ancak düşük kalite istendiğinde iyi sonuç vermektedir [20].

- Tekstil cipsi üretimi ve uygulamaları

Nonwoven atıkları, tekstil cipslerine dönüştürülebilir. Bu işlem keserek, öğüterek veya dilimleyerek yapılabilir. En çok tercih edilen yöntem, üretim esnasında olduğu yerde, malzeme kenarlarından elde edilen tekstil cipsleridir. Ayrıca, ısı ile sabitleştirilmiş nonwoven kenarları veya kalıp bölümler için üretilmiş nonwoven

kenarları veya kaplanmış nonwoven kenarları bu amaç için oldukça uygun malzemelerdir.

Tekstil cipsleri aynı zamanda betona yardımcı madde olarak da eklenebilir. Tekstil lif yüzeyinin modifikasyonu ile nonwoven yüzey ile çimentonun uyumluluğu geliştirilebilmektedir. Tekstil takviyeli beton birçok alanda tercih edilebilir. Referans

- Nonwoven atıklarının halat yapımında değerlendirilmesi

Malzeme atığı veya malzeme kenarlarından oluşmuş nonwoven atıklarından çok büyük oranda kayış ve halat üretimi yapılabilmektedir.

Halat üretimi makinesinde, üretim aşamasında, şerit vb. formdaki atıklar, üretilecek ürünün çekirdek kısmını oluşturur. Dış kısım ise uygun polimer ile kaplanır. Nonwoven malzemenin sıvı absorpsiyon değeri, kırışıklık geri toplama değeri ve mukavemeti üretime etki eden parametreler olup, bu özelliklerin değişimi ile oldukça farklı fonksiyonelliğe sahip, çapı 130mm'ye varabilen ve özellikle tarım ve inşaat endüstrisinde tercih edilen halatlar üretilmektedir.

Farklı kombinasyonlarla, drenaj halatları, fitiller veya sensör kablolar da üretmek mümkündür.

Modifiye edilmiş halat üretimi makinesinde floklama akışında, lif, granül ve cipsler devamlı olarak halat haline beslenirler. Bu yöntem birçok nonwoven atık tipi için uygundur. Bir sonraki aşama ise, halat yapısındaki malzemelerden mat üretimidir. Isı yalıtım malzemeleri için tercih edilmektedir [20].

Nonwoven atıklarının tekrar kullanımı

Tekrar kullanım, malzemenin hiçbir işleme tabi tutmadan veya küçük çaplı modifikasyonlarla yeni bir kullanım alanına kazandırılması demektir. Temel düşünce yıpranmış ürünün hala var olan fonksiyonelliğinden faydalanmaktır. Geotekstiller atıkların tekrar kullanımı için uygun önemli son kullanım alanlarıdır. Asfalt destekleme ve katı atık sahalarına mineral sızdırmalık amaçlı kullanılan malzemelerde geri kazandırılmış nonwoven atıkları tercih edilmektedir [20].

5. MEVCUT ÇALIŞMALAR

Doğal lif katkılı polimer matrisler üzerine yapılan bir çalışmada, tüketici atıklarından geri kazandırılmış polipropilen matris, jüt lifi atığı ile takviyelendirilmiştir. Ağırlıkça %2 ve %6 oranında katkı maddesi ilave edilmiş, polar olmayan PP ile polar jüt lif yüzeyleri arasında adhezyonun artırılması hedeflenmiştir. Üretim metodu olarak baskı ile kalıplama yöntemi kullanılmış, üretilen kompozitin, eğilme özellikleri, su absorpsiyon değerleri ve ısı stabilitesi test edilmiş, SEM ile yüzey morfolojisi incelenmiştir. Sonuçlara göre; eğilme mukavemeti ve eğilme katsayısı %2'lik katkı oranına sahip malzemede, işlenmemiş malzemeye göre düşüş göstermesine rağmen, %6'lık katkı malzemesi ilave edilen numunede bu özelliklerin hiç işlem görmemiş malzemeye oranla daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. Isıl stabilitenin her iki orana sahip, işlem görmüş numunelerde, işlem görmemiş numunelere göre daha iyi olduğu görülmüştür. Yüzey morfolojileri incelendiğinde, işlem görmemiş malzemede, lif ve matris arası bağ oluşumu görülmediği gözlenmiştir. Katkı maddesi ilavesi ile bağ oluşumu sağlanabilmekte bu da kompozit malzemenin birçok özelliğini geliştirmektedir. Test sonuçlarında %2'lik katkı oranının jüt liflerinin tamamen ıslatamaması böylelikle de, yeterli oranda yüzey adhezyonunu sağlayamaması sonucu, özelliklerde düşüş gözlenmiş, ancak katkı oranı artırılarak bu durum iyileştirilmiştir. Bunun yanı sıra, yüzey işleminin, malzemenin su absorpsiyon özelliğini düşürdüğü görülmektedir. Bu durum, hidrofilik lifteki hidroksil grupların katkı malzemesinin polar yapısı ile; matrisin polar olmayan yapısının katkı malzemesinin polar olmayan yapısı ile etkileşime girmesi sonucu, serbest hidroksil gruplarının azalması ve böylelikle, ortamdaki neme karşı ilgisinin azalması ile açıklanabilmektedir. Özetle, yeterli katkı maddesi ilavesi ile, düşük su absorpsiyon özelliğine, yüksek eğilme dayanımı ve ısıl özelliklere sahip, çevre dostu ve düşük maliyetli kompozit malzeme üretimi mümkün kılınmıştır [21].

Doğal lif takviyeli kompozit malzemeler üzerine yapılmış bir başka çalışmada, kimyasal işlemin ve lif takviye oranının, kompozitin su absorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kompozit bileşenlerinden matris olarak, düşük

yoğunluklu polietilen (DYPE); takviye elemanı olarak ise; ananas lifi kullanılmıştır. Kullanılan lif çapı 50-150 µm'dir. Üretim yöntemi olarak, enjeksiyon kalıplama yöntemi seçilmiştir. Elyaf, etkileri incelenmek üzere; silane, peroksit ve alkali gibi çeşitli kimyasallar ile muamele edilmiş, ardından DYPE ile karıştırılarak, 125°C'de kalıplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, polar olmayan yapıdaki DYPE, polar yapıdaki lif ile desteklendiğinde, oluşan kompozitin su absorpsiyon kapasitesinin belirlenmesinde, lifin takviye oranının etkin rol oynadığı gözlenmiştir. Hidrofilik özellikteki, selülozik lif takviye oranı arttıkça, kompozitin su absorplama oranı da artmaktadır. Bunun yanı sıra, lifin hidrofilik özelliği, kimyasal ile muamelesi sonucu azalmaktadır. Selülozik lifteki hidroksil grupları, yüzey adhezyonunu arttırmak için kullanılan kimyasalın fonksiyonel grupları ile reaksiyona girer ve bu sayede de polimer matris ile bağ yapar, bu durum, hidroksil grubun, su molekülleri ile bağ yapma olasılığını azaltır. Test sonuçları da işlem görmüş kompozitin işlem görmemiş kompozite göre daha düşük su absorpsiyon oranına sahip olduğunu destekler niteliktedir [22].

Bir diğer çalışmada, takviye malzemesi olarak pamuk lifi atığı, matris malzemesi olarak da polipropilen nonwoven atıkları kullanılmıştır. Kullanılan nonwoven atıkların erime noktası pamuğun bozunma sıcaklığının altında yer almaktadır. Üretim metodu olarak, enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Nonwoven atıkları küçük parçalar halinde kesilmiş ve belirli oranlardaki pamuk atığı ile birlikte, granüleştirmeden, doğrudan enjeksiyon kalıplama makinesine beslenmiştir. Katkı maddesi ilave edilmiştir. Kalıplama sıcaklığı, nonwoven atıkların (PP'nin) erime sıcaklığı esas alınarak ayarlanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, kopma mukavemeti ve modülü değerlerinin artan takviye oranı ile arttığı görülmektedir. Bu gelişim, katkı maddesi ilavesi ile iyileştirilmiş lif dispersiyonu ve yüzey adhezyon kuvveti ile açıklanmaktadır. Çalışmanın devamında, üretilen plakalar eritilerek tekrar kalıplama işlemine sokulmuştur. İkinci kalıplama işleminde, malzemenin ilk kopma mukavemeti ve modülü değerlerine kıyasla, artış gözlenmiştir. Bu da tekrar kalıplama ile artan lif dispersiyonunun beklenen bir sonucu olarak açıklanabilmektedir [23].

Benzer içerikli bir diğer araştırma, atık lif takviyeli kompozit panel tasarımı üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada, takviye malzemeleri, çapları 125-150µm arası değişen sisal lifi atıkları, tarak işlemi atıkları, %95 pamuk içerikli kot kumaş atıkları ve

içeriği bilinmeyen karışık lif atıkları olmak üzere, dört farklı grup altında toplanmıştır. Matris malzemesi olarak, termoset reçine seçilmiş, atıklar ile reçine kinetik mikserde karıştırıldıktan sonra, hidrolik preste basılmıştır. Üretilen kompozit panellerin boyutları, 500x500mm olup, kalınlığı 5-17mm arasında değişmektedir. Üretim sıcaklığı 130 °C'dır. Reçine oranı, her bir takviye elemanı grubu için, %10, %12.5, %15 ve %20 arasında değişmektedir. Test sonuçları değerlendirildiğinde, kopma ve eğilme mukavemeti ve su absorpsiyon özelliği üzerinde kompozitin yoğunluğunun etkili olduğu gözlenmiş, bu nedenle de, birim yoğunluk başına düşen değerler, oran bazında, hesaplanmıştır. Yapılan testlerler aşağıdaki sonuçları içermektedir. %10 reçine oranında en yüksek kalınlık ve en yüksek yoğunluk değerleri elde edilmiştir. %12.5, %15 ve %20'lik oranlarda birbirine yakın kalınlık ve yoğunluk değerleri görülmüştür. %10 reçine oranına sahip, karışım lif atıkları ile desteklenmiş malzeme en yüksek kopma mukavemeti/yoğunluk oranına sahiptir. Bunun yanında %15'lik karışım atık takviyeli kompozit en düşük kopma mukavemeti/yoğunluk oranına sahiptir. %12,5 ve %15 reçine oranına sahip sisal atığı takviyeli kompozitler, en yüksek eğilme mukavemeti/yoğunluk oranına sahiptir. Kot ve tarak atığı takviyeli kompozitler benzer eğilme rijitliği gösterirken, karışım lifleri ile desteklenen kompozitler en düşük eğilme rijitliği sonucunu vermiştir. Karışım lif atığı takviyeli %15 oranında reçineye sahip kompozitlerin su absorpsiyonu/yoğunluk oranı en yüksek iken, %10 oranındaki aynı numunede en düşüktür. Veriler incelendiğinde, kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde çok net sonuçlara ulaşılamamıştır. İyileştirme adına, hidrolik pres çalışma şartlarının incelenmesi önerilmiştir [24].

Yine bir başka atık takviyeli kompozit konulu araştırmada, nonwoven ameliyat önlüğü üretim atığı takviyeli polimer matrisin mekanik özellikleri incelenmiştir. Ameliyat önlüğü, polyester ve pamuk karışımı olup, matris olarak seçilen polimer, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)'dir. Yüzey adhezyonunu arttırmak için, atıklar, asidik işleme (Sodyum hidroksit(NaOH) : Maleikanhidrat(MA) = 2.2:1) tabi tutulmuştur. YYPE matris, NaOH:MA ile işlem görmüş ve işlem görmemiş nonwoven üretim atıkları ile %5, 10, 15 ve 20 oranlarında takviyelendirilmiştir. Üretim metodu olarak, baskı ile kalıplama yöntemi kullanılmış, üretilen malzemeye, kopma mukavemeti, kopma uzaması, eğilme mukavemeti, eğilme katsayısı ve darbe mukavemeti testleri uygulanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, işlem görmüş

YYPE'nin, işlem görmemiş YYPE'ye göre daha yüksek darbe dayanımı gösterdiği görülmektedir. Ayrıca artan takviye oranı ile darbe dayanımının arttığı gözlenmiştir. Kopma mukavemetleri işlem görmüş ve işlem görmemiş YYPE'lerde benzer sonuçlar verirken, takviye oranındaki artış; kopma mukavemetinde düşüşe neden olmuştur. Bu durum, matris içerisinde, sadece kumaş içeren bölgelerin kopma dayanımının, diğer bölgelerin kopma dayanımına oranla oldukça düşük değerlerde seyretmesinden kaynaklanmaktadır. İşlem görmüş ve işlem görmemiş YYPE'lerin eğilme özellikleri yine birbirine yakın değerlerde olup, artan takviye oranının malzemelerin sünekliğini arttırdığı görülmektedir. Özetle, asidik muamelenin, lif-matris bileşenleri arasındaki adhezyon kuvvetinin arttırdığı gözlenmiştir. İşlem görmemiş YYPE'nin birçok mekanik özelliği, işlem görmüş YYPE'ye göre daha düşüktür ve bu da iyileştirilmiş adhezyon kuvvetini destekler niteliktedir [25].

Bir diğer çalışmada, nonwoven kenar atıkları kullanılarak ses emici kompozit malzeme tasarlanmıştır. Bu çalışmada, hızla artan nonwoven üretim süreci sonucu artmakta olan nonwoven atıklarının değerlendirilmesi ve akustik özellikleri geliştirilmiş fonksiyonel bir kompozit malzeme üretimi amaçlanmaktadır. Takviye malzemesi olarak kullanılan PET nonwoven kenarları, iğneleme metodu ile sabitlenmiş, 700g/m^2 gramajda olup, erime sıcaklığı 110 C dir. Polipropilen nonwoven kenarları ise, eriyikten püskürtme yöntemi ile üretilmiş, 30g/m^2 gramajda olup, erime sıcaklığı $162,3\text{ C}$ dir. Hem polipropilen(PP) hem de polyester(PET) içerikli nonwoven malzemenin üretimde çıkan kenar atıkları önce parçalanmış, sonra 1:1 oranında mikserde karıştırılmıştır. Üretim metodu olarak, baskı kalıplama yöntemi seçilmiştir. İçerisine dolgu malzemesi olarak, talaş ilave edilmiştir ve üretilen malzemenin ses absorpsiyon katsayısı, empedans tüpü ile ölçülmüştür. Yüksek frekanslı ses dalgalarında, özellikle 2000Hz. ' in üzeri için, erimeden matris içinde bulunan PET lif veya parçacıklarının oluşturduğu gözenekli yapının, çok iyi performans gösterdiği görülmektedir. Düşük ve orta frekans değerlerinde ise, kalınlıktaki artış ile ses absorpsiyon özelliği iyileşirken, artan kompozit yoğunluğu ile kötüleşmektedir. Bu durum artan yoğunluk ile düşen gözeneklilik ve bunun sonucunda oluşan sıkı yapı karşısında sesin emilmek yerine yansıtılması ile açıklanmaktadır. Ayrıca, talaş ilavesinin ses absorpsiyon verimliliği üzerinde etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır [26].

Yapılan bir başka çalışmada, saf ve geri dönüşümlü DYPE/PP karışımların mekanik özellikleri incelenmiştir. Düşük mekanik özellikleri doğrultusunda, geri kazandırılmış DYPE atıklarının kullanım alanları, çöp poşetleri ile sınırlıdır. DYPE atıklarından üretilen yeni ürünlerin mekanik dayanımları, içerisine katılan farklı malzemelerle geliştirilebilmektedir. Bu çalışmada, DYPE, ağırlıkça %0 ile %30 oranında PP ile takviye edilmiştir. Böylelikle Young modülü ve kopma mukavemetinde artış, kopma uzaması ve darbe dayanımında düşüş gözlenmiştir. DYPE daha rijit bir yapı olmuş, ancak daha kırılabilir hale gelmiştir. Ayrıca, PP'in DYPE içerisinde heterojen dağılımı olduğu gözlenmiştir. Oluşan kompozit iki fazlıdır. Bu durum yüzeyler arası zayıf bağ kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada saf DYPE ve PP karışımı ile tarımda ve bahçecilikte kullanılan torbalardan, gübre poşetlerinden geri kazandırılmış DYPE ve PP kullanılmıştır. Polimerlerin ağırlıkça karışım oranları PP/DYPE = 10/90 şeklindedir. Ayrıca çalışmada, birçok katkı maddesinin, kopolimerin yüzey adhezyonu üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında % 5'lik katkı maddesi eklenmiş ve çift vidalı ekstruderde üretilmiş karışımın kopma uzamasının %40 oranında arttırılabileceği görülmektedir. Benzer şekilde asılı kopolimer ilavesi ile darbe dayanımı etkin bir şekilde artış göstermektedir. Üretim metodu olarak, tek vidalı ve çift vidalı ekstruder seçilmiştir. Tek vidalı ekstruderde uzunluk/çap (l/d) oranı 35, vida hızı 35 tur/dak.'dır. Çift vidalı ekstruderde uzunluk/çap (l/d) oranı 32, vida hızı 45-50 tur/dak.'dır. Extruder çıkışı malzeme hidrolik baskıda 200 bar altında kalıplanır. Tek ve çift vidalı ekstruder için sıcaklık profilleri Çizelge 1. de gösterildiği gibidir [27].

Çizelge 5.1 : Tek vidalı ekstruderde profil sıcaklıkları

Bölüm no	1	2	3	4	5	6	7	8
Fonksiyon	Besleme	Erime	Basınç	Buharsızlaştırma	Basınç	Filtreleme	Düze	Malzeme
T (°C)	170	180	190	200	200	200	200	205

Test sonuçları kullanılan üretim metoduna göre değerlendirildiğinde, çift vidalı ekstruder ile üretilmiş malzemelerin tek vidalı ekstruder ile üretilen malzemelere kıyasla daha yüksek kopma mukavemeti, kopma uzaması değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, çift vidalı ekstruderin kesme ve karıştırma bölgelerine sahip olması ve bunu destekler nitelikte üretilen malzemenin daha homojen olmasıdır [27].

Bir diğerk çalışmada tekstil atıklarının geri kazanımı amacı ile atık kumaşların takviye malzemesi olarak kullanıldığı polimer matrisli kompozit yapılar elde edilmeye çalışılmıştır. Takviye malzemesi olarak ikisi %100 polyester ve diğeri %100 pamuk hammaddeli üç farklı bezayağı (düz) dokuma kumaş, matris malzemesi olarak ise doymamış polyester reçine kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak kullanılan kumaşlar tek yönlü ve sürekli veya küçük boyutlarda ve gelişigüzel olarak oriyente edilmiştir. Kompozit malzemeler baskı kalıplama yöntemi ile üretilmiştir. Plakalar şeklinde elde edilen numunelerin darbe ve çekme deneyleri yapılmış ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler saf reçine değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu yöndedir: Takviye malzemesi olarak kullanılan kumaşların atkı ve çözgü yönlerindeki dayanımları farklıdır. Bu kumaşlarla takviyelendirilen kompozit malzemelerde de benzer şekilde yöne bağlı davranış görülmektedir. Kompozit malzemedeki anizotropinin, kumaştaki anizotropiye bağlı olarak arttığı düşünülmektedir. Sürekli kumaş takviyesiyle oluşturulan kompozit plakaların darbe ve çekme özellikleri incelendiğinde, saf reçineye göre hem kırılma enerjisi, hem de çekme dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Atık kumaşlardan üretilen plakalardan elde edilen çekme dayanım değerleri saf reçineye göre daha düşük değerler vermiştir. Bu durumun oluşmasındaki en önemli sebeplerden ikisinin malzemenin gelişigüzel oryantasyondan dolayı düzensiz bir iç yapıya sahip olması ve yüksek hava boşlukları içermesi olduğu düşünülmektedir. Çekme sonuçlarına bakıldığında kompozit plakaların daha yüksek uzama değerleriyle saf reçineye göre daha sünek davranış gösterdiği görülmektedir [28].

Tekstil atıklarının değerlendirilmesi ve kırılğan yapılı doymamış polyester reçinenin termoplastik PET lifleri ile takviyelendirilmesi amaçlanan başka bir çalışmada, takviye malzemesi olarak, %100 PET olan kumaş atıkları kullanılmış olup atık boyutunun ve karışım oranının, kompozit malzemenin darbe dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın sonuçları, yalnız reçine ile üretilen malzeme ile karşılaştırıldığında, kompozit malzemenin darbe dayanımının, PET kumaş takviyesi ile geliştiğini göstermektedir. En yüksek darbe dayanımı değerleri atığın devamlı ve sistematik olarak yönlendirilmesi ile elde edilmiştir [29].

Bezayağı dokuma kumaş atığı takviyeli PET kompozitler için sonlu elemanlar modelinin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin analizi konulu çalışma ise 3 basamaktan oluşmaktadır. İlk aşamada, baskı kalıplama yöntemi ile iki farklı PET kumaş takviyeli PET kompozitler, iki farklı takviye oranında (%23 ve %19) üretilmiştir. Sonrasında üretilen numuneler çekme testine tabi tutulmuş; lif oryantasyonu ve takviye oranının etkileri incelenmiştir. Test sonuçları, her iki takviye oranına sahip numunelerin de atkı yönünde daha iyi mekanik özelliklere sahip olduklarını göstermiştir. Ayrıca karışım oranı arttıkça, mekanik özelliklerin daha da iyileştiği sonucuna varılmıştır. Son olarak da birim hücre modeli geliştirilmiş ve ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile takviye malzemesinin ve lif oryantasyonunun karışım oranına göre etkinliği irdelenmiştir. Sonuçlar, deneysel test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar verilerinin farklılık gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni, matris içinde oluşan boşluklu yapı, ve kötü lif matris etkileşimidir. Takviye oranı arttıkça, takviyenin etkinliği artmış, ayrıca çözgü yönünde de daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [30].

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1 Malzeme

6.1.1 Termoplastik matris

Çalışmada poliolefin grubu altında düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) ve polipropilen (PP) matrisler kullanılmıştır. Polimerler granül halinde PETKİM'den temin edilmiştir. Şekil 6.1'de kullanılan matris polimerleri görülmektedir [31]. Kullanılan polimerlere ait özellikler Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 : Polimerler

Çizelge 6.1 : Matris olarak kullanılan DYPE'ye ait özellikler

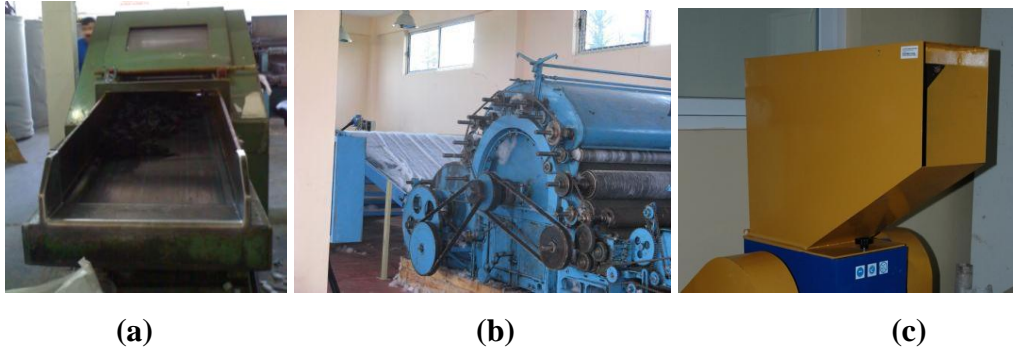
Özellikler	Standart	DYPE (Ticari ad:G 03-5)
Erime akış hızı 190°/260g [g/10dk.]	ASTM D 1238	0,30
Yoğunluk [23°C]	ASTM D 1595	0,920
Pusluluk [%]	ASTM D-1053	9,3
Parlaklık [-]	ASTM D-2457	57
Şişme oranı [-]	ALKT-7	1,41
Kül oranı [% ağı.]	ALKT-509	-
Erime noktası/DSC [°C]	ASTM D-3417	110
Akmada gerilme dayanımı [kg/cm ²]	ASTM D-638	95
Kopmada gerilme dayanımı [kg/cm ²]	ASTM D-638	190
Kopma uzaması [%]	ASTM D-638	640
Sertlik /Shore D [-]	ASTM D-1706	47
Parlama Sıcaklığı [°C]	ASTM E-136	340
Kırılma Sıcaklığı [°C]	ASTM D-746	<-118
Termal Genleşme [K ⁻¹]	ASTM D-696	10x10 ⁵

Çizelge 6.2 : Matris olarak kullanılan PP'e ait özellikler

Özellikler	Standart	PP (Ticari ad:MH-418)
Erime akış hızı 190°/260g [g/10dk.]	ASTM D 1238	5
Yoğunluk [23°C]	ASTM D 1595	0,905
Kirlilik/100g [adet]	TM-113	2
Deformasyon Sıcaklığı 66psi [°C]	ASTM D-648	113
Izod darbe dayanımı [kgcm/cm]	ASTM D-256	2,2
Rockwell Sertliği [R-scale]	ASTM D-785	94
Erime noktası/DSC [°C]	ASTM D-3417	165
Akmada gerilme dayanımı [kg/cm ²]	ASTM D-638	350
Kopmada gerilme dayanımı [kg/cm ²]	ASTM D-638	430
Bükülme modülü 23°C [kg/cm ²]	ASTM D-790	14500
Nem absorpsiyonu [% ağı.]	ASTM D-570	<0,03
Termal Genleşme [K ⁻¹]	ASTM D-696	6,8x10 ⁻⁵

6.1.2 Takviye elemanı

Çalışmada polyester ve polipropilen, iğnelenmiş nonwoven atıkları kullanılmıştır. Atıklar HASSAN firmasından temin edilmiş, büyük bir kısmı HASSAN firması bünyesinde bulunan kesme (Şekil 6.2a) ve şifonoz makineleri (Şekil 6.2b) ile kırpıntı haline getirilmiş ve liflerine ayrılmıştır. Kimyasal işlem görmüş, akrilik kaplı otomotiv atıkları ise kırıcıda parçalanmıştır (Şekil 6.2c). Kullanılan atıklara ait özellikler Çizelge 6.3'te gösterilmiştir. Şekil 6.3'te kullanılan nonwoven atıkları görülmektedir.



Şekil 6.2 : (a) Kesme makinesi (b) Şifonoz makinesi (c) Kırıcı

Çizelge 6.3 : Takviye elemanına ait özellikler

Malzeme tanımı	Atık Türü	Üretim Yöntemi	Lif İçeriği	Gramaj [g/m ²]	Lif inceliği [dtex]-uzuluğu [mm]	Takviye Formu
Kimyasal işlem görmemiş, tekrar kesilerek ve açılarak lif formuna getirilebilen ve 2. kalite ürün üretiminde kullanılmak üzere firma bünyesinde değerlendirilebilen atıklar	Hatalı üretim, kenar atıkları	Çapraz serilmiş, iğnelenmiş	PET	330	12*64 6*51 15*60	Kırpıntı (Kesme makinesinde 4-5defa ufak parçalar halinde 2-6 cm aralığında kesilmiş)
Kimyasal işlem görmemiş, tekrar kesilerek ve açılarak lif formuna getirilebilen ve 2. kalite ürün üretiminde kullanılmak üzere firma bünyesinde değerlendirilebilen atıklar	Hatalı üretim, kenar atıkları	Çapraz serilmiş, iğnelenmiş	PET	330	12*64 6*51 15*60	Elyaf (Önce kesme makinesinde kesilmiş sonra şifonozde lif halinde açılmış)
Kimyasal işlem görmüş, kesilerek ve açılarak tekrar değerlendirilemeyen ve fabrika atığı niteliğinde yakılarak imha edilen atıklar	Otomoti v sanayi ürünleri nin kenar ve parça atıkları	Çapraz serilmiş, iğnelenmiş akrilik reçine ile bir yüz kaplanmış	PET	330	12*64 6*51 15*60	Kırılmış (Kırıcı ile boyu 0,8cm'den küçük parçalar halinde parçalanmış)



Şekil 6.3 : Nonwoven atıkları (elyaf / kırpıntı / kırılmış)

Üretimi yapılan kompozit malzemelerin özelliklerine Çizelge 6.4'te yer verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Üretilen kompozit malzemelerin özellikleri

Numune kodu	Matris	Takviye Elemanı	Takviye Formu	Takviye Ağırlık Oranı	Üretim Derecesi
1	DYPE	-	-	%0	İlk üretim
1A	DYPE	PET	Kırpıntı	%25	İlk üretim
1B	DYPE	PET	Elyaf	%25	İlk üretim
1C	DYPE	PET	Kırılmış	%25	İlk üretim
2	PP	-	-	%0	İlk üretim
2A	PP	PET	Kırpıntı	%25	İlk üretim
2B	PP	PET	Elyaf	%25	İlk üretim
2C	PP	PET	Kırılmış	%25	İlk üretim
1C1	DYPE	PET	Kırılmış	%25	1.kırım
1C2	DYPE	PET	Kırılmış	%25	2.kırım
1C3	DYPE	PET	Kırılmış	%25	3.kırım
1C4	DYPE	PET	Kırılmış	%25	4.kırım
2C1	PP	PET	Kırılmış	%25	1.kırım
2C2	PP	PET	Kırılmış	%25	2.kırım
2C3	PP	PET	Kırılmış	%25	3.kırım
2C4	PP	PET	Kırılmış	%25	4.kırım

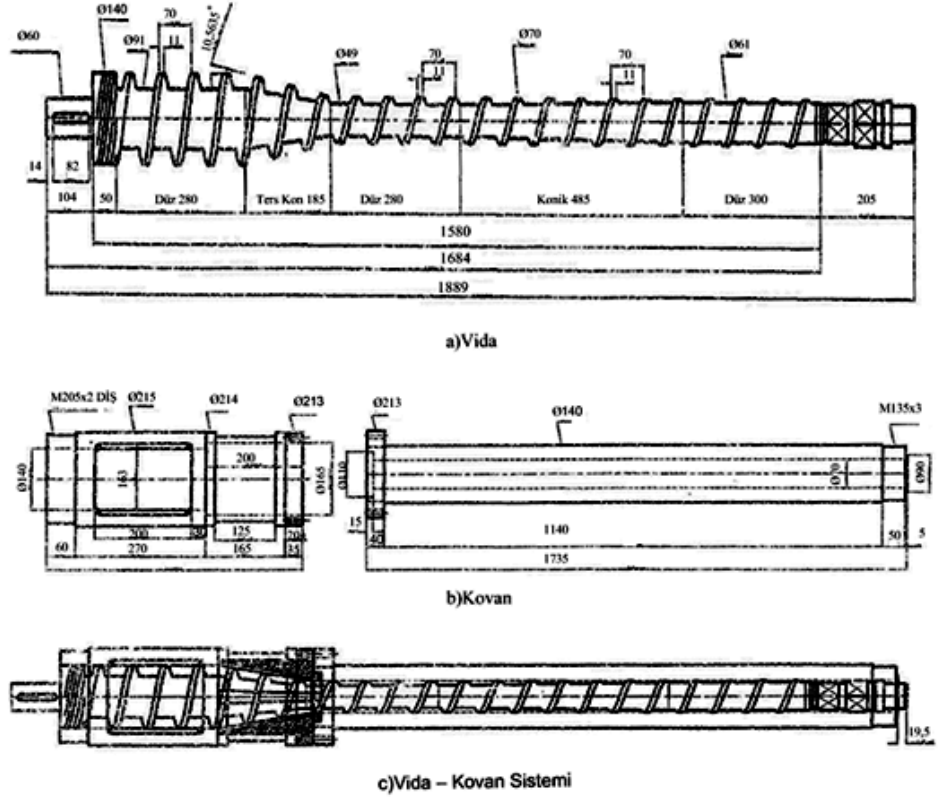
6.2 Metod

6.2.1 Ekstrüzyon yöntemi

Nonwoven atık takviyeli kompozit malzemelerin üretimi için ekstrüzyon yöntemi kullanılmıştır. Şekil 6.4’te çalışmada kullanılan ekstruder görülmektedir. Ekstruderin vida kovan sistemi, atık takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde tıkanmaları önlemek amacı ile uygun şekilde tasarlanmıştır. Şekil 6.5’te çalışmada kullanılan ekstruderin vida-kovan sistemi şeması görülmektedir.



Şekil 6.4 : Çalışmada kullanılan özel tasarım ekstruder



Şekil 6.5 : Ekstruderin vida kovan sistemi tasarımı

Ekstruderin teknik özelliklerine Çizelge 6.5’te yer verilmiştir.

Çizelge 6.5 : Ekstruder teknik özellikleri

Vida Kovan	Ø 70*40 kovan vidası
Kovan rezistansları	1600W’lık 9 rezistans (3 bölgesi) ve trifize fanlar
Ana motor	30 kW 1500d/dak
Vida devri (maks.)	90d/dak
Levha kalınlığı	400x8 mm kesit açıklığı

6.2.2 Hidrolik pres

Ekstruzyonu yapılan malzeme; soğuyup sertleşene kadar polimer kaynaklı şişmenin önlenmesi ve düzgün bir yüzeye sahip olması amacıyla 8 ton kapasiteli YURTTAK marka hidrolik preste basılmıştır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 : Hidrolik Pres

6.2.3 CNC freze

Hidrolik preste basılmış malzeme son boyutlarına ulaştıktan sonra malzemenin performans testleri için gerekli numunelerin kesimi CNC Freze’de yapılır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 : CNC Freze

6.2.4 Kırıcı

Üretim döngüsünün son basamağında kırıcı makinesi yer alır. Kırıcı, polimerik malzemeleri tekrar granül haline getirerek, ekstruzyona uygun forma dönüştürür (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 : Kırıcı

6.3 Üretim Parametreleri (Çizelge 6.6)

Çizelge 6.6 : Üretim parametreleri

Üretim sıcaklığı	
1.Isıtıcı	DYPE için 175°C / PP için 190°C
2.Isıtıcı	DYPE için 180°C / PP için 195°C
3.Isıtıcı	DYPE için 185°C / PP için 200°C
Kafa Sıcaklığı	DYPE için 190°C / PP için 205°C
Vida hızı	DYPE için 18-20m/dak / PP için 14-15m/dak
Levha kalıbı aralığı	Sabit 8mm
Merdaneler arası açıklık	DYPE için 3mm / PP için 6mm
Merdane hızı	Kafadan çıkan ürüne bağlı olarak değişmekte
Pres basıncı	4 ton

6.4 Üretim Aşamaları

İlk olarak ekstruder üretim sıcaklıkları kullanılan polimere göre ayarlanır. Girilen değerleri alması ve ısının oturması için 30-45 dakika beklenir. Kontrol paneli üzerinde, ısıtıcıların sıcaklık kontrolü ve vidanın hız kontrolü yapılabilmektedir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 : Ekstruder kontrol paneli

Malzeme hazırlığı için önceden belirlenen ağırlık oranlarında polimer granülleri ve atıklar tartılır. Ekstruder ısıtı oturduğunda, ana motor çalıştırılır ve vida hızı girilir. Ardından tartılmış olan polimer granülleri ve atıklar mümkün olduğunca homojen dağılacak şekilde, el ile besleme hunisine beslenir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 : Kovana el ile malzeme besleme

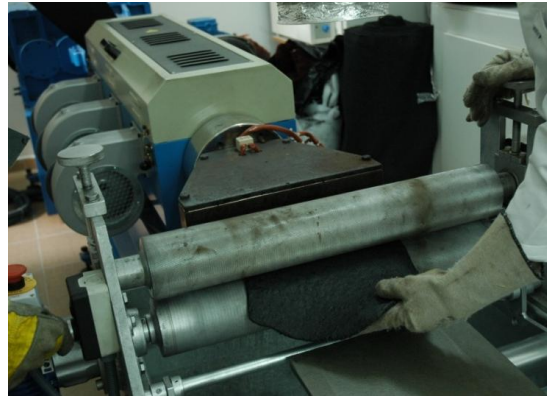
Beslenen polimer granülleri ve atıklar, elektrikli ısıtıcılardan aldığı ısı ve vida ile kovan arasındaki sürtünmeden kaynaklanan ısı ile erir ve aynı zamanda sonsuz vidanın dönme hareketi ile eriyik atık ile karışır ve kovan içerisinde ilerler.

Atık ve polimer eriyiğinden oluşmuş koyu kıvamlı malzeme, ekstruder çıkışında bulunan kafadan, son sıcaklığına ulaşmış olarak, levha formunda çıkmaya başlar (Şekil 6.11).



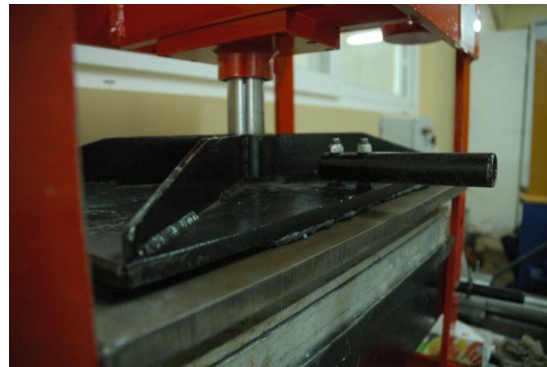
Şekil 6.11 : Kafadan levha formunda kompozit malzeme çıkışı

Beslenmeye devam ettiği müddetçe kafadan çıkan malzeme öncelikle, hızı ve açıklığı ayarlanabilen kalibrasyon merdane çiftinden geçirilir. Amaç çıkışta polimerin şişme yapmasını engellemek ve malzemenin düzgün bir yüzeye sahip olmasını sağlamaktır (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 : Malzemenin merdanelerden geçişi

DYPE, merdaneden geçtiğinde tekrar şişme eğilimi gösterir, dolayısıyla istenen boyutlarda kesilip hemen hidrolik prese yerleştirilir. PP ile üretimde şişme gözlenmez ancak yüzey düzgünlüğü için hidrolik preste bir süre bekletilir (Şekil 6.13).



Şekil 6.13 : Malzemenin preste basılması

Pres altında yaklaşık 15 dakika, 4 ton basınçta bekleyen malzeme, soğur ve son boyutuna ulaşır. Böylece merdane çıkışı oluşabilecek şişmenin de önüne geçilmiş olunur (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 : Malzemenin pres çıkışı görüntüsü

Daha sonraki kesim işlemi için, levha kenarları giyotin ile düzgün bir şekilde kesilir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15 : Giyotin ile malzeme kenarlarının kesilmesi

Malzemenin performans özelliklerinin analizi için yapılacak test numune kesimleri CNC Freze' de gerçekleştirilir (Şekil 6.16).



Şekil 6.16 : CNC Freze ile numune kesimi

Uygun standartlara göre kesimi yapılmış numuneler, test edildikten sonra, o üretim hattındaki tüm parçalar toplanır ve kırıcıda kırılır (Şekil 6.17) ve granül haline getirilir (Şekil 6.18). Granül formundaki yeni malzeme birinci kırım numunesi olarak ekstrudere tekrar beslenir.

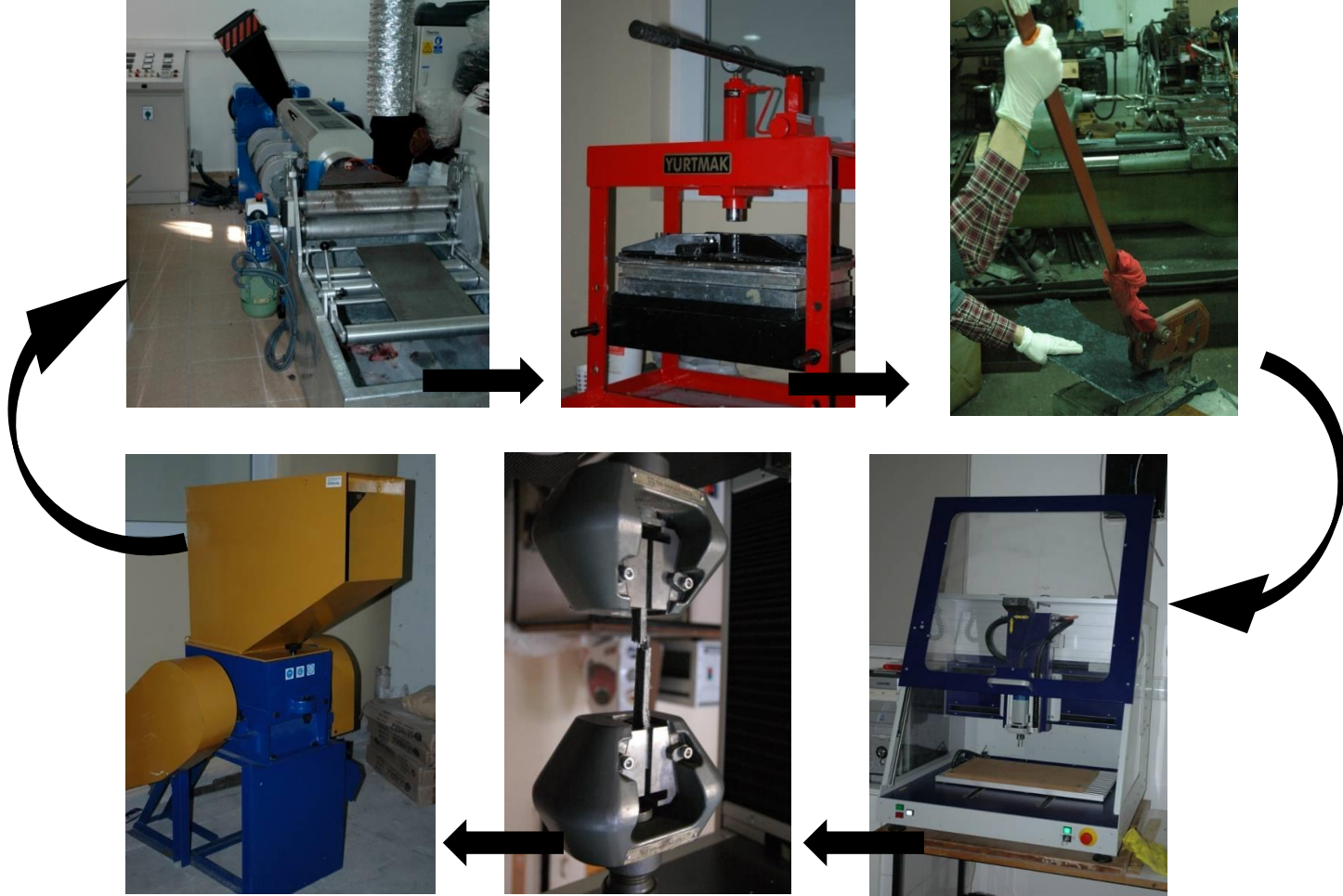
Aynı prosedür kırım sayısı kadar tekrar edilir. Üretim döngüsü Şekil 6.19’ da şematize edilmiştir.



Şekil 6.17 : Malzemenin kırıcıda tekrar granül hale getirilmesi



Şekil 6.18 : Kırıcı çıkışı tekrar granül hale gelen kompozit malzemeler

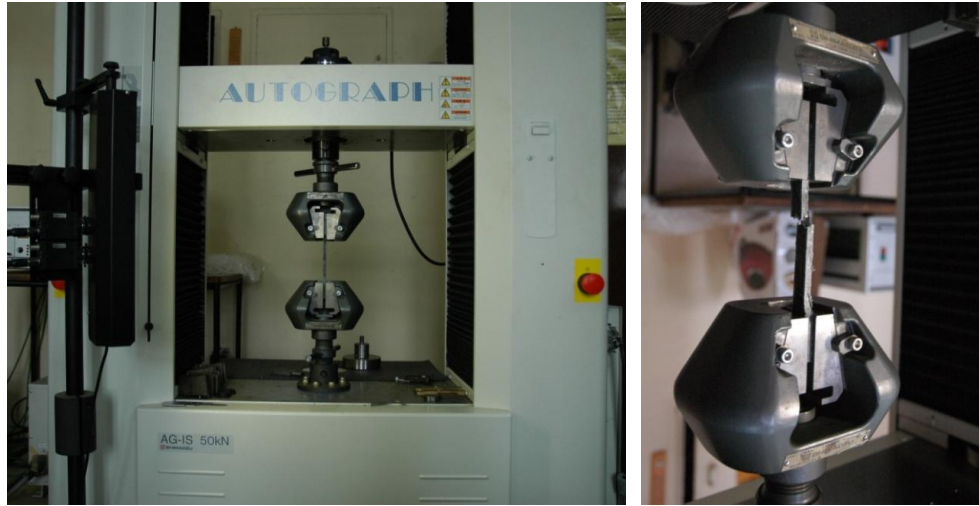


Şekil 6.19 : Üretim döngüsü

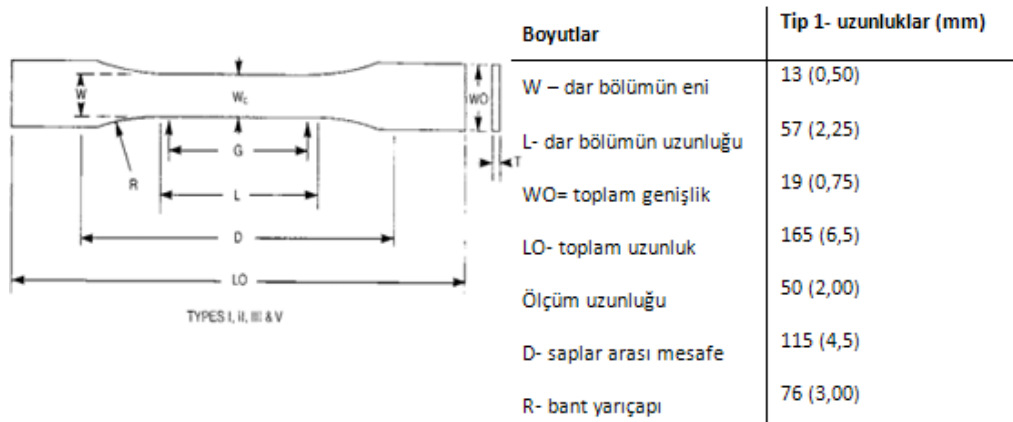
7. DENEYLER

7.1 Çekme Deneyi

Üretilen malzemelerin çekme deneyleri Shimadzu AG-IS marka çekme cihazında (Şekil 7.1), ASTM D638-08 standardına göre gerçekleştirilmiştir [32]. Her bir malzeme tipi için en az 5'er numune test edilerek ortalamaları değerlendirilmiştir (Şekil 7.2 ve Şekil 7.3). Numunelerin kalınlıklarından doğabilecek farkların önüne geçmek amacı ile, sonuçlar, çekme dayanımı [MPa], elastiklik modülü [MPa], ve uzama [%] değeri cinsinden incelenmiştir.



Şekil 7.1 : Shimadzu AG- IS çekme cihazı



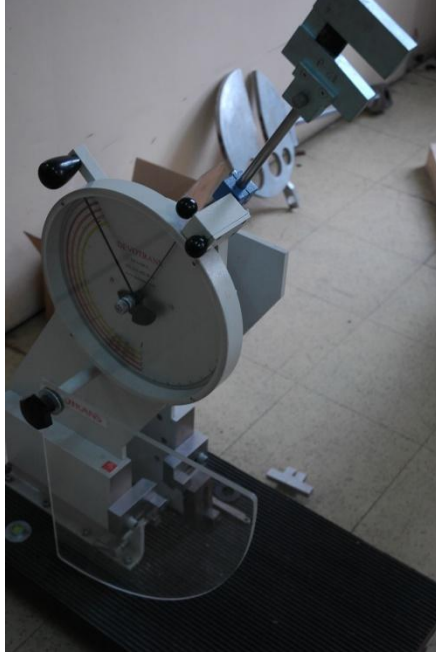
Şekil 7.2 : Çekme deneyi test numunesi ve boyutları



Şekil 7.3 : Çekme numunesi.

7.2 Charpy Darbe Deney

Üretilen malzemelerin darbe deneyleri, Devotrans Charpy darbe deney cihazı (Şekil 7.4), EN ISO 179: 1997 standardına göre gerçekleştirilmiştir [33]. Test numuneleri ilgili standartta belirtilen boyutlarda kesilmiş, numunelere tip A geometrisinde ve boyutlarında çentik açılmıştır (Şekil 7.5). Her bir malzeme tipi için en az 5'er numune test edilerek ortalamaları değerlendirilmiştir (Şekil 7.6). Darbe testinde malzemenin kırılma enerjileri skaladan okunup, darbe dayanımları EN ISO 179: 1997 standardında geçen çentikli malzemeler için kullanılan formül yardımıyla Kj/m^2 biriminde hesaplanmıştır (7.1). Polietilen matrisli kompozitler için 48 J, polipropilen matrisli kompozitler için 12 J çekiç kullanımı uygun görülmüştür.



Şekil 7.4 : Devotrans Charpy darbe deney cihazı



Şekil 7.5 : Çentik açma tezgahı

Darbe Dayanım Formülü:

$$a_{cn} = \frac{W \times 10^3}{h \times b_n} \quad (7.1)$$

a_{cn} : Darbe Dayanımı (KJ/m²)

W : Kırılma Enerjisi (J)

h : Malzeme Kalınlığı (mm)

b_n : Malzeme kenarı ile çentik ucu arası mesafe (mm)



Şekil 7.6 : Darbe numunesi

7.3 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Deneyi

7.3.1 Isı iletim prensibi

Bir katı cisim içinde sıcaklık farkları varsa yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine elektronların hareketiyle taşınan ısı geçiş şekline ısı iletimi denir.

Isı iletimi yasası deneysel gözlemlere dayanan bir yasa olup Fourier ısı iletim yasası olarak adlandırılır. Fourier yasasına göre herhangi bir yönde (örneğin x yönünde) geçen ısı enerjisi miktarı, x yönündeki sıcaklık değişim hızı dT/dx , ısı geçiş yönüne dik alan A olmak üzere (7.2),

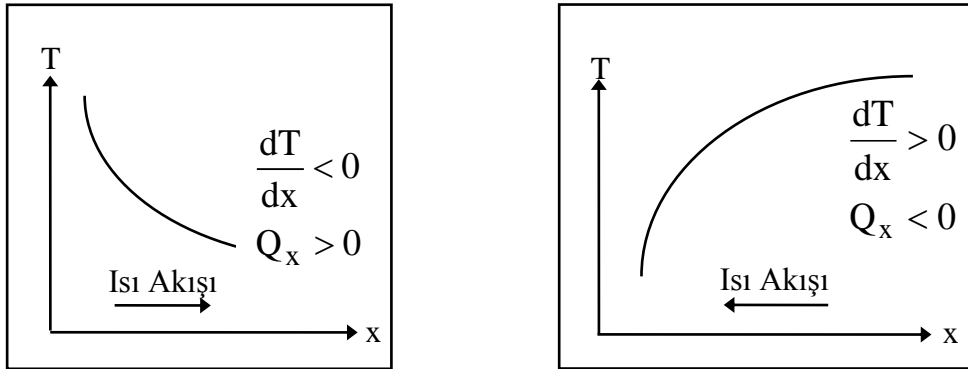
$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} [W] \quad (7.2)$$

olarak ifade edilir. Burada; Q_x , pozitif x yönünde ve bu x yönüne dik A alanı üzerinden geçen ısı enerjisi miktarıdır [34].

Orantı sabiti k , ısı iletim katsayısı olarak adlandırılır ve maddenin bir özelliğidir. x yönündeki sıcaklık değişimi (7.2),

$$\frac{dT}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (7.3)$$

şeklinde tanımlanır. Isı geçişinde sıcaklık pozitif x yönünde azalıyorsa dT/dx negatif olur ve (1) bağıntısındaki (-) işareti nedeniyle Q_x pozitif olarak belirlenir. Bu durum ısı geçişinin pozitif x yönünde olduğunu gösterir. Eğer dT/dx pozitifse Q_x negatif olur ve bu durumda da ısı akışının negatif x yönünde olduğu sonucuna varılır (Şekil 7.7).

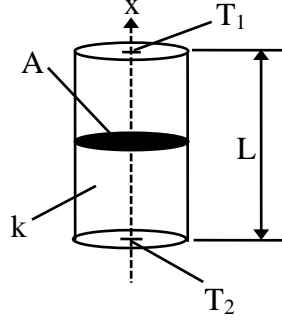


Şekil 7.7: Sıcaklık değişim hızına bağlı olarak ısı enerjisi geçiş yönleri.

Örnek olarak homojen ve izantropik bir silindir ele alalım (Şekil 7.8). $T_1 > T_2$ Fourier ısı iletim kanununa göre A alanından geçen ısı (7.4),

$$Q_x = kA \frac{T_1 - T_2}{L} [W] \quad (7.4)$$

şeklinde ifade edilir [34].



Şekil 7.8 : Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip silindirdeki ısı geçişi.

Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de endüstriyel olarak kullanılan yapı ve yalıtım malzemelerine ait yoğunluk ve ısı iletim katsayılarına yer verilmiştir [35].

Çizelge 7.1 : Bazı yapı malzemelerine ait yoğunluk ve ısı iletim katsayısı değerleri.

	Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
Yapılarda kullanılan panolar	Asbest-çimento pano	1,920	0,58
	Alçı pano	0,800	0,17
	Sunta	0,640	0,094
	Sunta, yüksek yoğunlukta	1,010	0,15
	Sıkıştırma pano, (yüksek yoğunlukta)	1,000	0,170
	Sıkıştırma pano, (düşük yoğunlukta)	0,590	0,078
Tahtalar	Sert tahtalar (meşe, akçaağaç)	0,720	0,16
	Yumuşak tahtalar (Kök nar, çam)	0,510	0,12
Duvar ve sıva malzemesi	Tuğla, kaba	1,920	0,72
	Kırmızı tuğla	2,083	1,3
	Alçı taşı-kum sıva	1,680	0,22
	Çimento-kum sıva	1,860	0,72
	Kartonpiyer	0,720	0,25

Çizelge 7.2 : Bazı yalıtım malzemelerine ait yoğunluk ve ısı iletim katsayısı değerleri.

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
Cam yünü	0,105	0,046
Sıkıştırılmış tahta	0,350	0,087
Mantar	0,120	0,039
Üretan, katı köpük	0,070	0,026
Yumuşak kauçuk	1,100	0,13
Sert kauçuk	1,190	0,16

7.3.2 Isı iletim katsayısı ölçümü

Deney düzeneği dairesel iki bakır sıcaklık ölçme diski, elektrikli ısıtıcı, soğuk ve sıcak hazne, multimetre, strafor yalıtım kabı ve su kabından meydana gelmiştir (Şekil 7.9). Sistem, sıcak termostatik banyoda hazırlanan soğutma suyu ile ısıtılmakta, su tankından gelen soğutma suyu ile soğutulmaktadır. Böylece sistemde aşağıdan (sıcak haznedan) yukarıya (soğuk hazneye) doğru doğal bir ısı akışı sağlanır. Sistemde ısı kaybını azaltmak için bakır plakalar ve test numunesi (Şekil 7.10), strafor yalıtım kabı içerisine yerleştirilmiştir. Bakır plakaların her biri üzerinden sıcaklık okunması ise seçici anahtara bağlanan NiCr/NiAl termoeleman çiftleri yardımıyla yapılmaktadır. Termoeleman kodu TT-K-24-SLE'dir [36].

Isı iletimi ölçüm deneyi ASTM E1225 nolu standarta uygun olarak gerçekleştirilmiştir [37]. Test numunesi çapı 112mm (ısı geçiş yüzey alanı 100cm^2) olup, kalınlığı malzemeye özgü değişkenlik göstermektedir. Ölçümler kararlı şartlar sağlandığında, multimetreden milivolt cinsinde okunmuş daha sonra bu değerlerin sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) dönüşümü, uygun termoeleman çiftine ait $\text{mV}^{\circ}\text{C}$ dönüşüm tablosu kullanılarak gerçekleştirilmiştir [36]. Isı iletim katsayısı hesabı, bu değerlerin ilgili formülde yerine yerleştirilmesi ile yapılmıştır (7.5). Benzer şekilde numuneye ait ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), (7.6)'da yer alan formülden hesaplanmıştır.



Şekil 7.9 : Isı iletim katsayısı ölçüm düzeneği ve elemanları.



Şekil 7.10 : Isı deneyi numunesi.

7.3.3 Isı iletim katsayısı hesabı

Şekil 7.11’de ısı iletim katsayısı ölçüm düzeneğinin şematik görünümü, ısı iletiminin yönü ve ısı iletim katsayısı hesabında kullanılacak ilgili değişkenler görülmektedir. Isı iletim katsayısını denklemleri, referans cisimden geçen ısı miktarı ile numuneden geçen ısı miktarının eşitlenmesi ile elde edilir.

Referans cisimden olan ısı geçiş miktarı (7.5);

$$Q_r = \frac{k_r}{l_r} A(T_2 - T_3) \quad (7.5)$$

Numune cisimden olan ısı geçiş miktarı (7.6);

$$Q_n = \frac{k_n}{l_n} A(T_1 - T_2) \quad (7.6)$$

$Q_r = Q_n$ olduğuna göre (7.7),

$$\frac{k_r}{l_r} A(T_2 - T_3) = \frac{k_n}{l_n} A(T_1 - T_2) \quad (7.7)$$

yazılır. Burada,

k_r = Referans cismin ısı iletim katsayısı [W/mK]

k_n = Numunenin ısı iletim katsayısı [W/mK]

l_r = Referans cismin kalınlığı [m]

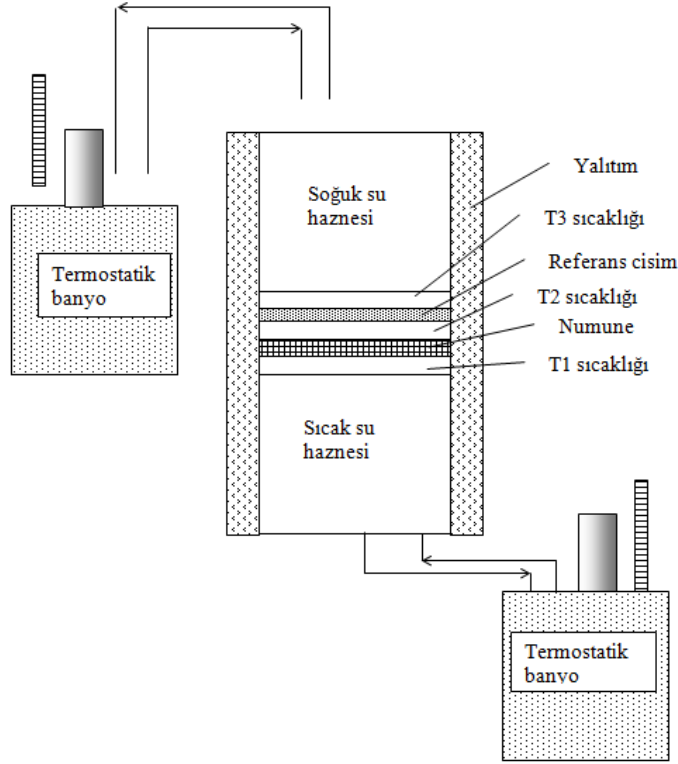
l_n = Numunenin kalınlığı [m]

A = Referans cisim ve numunenin alanı [m²]

Numunenin ortalama sıcaklığı (7.8) denklemi ile hesaplanır.

$$T_n = \frac{(T_1 + T_2)}{2} \quad (7.8)$$

T_n =Ortalama numune sıcaklığı (°C)



Şekil 7.11: Isı iletim katsayısı ölçüm düzeneğinin şematik görünümü.

8. DENEY SONUÇLARI

8.1 Çekme Deneyi Sonuçları

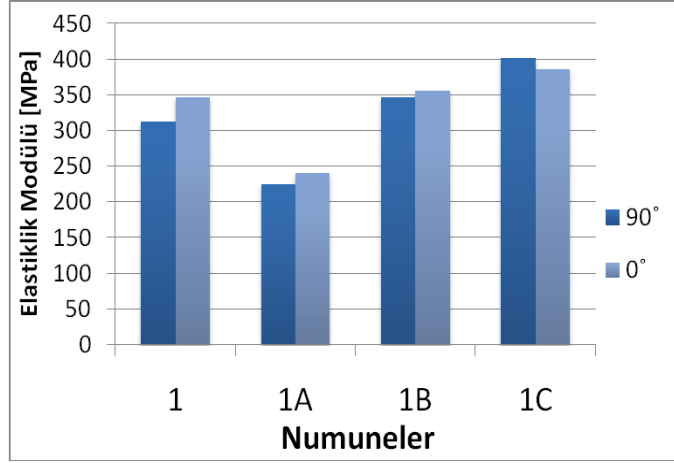
Çizelge 8.1’de, üretilen DYPE ve PP matrisli kompozit numunelerin takviye formlarına ve test yönüne bağlı olarak elastiklik modülü, çekme dayanımı, uzama yüzdesi ve standart sapma değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 8.1: Numunelerin test yönüne bağlı olarak elastiklik modülü, çekme dayanımı ve uzama değerleri.

Numuneler	Test Yönü (0°/90°)	Elastiklik Modülü [MPa]	Sapma [%]	Çekme Dayanımı [MPa]	Sapma [%]	Uzama [%]	Sapma [%]
1	90°	312,18	11,71	9,94	1,05	86,59	5,11
	0°	346,89	16,49	9,69	1,54	82,78	2,90
1A	90°	224,39	35,98	2,76	26,96	4,94	33,84
	0°	240,31	20,63	6,24	15,45	8,77	33,29
1B	90°	346,25	15,75	3,82	13,73	6,41	5,15
	0°	355,35	14,45	6,17	10,66	9,14	23,25
1C	90°	366,06	17,95	6,76	10,53	9,78	17,81
	0°	432,94	9,22	7,06	7,58	10,56	30,55
2	90°	2013,31	22,89	30,62	2,42	7,65	9,61
	0°	2595,92	13,82	28,71	2,17	8,02	5,33
2A	90°	1015,06	31,20	10,22	7,79	1,53	34,10
	0°	959,76	18,28	13,72	10,06	3,67	30,19
2B	90°	1169,11	10,32	10,37	22,82	1,69	7,58
	0°	1183,53	19,03	13,10	7,35	3,23	25,76
2C	90°	1214,54	27,78	15,39	1,68	1,32	13,64
	0°	1357,83	13,77	18,16	17,09	1,93	26,98

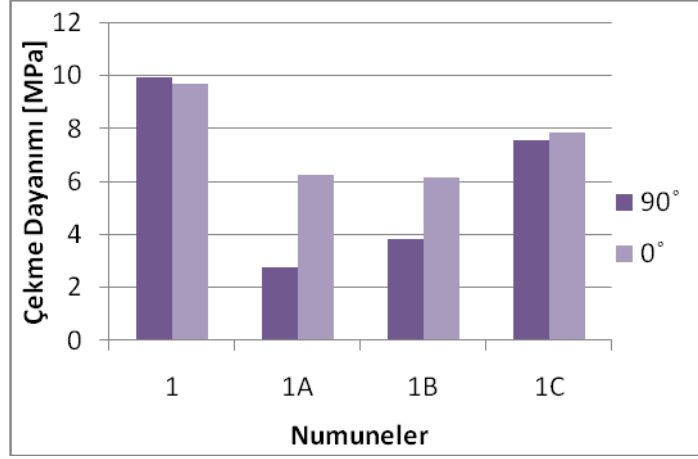
Şekil 8.1’de görüldüğü üzere; DYPE matrisli, kırpıntı kumaş takviyeli kompozit malzemenin (1A) elastiklik modülü, DYPE’den üretilmiş saf malzemeye oranla daha düşük olup, kısmen yüksek sapma değerine sahiptir. Bu durum, kırpıntı haldeki nonwoven kumaşın numune kesiti boyunca öbeklenerek süreksizlik yaratması ve çekme anında en zayıf olan bu kumaş öbekli bölgeden kopmanın gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Kırpıntı dağılımının rastgele oluşu, sapma değerinin yüksek olmasına yol açmaktadır. Elyaf ve parçacık takviyeli kompozitlerde ise saf DYPE’ye göre daha yüksek elastiklik modülü değerleri gözlenmektedir. Saf DYPE’nin çekme

dayanımını düşürmesine rağmen elastiklik modülünü arttırması elyaf ve parçacık formundaki takviye malzemesinin kendisinden daha esnek olan DYPE nin esneme kabiliyetini kısıtlamasından kaynaklanmaktadır.



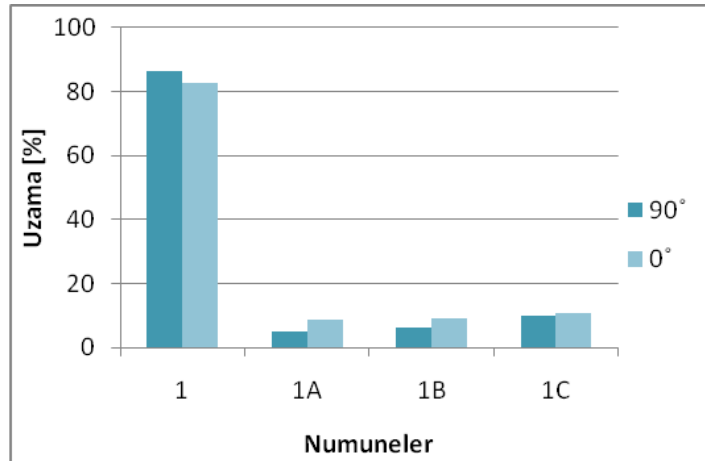
Şekil 8.1: Elastiklik modülünün DYPE matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0°-90°).

Saf DYPE'nin literatürde yer alan çekme dayanımı aralığı 6,2-17,2 MPa'dır [6]. Çalışma esnasında kullanılan DYPE'ye ait çekme dayanımı değeri ekstrüzyon doğrultusunda (0°) 9,69MPa, ekstrüzyona dik doğrultuda (90°) 9,94 MPa'dır. Tüm takviye formlarında üretilmiş kompozit malzemeler, saf DYPE'nin çekme dayanımını düşürmektedir (Şekil 8.2). Bu durum herhangi bir formdaki atığın kesitte süreksizlik oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Takviye formları kendi içlerinde değerlendirildiğinde, yine kırpıntı formundaki takviye malzemesi içeren 1A nolu numunede en düşük, parçacık formundaki takviye malzemesine sahip 1C nolu numunede en yüksek çekme dayanımı değeri görülmektedir. Bu sonuç, parçacık formundaki nonwoven atığın kesitte daha homojen dağılımı ile açıklanmaktadır. Takviye formu boyutu küçüldükçe, polimer matris, artan yüzey alanı ile takviye elemanına daha iyi temas eder ve daha kuvvetli arabirim yüzeyi oluşturur. Test yönü dikkate alındığında, çekme dayanımının takviyeli tüm numunelerde ekstrüzyon doğrultusunda (0°) artış gösterdiği gözlenmektedir. Elyaf ve kırpıntı formundaki numunelerde iki test yönü arasındaki fark, parçacık takviyeli numunelere oranla daha fazladır. Ekstrüzyon anında lifler malzemenin çıkış yönünde yönelirler; böylece 0° ve 90° arasında malzemenin kesiti birbirinden oldukça farklıdır. Parçacık formunda ise etkin lif uzunluğu, elyaf ve kırpıntı formuna oranla kısa olduğundan her iki test yönü arasında belirgin bir fark gözlemlenmez.



Şekil 8.2 : Çekme dayanımının DYPE matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0°-90°).

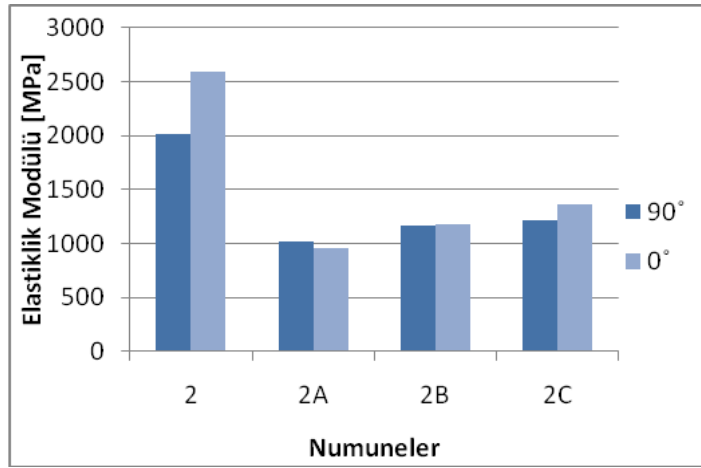
Uzama değerleri incelendiğinde, saf DYPE boyca yaklaşık %85 uzama gösterirken, takviyeli DYPE kompozitlerin, daha düşük uzama değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Benzer şekilde homojen dağılımı ile saf DYPE'ye en yakın sonuçları veren parçacık takviyeli numune, en yüksek uzama değerine sahiptir (Şekil 8.3). Her üç takviye formu karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçlar, elastiklik modülü ve çekme dayanımı test sonuçlarını desteklemektedir. Kırpıntı formundaki takviyenin numune kesidinde yarattığı süreksizlik, parçacık formundaki takviyenin yarattığı süreksizlik alanından daha büyük ve daha heterojendir, dolayısıyla polimer fazın etkinliğini bozmaktadır. Daha homojen dağılım gösteren parçacık formunda ise matris malzemenin özellikleri daha baskın görülmektedir.



Şekil 8.3 : Uzama yüzdesinin DYPE matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0°-90°).

PP matrisli tüm kompozit malzemelerde, nonwoven atığı takviyesi ile elastiklik modülü, çekme dayanımı ve uzama değerlerinin düştüğü görülmektedir. PP'nin

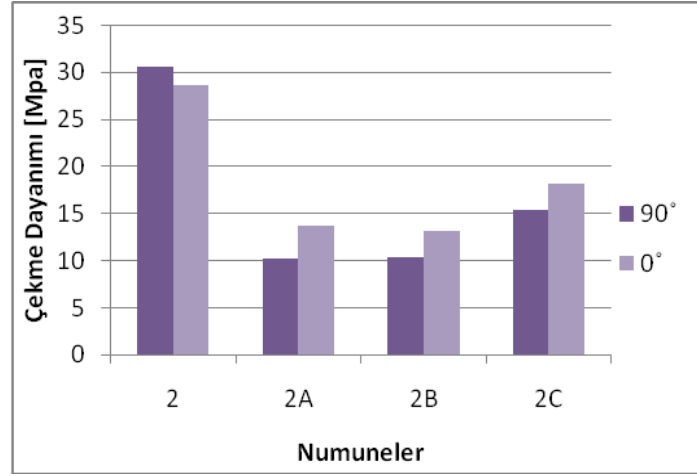
yapısı, DYPE'nin yapısındaki her iki karbon atomundan birine metil grubunun eklenmesi ile oluşmaktadır. Eklenen metil grubu, camsı geçiş sıcaklığını ve erime sıcaklığını artırır; polimer zincirinin dönmesine engel olur ve böylece malzemenin dayanımını artırır. Bu nedenle, PP, DYPE'e kıyasla daha gevrek ancak daha dayanımlı bir polimerdir [6]. Sonuçlar değerlendirildiğinde PP ve DYPE matrisli numunelerde elastiklik modülü üzerinde takviye formları benzer davranış sergilemekte, parçacık takviyeli (1C) numunelerin elastiklik modülleri ve çekme dayanımları diğer numunelere kıyasla saf PP'ye en yakın değerlerde iken en heterojen kırpıntı takviye formu en düşük değerlerde seyretmektedir (Şekil 8.4). Her iki matriste de elde edilen bu sonuç, homojen dağılım ile artan arabirim temasının elastiklik modülü üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 8.4 : Elastiklik modülünün PP matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0°-90°).

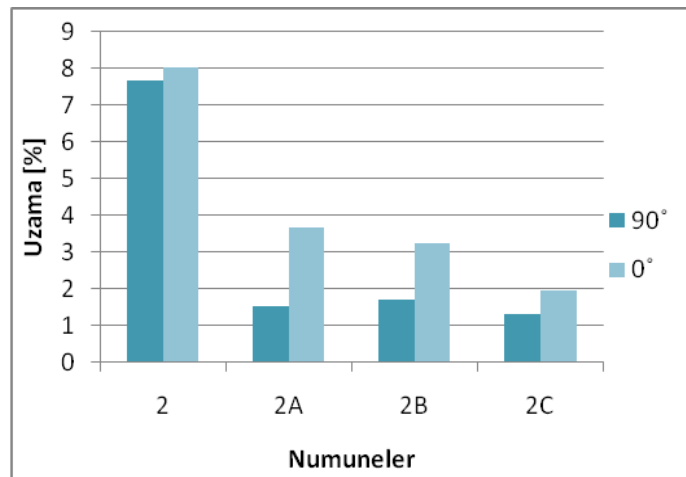
PP'nin literatürdeki çekme dayanımı aralığı, 29,3MPa – 38,6MPa'dır [6]. Çalışma dahilinde üretilen saf PP malzemenin çekme dayanımı, 0°'lik ekstrüzyon doğrultusunda 28,71MPa, 90°'lik ekstrüzyona dik doğrultuda ise 30.62MPa'dır. Takviye formları değerlendirildiğinde, kırpıntı formu (2A) en düşük dayanıma sahipken, parçacık takviyeli kompozitlerde (2C), 0° yönünde 18,11 MPa çekme dayanımı değerine ulaşılmıştır. Lif yönelmesine bağlı olarak çekme dayanımı değerlerinin tüm takviyeli kompozitlerin 0°'lik ekstrüzyon doğrultusunda arttığı gözlenmektedir. Elyaf formundaki ve kırpıntı formundaki nonwoven atığı ile takviyelendirilen PP matrislerin çekme dayanımları arasında büyük fark görülmemektedir (Şekil 8.5). PP matrisli numunelerin elastiklik modülleri ile çekme dayanımları arasında karşılaştırma yapıldığında, kırpıntı takviyeli numunenin çekme

dayanımının, elyaf takviyeli numuneye kıyasla daha düşük değerlerde olması beklenmektedir. Bu durum, kırpıntı formunun heterojen dağılımının yanı sıra; deneysel çalışma kaynaklı sapmalardan da meydana gelmiş olabilir.



Şekil 8.5 : Çekme dayanımının PP matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0°-90°).

Uzama yüzdelerine bakıldığında, saf PP, % 7,5-8 civarında uzama gösterirken, parçacık takviyeli kompozit(1C) %1-2 aralığında uzama göstermiştir (Şekil 8.6). Elyaf ve kırpıntı formları ile takviyelendirilen numunelerin uzama değerleri, çekme dayanımı değerleri ile paralellik göstermektedir. Buna karşı, parçacık takviyeli numunenin diğer takviye formlarına göre beklenenden daha düşük uzama değerleri göstermesi deneysel kaynaklı bir hatadan(hatalı üretim, yanlış numune seçimi, vb.) meydana gelmiş olabilir.



Şekil 8.6 : Uzama yüzdesinin PP matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne göre değişimi (0°-90°).

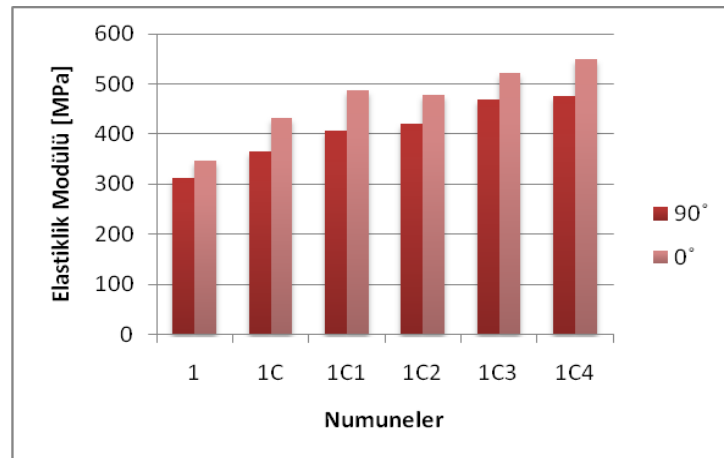
Çalışmanın ilk aşamasında yer alan 1A, 1B ve 1C nolu DYPE matrisli ve 2A, 2B ve 2C nolu PP matrisli kompozit numunelerin çekme deneyi sonuçları değerlendirildiğinde, saf polimer özelliklerine en yakın değerlere, parçacık takviye formunda (1C ve 2C) ulaşıldığı görülmektedir. Üstelik bu sonucun aynı takviye oranında (% 25) yakalanmış olması takviye formunun sonuçlar üzerinde belirleyici faktör olduğunu göstermektedir. Parçacık formlu takviye malzemesi, elyaf ve kırpıntı takviyesine oranla çok daha küçük boyutta olup ve daha geniş yüzey alanına sahiptir. Bu durum, takviye malzemesi ile polimerik matris arasında daha kuvvetli ve daha homojen bir arabirim yüzeyi oluşmasını sağlar. Dolayısıyla parçacık takviyeli kompozitlerin, küçük sapma değerleriyle, hedeflenen saf polimer özelliklerine daha yakın sonuçlar vermesi, beklenen bir sonuçtur. Bu amaç doğrultusunda, çalışmanın devamında, 1C ve 2C no'lu malzemeler için, homojenliğin artırılmasına yönelik kırım işlemine geçilmiştir. Yapılan bir başka çalışmada %25 takviye oranına sahip, pamuk takviyeli DYPE kompozitlerin kırım aşaması incelenmiş, 3. ve 4. kırım aşamasında en yüksek mekanik dayanım değerleri elde edilmiş, 5. ve 6. kırımda ise etkin lif uzunluğunun kısılması ve ısıl bozunmanın etkisi ile mekanik özelliklerde düşüş gözlenmiştir [38]. Bu çalışma dahilinde de, her bir üretim bandı çıkışında tüm numune parçaları kırıcıda kırılarak tekrar granül haline getirilmiş ve ekstrudere tekrar beslenmiştir. 4 adet kırım işlemi süresince, her basamakta numuneler test edilmiştir.

Çizelge 8.2'de, üretilen kırılmış otomotiv atığı takviyeli DYPE ve PP matrisli kompozit numunelerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak elastiklik modülü, çekme dayanımı, uzama yüzdesi ve standart sapma değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 8.2 : Numunelerin kırım sayısına bağlı olarak elastiklik modülü, çekme dayanımı ve uzama değerleri.

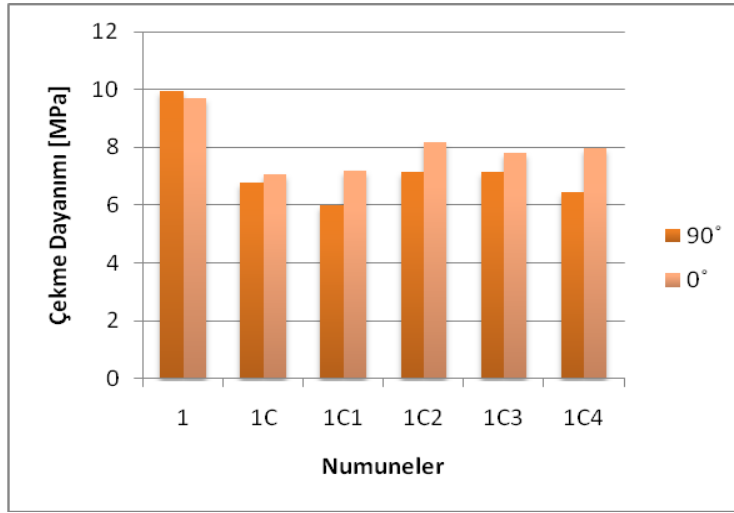
Numuneler	Test Yönü (0°/90°)	Elastiklik Modülü [MPa]	Sapma [%]	Çekme Dayanımı [MPa]	Sapma [%]	Uzama [%]	Sapma [%]
1C1	90°	407,77	8,54	5,99	4,62	7,27	20,21
	0°	487,08	1,86	7,21	6,62	8,00	7,60
1C2	90°	419,47	5,02	7,16	4,49	16,53	24,64
	0°	478,54	4,61	8,17	2,15	16,29	24,95
1C3	90°	469,98	5,61	7,14	1,21	20,81	15,97
	0°	522,35	8,26	7,80	3,16	22,85	21,56
1C4	90°	474,80	17,44	6,43	2,29	20,18	11,08
	0°	550,13	7,73	7,99	6,06	22,58	21,05
2C1	90°	2251,33	26,84	18,47	10,51	3,03	20,75
	0°	1875,94	34,40	21,29	8,34	3,91	15,65
2C2	90°	2084,66	35,67	21,83	3,38	4,70	14,86
	0°	1624,15	21,24	21,42	4,82	5,50	6,74
2C3	90°	3018,56	48,68	21,36	3,33	4,79	9,77
	0°	2087,58	31,16	21,72	1,98	4,99	2,56
2C4	90°	5612,67	95,86	20,94	3,68	6,18	11,18
	0°	1476,05	25,21	23,34	4,11	6,77	9,49

Şekil 8.7’de görüldüğü üzere, elastiklik modülü saf DYPE malzemeye kıyasla, her bir kırım basamağında artış göstermektedir. Kırım sayısı ile elastiklik modülünün artışı, ısıl işlem görmesi ile DYPE’nin yapısını oluşturan dallanmış haldeki polimer zincirlerinin kırılması ve yeni çapraz bağların oluşumundan kaynaklanmaktadır. Çapraz bağ oluşumu ile malzeme termoplastik malzemeden, termoset malzemeye geçmekte, böylece, esnemeye karşı direnci artmaktadır. Ayrıca, elastiklik modülünün 0° yönünde, 90° yönüne kıyasla daha yüksek olması; polimer zincir boyunca mevcut dallanmaların ekstrüzyon doğrultusunda yöneliminden kaynaklanmaktadır.



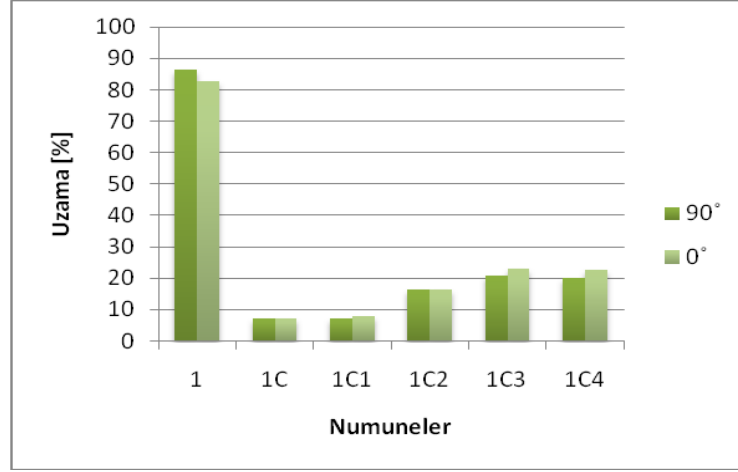
Şekil 8.7 : Elastiklik modülünün DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0°-90°).

Kırımlı numuneler arasında DYPE matrisli kompozitlerin çekme dayanımı değerleri incelendiğinde, malzemenin 2. kırım aşamasında, her iki test yönünde de en yüksek çekme dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. İkinci kırım aşamasından sonra numunelerin çekme dayanımı değerlerinde çok büyük bir fark gözlemlenmemekle birlikte; ekstrüzyona dik doğrultuda (90°) değerlerin düşmeye başladığı, ekstrüzyon yönünde (0°) ise bu değerlerin birbirine yakın oldukları söylenebilir (Şekil 8.8). Çekme dayanımı değerlerinin 3. kırım itibarıyla artış göstermemesi, kompoziti oluşturan takviye elemanının etkin lif uzunluğunun kısılması ve tekrar eden ısıl ve mekanik işlemlerle, polimerin molekül yapısının deformasyonu ile açıklanabilmektedir.



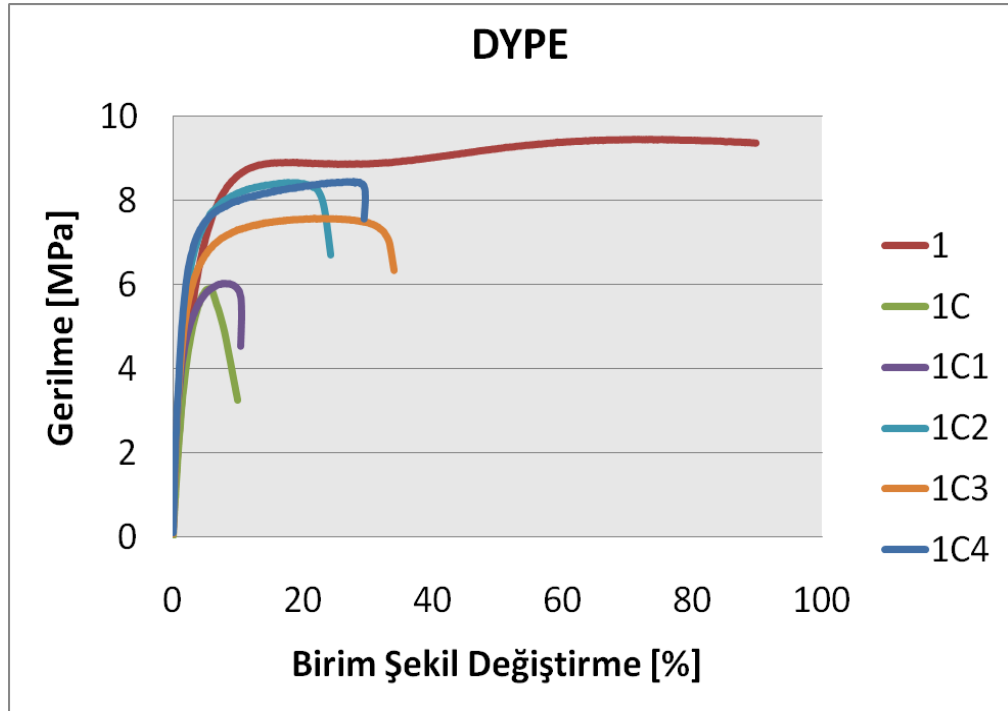
Şekil 8.8 : Çekme dayanımının DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0° - 90°).

Kırımın etkisi ile uzama yüzdesinin arttığı ve 3. Kırım aşamasında en üst değere ulaştığı görülmektedir. 4. Kırıma geçişte ise, büyük bir fark gözlemlenmemektedir (Şekil 8.9). Kırım işleminin artması ile numunelerin uzama değerlerinin artması, lif boyunun her bir kırım aşamasında daha da kısılması sonucu polimer fazlı matris malzemenin kendi özelliklerinin baskın hale gelmesi ile açıklanabilmektedir.



Şekil 8.9 : Uzama yüzdesinin DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0°-90°).

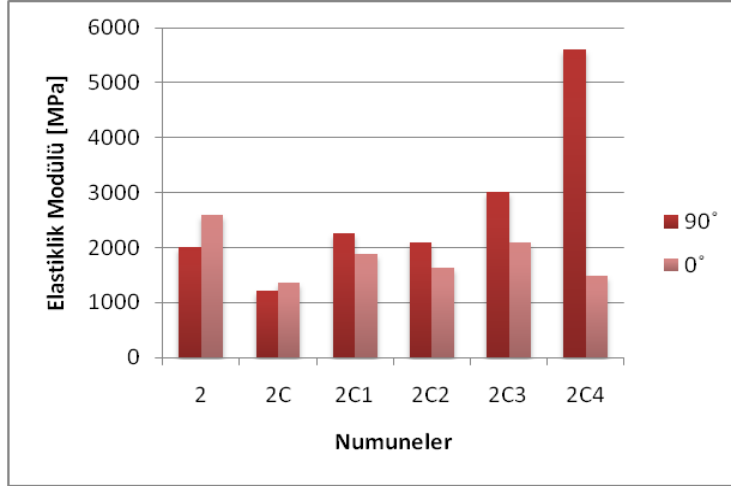
Saf DYPE, parçacık takviyeli kırımsız DYPE ve parçacık takviyeli kırımlı DYPE numunelerinin kuvvet-uzama eğrileri Şekil 8.10'da gösterilmiştir.



Şekil 8.10 : Kırımlı, kırımsız ve saf DYPE numunelere ait kuvvet-uzama eğrileri

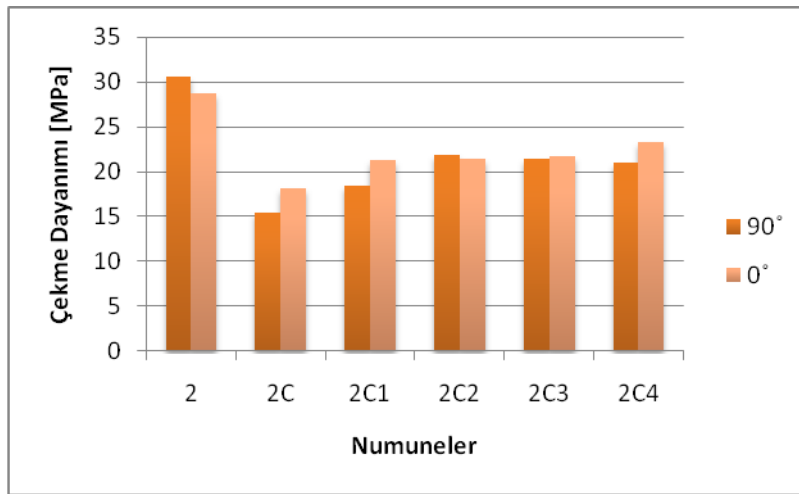
PP matrisli parçacık takviyeli kompozit malzemenin kırım basamakları değerlendirildiğinde, DYPE matrisli malzemede olduğu kadar anlamlı bir elastik modül artışı elde edilememiştir. İlk kırımda düşen elastik modül 2. Kırım itibarıyla 0° yönünde yükselmiş, 90° yönünde ise değerlerde iniş çıkış gözlenmiştir. (Şekil 8.11). Kırımsız numune ile karşılaştırıldığında, tüm kırımlı numunelerin elastiklik modüllerinin daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Bu sonuç, dallanmış

yapıdaki molekül zincirinin kırım aşamasında uğradığı mekanik deformasyon ile kopması ve çapraz bağların oluşması ile açıklanabilmektedir [39].



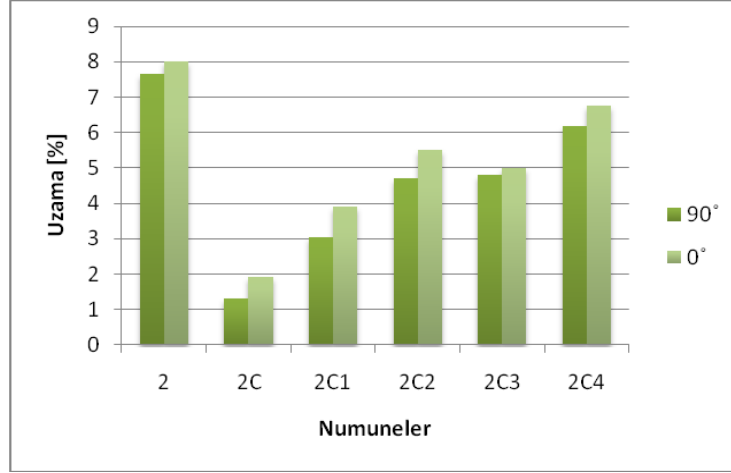
Şekil 8.11 : Elastiklik modülünün PP matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0°-90°).

PP matrisli kompozitlerde ilk iki kırım basamağında malzemenin çekme dayanımında etkili bir artış gözlenmiş; 2. ve 3. kırım basamağında malzeme en iyi çekme dayanım değerlerine ulaşmıştır. 4. kırım aşamasındaki değerler, 2. ve 3. kırım değerlerinden çok farklı değildir ancak, değerlerde gözlenen yöne bağlı değişkenliği ile malzemenin, kırım sürecinin bu basamağındaki davranışını yorumlamak olası değildir (Şekil 8.12). Yine DYPE matrisli numunelerde görüldüğü üzere, 2. kırım itibarıyla çekme dayanımlarında artışın gözlenmemesi, polimerik malzemenin ısı bozunmasından ve etkin lif uzunluğunun kısalmasından kaynaklanmaktadır.



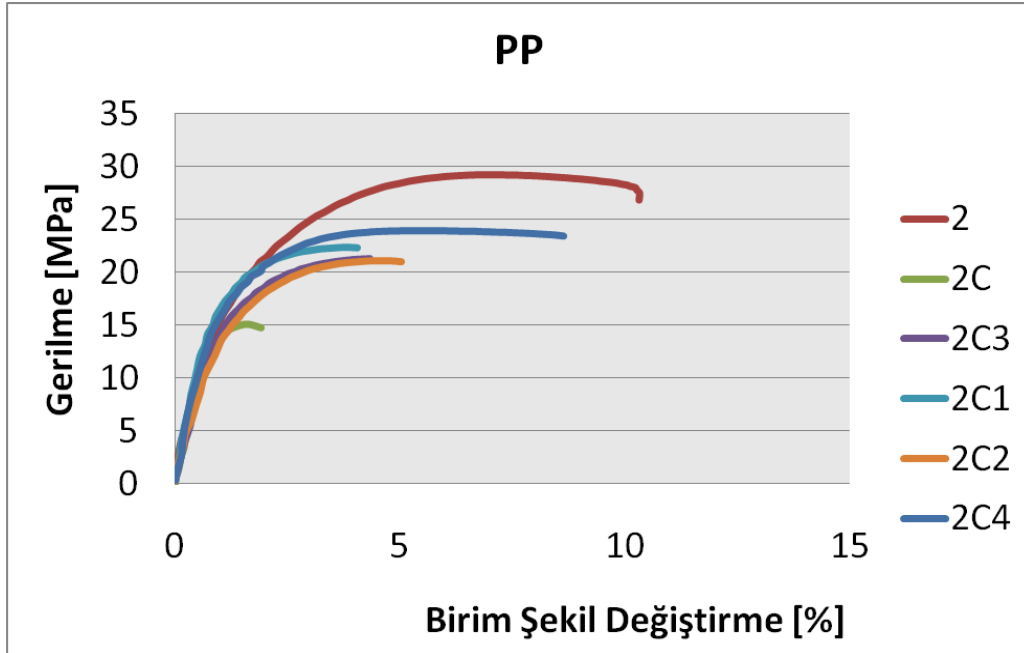
Şekil 8.12 : Çekme dayanımının PP matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0°-90°).

Uzama değerleri incelendiğinde, tüm numunelerin, ekstrüzyon doğrultusundaki (0°) uzama değerlerinin, ekstrüzyona dik doğrultuya (90°) göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Uzama yüzdesinin, malzemenin geçirdiği kırım işlemi ile artması beklenen bir sonuçtur. Bu aşamada, kırım işlemi ile saf polimer fazın etkinliğinin artmasına bağlı olarak uzama yüzdelerinde artış gözlenmektedir. (şekil 8.13).



şekil 8.13 : Uzama yüzdesinin PP matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak değişimi (0° - 90°).

Saf PP, parçacık takviyeli kırımsız PP ve parçacık takviyeli kırımlı PP numunelerinin kuvvet-uzama eğrileri şekil 8.14' te verilmiştir.



şekil 8.14 : Kırımlı, kırımsız ve saf PP numunelere ait kuvvet-uzama eğrileri

8.2 Charpy Darbe Deneyi Sonuçları

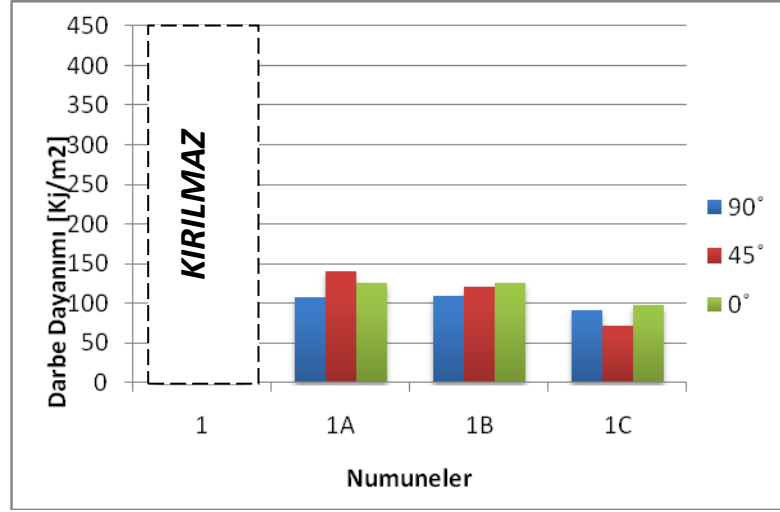
Çizelge 8.3'te, üretilen DYPE ve PP matrisli kompozit numunelerin takviye formlarına ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımı değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 8.3 : Numunelerin takviye formuna ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımı değerleri.

Numuneler	Test Yönü (90°/45°/0°)	Darbe Dayanımı [Kj/m ²]	Sapma [%]
1	90°	Kırılmaz	-
	45°	Kırılmaz	-
	0°	Kırılmaz	-
1A	90°	107,82	17,09
	45°	139,80	16,25
	0°	126,15	14,99
1B	90°	108,75	17,34
	45°	120,01	7,16
	0°	126,10	3,82
1C	90°	91,24	16,44
	45°	71,63	24,55
	0°	98,12	5,38
2	90°	8,77	15,89
	45°	5,72	13,78
	0°	5,08	31,49
2A	90°	11,59	31,59
	45°	32,25	56,41
	0°	11,83	14,50
2B	90°	7,99	8,42
	45°	77,20	3,81
	0°	12,54	20,42
2C	90°	12,14	17,93
	45°	16,75	56,38
	0°	30,03	36,44

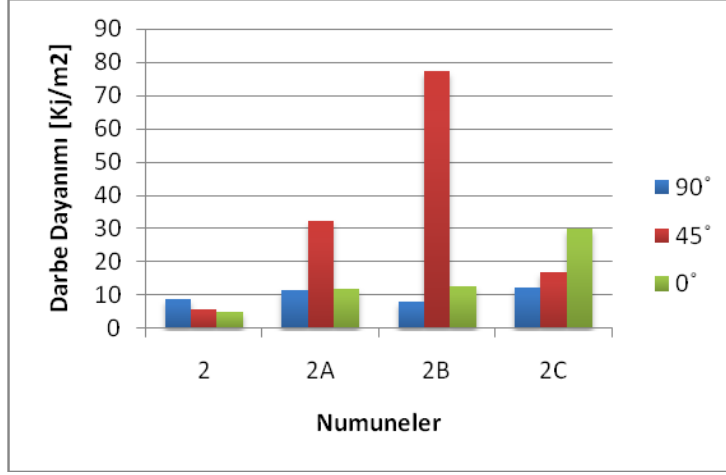
Literatürde DYPE darbe dayanımı değeri için hem Charpy çentikli darbe dayanımı hem de Izod darbe dayanımı sonucunda “*kırılmaz*” ifadesi kullanılmaktadır [6]. Oldukça sünek bir malzeme olan DYPE malzeme için sayısal değer verilmemektedir. Çalışma dahilinde üretilen saf DYPE'nin darbe dayanımı çentikli Charpy darbe test cihazında, 48 J'luk çekiç darbesi ile gerçekleştirilmiş ve kırılma gözlenmemiştir. Sayısal bir sonuç verilemediği için, karşılaştırmayı kolaylaştırmak amacıyla, grafikte “*kırılmaz*” ibaresi konulmuştur. Takviyeli DYPE kompozitler değerlendirildiğinde, saf DYPE'ye göre oldukça düşük darbe dayanım değerleri gözlenmektedir (Şekil 8.13). Kırpıntı ve elyaf takviyeli kompozitler kendi içlerinde benzer değerler

göstermektedir. Parçacık takviyeli kompozitlerde ise kısmen düşük değerler elde edilmiştir.



Şekil 8.15 : DYPE matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımlarının değişimi (0°-45°-90°)

Literatürde PP için verilen çentikli darbe dayanımı aralığı 3,0-30,0 Kj / m² olup, çalışma dahilinde üretilen saf PP'nin darbe dayanım değeri yöne bağlı olarak 5-9 Kj/m² aralığında değişmektedir. PP matrisli kompozitler değerlendirildiğinde, saf PP malzemeye göre tüm takviye formları için, darbe dayanım değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. PP gevrek yapılıdır ve kırılma enerjisi düşüktür. Takviye edildiğinde ise, kırılma enerjisinde dolayısıyla da darbe dayanımı değerlerinde artış gözlenir (Şekil 8.14). Tüm takviye formlarında 0° yönü darbe dayanımları daha yüksek, sapma değerleri ise daha düşüktür. Bu durum, takviye oryantasyonu ile açıklanabilir. Tekstil materyalinin makine çıkış yönüne paralel (0°) yerleşim göstermesi, bu yöne dik vuran çekice karşı daha homojen bir kesit oluşmasını sağlar. Özellikle, elyaf takviyeli kompozitlerde liflerin 0° yönünde uzanması, bu durumu belirgin şekilde açıklamaktadır. Benzer şekilde, 90° yönünde çekicinin temas etme kesitinde liflerin de 90° lik açı ile yöneldikleri farzedilirse, çekicinin vuruş esnasında lif öbeğiyle veya katkısız polimerle karşılaşma olasılığı büyük değişkenlik göstermekte ve bu durum da sapma değerleri arasındaki fark ile açıklanabilmektedir. Benzer sonuç takviyeli DYPE matrisli kompozit numunelerde de görülmektedir. 45° lik numunelerde karşılaşılan oldukça yüksek darbe dayanımı değerlerinin rastgele olup olmadığının anlaşılması için, numune sayısının artırılması önerilmektedir.



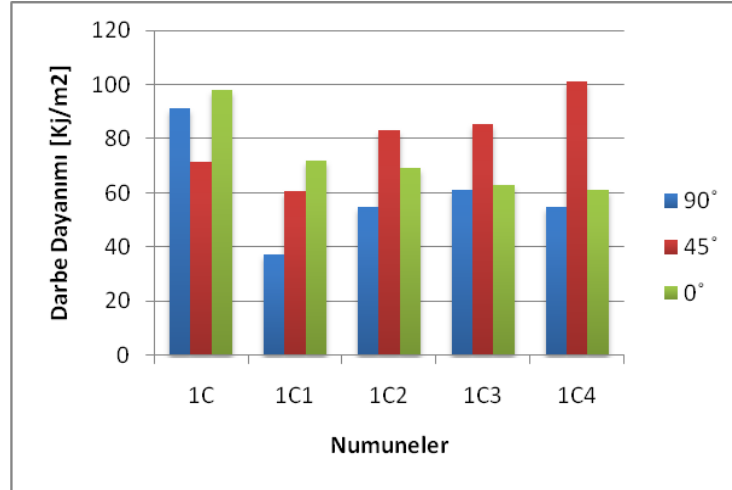
Şekil 8.16 : PP matrisli kompozitlerin takviye formuna ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımlarının değişimi (0°-45°-90°).

Çizelge 8.4'te, parçacık takviyeli olarak üretilen DYPE ve PP matrisli kompozit numunelerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımı değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 8.4 : Numunelerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımı değerleri.

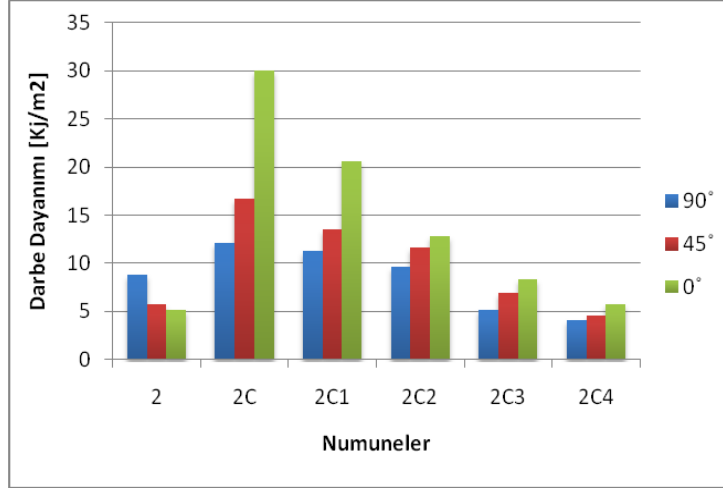
Numuneler	Test Yönü (90°/45°/0°)	Darbe Dayanımı [Kj/m ²]	Sapma [%]
1C1	90°	37,27	22,87
	45°	60,50	23,02
	0°	72,02	19,90
1C2	90°	54,90	40,28
	45°	83,37	30,63
	0°	69,09	40,64
1C3	90°	60,96	7,53
	45°	85,47	6,84
	0°	63,01	14,02
1C4	90°	54,89	20,95
	45°	101,31	28,9
	0°	60,95	2,65
2C1	90°	11,29	32,21
	45°	13,56	16,37
	0°	20,61	23,03
2C2	90°	9,62	4,69
	45°	11,67	20,07
	0°	12,78	21,7
2C3	90°	5,16	24,07
	45°	6,91	0,57
	0°	8,29	11,43
2C4	90°	4,11	27,54
	45°	4,59	24,08
	0°	5,67	23,49

DYPE matrisli numunelerin darbe dayanımları incelendiğinde, tüm kırıklı numunelerin, kırıksız numuneye göre daha düşük darbe dayanımına sahip oldukları gözlenmektedir. Bu durum DYPE malzemenin polimer zincirlerinin yapısı ile açıklanmaktadır. DYPE, dallanmış yapıda polimer zincirlerinden oluşmaktadır. Isıl ve mekanik işlemlerin tekrarı bu molekül yapısında uzanan zincirlerin kırılmasına ve kısalan zincirler arasında çapraz bağ oluşumuna yol açar. Bu durum, malzemenin kırılabilirliği artmasına ve darbe dayanımının düşmesine neden olur. Sonuçlar kırıklı numunelerin çekme dayanımı test sonuçlarını destekler niteliktedir. Bunun yanı sıra kırım süreci aşamaları incelendiğinde, 0° ekstrüzyon yönünde malzeme geçirdiği her bir kırım işlemi ile darbe dayanımını kaybeder. Darbe dayanımının, 90° ve 45° yönlerindeki davranışı incelendiğinde kırım sayısına ve yöne bağlı kararlı bir ilişki bulunamamıştır.



Şekil 8.17: DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımlarının değişimi (0°-45°-90°).

PP matrisli numunelerin darbe dayanımları ile kırım süreci ilişkilendirildiğinde, tüm yönlerde artan kırım sayısı ile kararlı bir düşüş gözlenmiştir. DYPE'ye göre gevrek bir yapıya sahip olan PP'nin, parçacık formundaki takviye malzemesi ile darbe dayanımı artmaktadır. Bunun yanı sıra, malzemenin geçirdiği 4 kırım aşamasının her basamağında, darbe dayanımlarında düşüş gözlenmiştir. Bu durum yine molekül yapısındaki polimer zincirlerin koparak kısalması ve yeni yapıda zincirler arası çapraz bağların oluşması ile açıklanabilir.



Şekil 8.18 : PP matrisli kompozitlerin kırım sayısına ve test yönüne bağlı olarak darbe dayanımlarının değişimi (0°-45°-90°).

8.3 Isı Deneyi Sonuçları

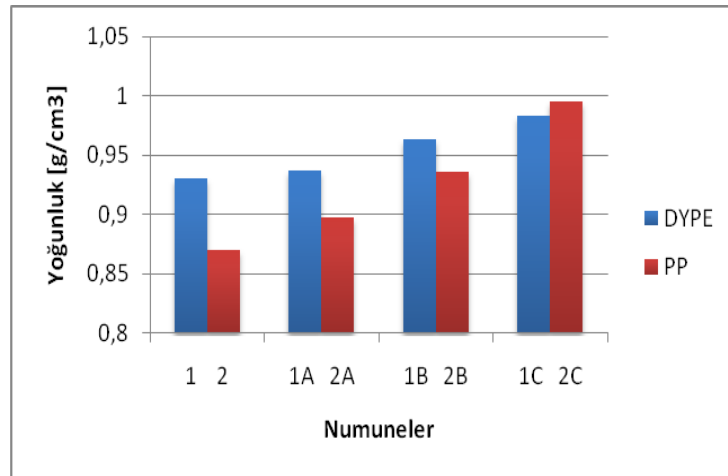
Çizelge 8.5'te, DYPE ve PP matrisli kompozit numunelerin yoğunluk, sıcaklık, birim sıcaklık değişimi ve ısı iletim katsayısı değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 8.5 : Numunelerin yoğunluk ve ısı iletim katsayısı değerleri

NUMUNELER	Yoğunluk [g/cm ³]	Sıcaklık [°C]	ΔT [°C]	Isı İletim Katsayısı [W/mK]	Sapma [%]
1	0,930	24,5	8,4	0,405	3,02
1A	0,937	24,8	8,2	0,306	9,23
1B	0,963	24,2	7,8	0,292	3,15
1C	0,983	24,9	7,9	0,353	5,10
2	0,870	24,5	7,4	0,266	2,5
2A	0,898	24,9	7,8	0,181	7,29
2B	0,936	24,8	8,3	0,166	0,17
2C	0,995	24,7	8,1	0,254	1,23

DYPE'in literatürde yer alan yoğunluk aralığı 0,92-0,94 g/cm³ olup, çalışma dahilinde kullanılan DYPE'nin yoğunluğu 0,93 g/cm³ olarak hesaplanmıştır [6]. PP'in literatürde yer alan yoğunluk aralığı 0,88-0,91 g/cm³ olup, çalışma dahilinde kullanılan PP'nin yoğunluğu 0,87 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Takviye malzemesi olarak seçilen %PET hammaddesinin ise literatürde yer alan yoğunluk değeri 1,37-1,4 g/cm³ aralığındadır [40].

Numunelerin yoğunluk analizleri yapıldığında, tüm takviyeli numunelerin, saf polimerlere (PP ve DYPE) oranla daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Bu durum saf polimerin, kendisinden daha yüksek yoğunluklu bir malzeme ile takviye edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra aynı takviye oranında, farklı takviye formları incelendiğinde, malzeme yoğunluğunun, saf polimere göre en az artışı kırpıntı takviyeli kompozitte olurken; en fazla artış, parçacık takviyeli kompozitte görülmektedir. Bu durum, kırpıntı takviye formunda, matris ile takviye elemanının yetersiz teması sonucu oluşan boşluklardan kaynaklanmaktadır. Aynı hammaddeye sahip olmasına rağmen elyaf takviyeli kompozitlerde artan yüzey alanına bağlı olarak daha kuvvetli arabirim yüzeyi oluşmaktadır bu nedenle, kırpıntı takviyeli kompozite kıyasla biraz daha yüksek yoğunluktadır. Parçacık takviyeli numunelerde ise, küçülen takviye boyutu ile homojen dağılım sayesinde, matris ile takviye elemanı arasında kısmen güçlü arabirim yüzey kuvveti oluşmaktadır, bu durumda daha az boşluklu bir malzeme oluşmaktadır. Yoğunluk analizi sonuçları, mekanik test sonuçlarını da destekler niteliktedir (Şekil 18.9).

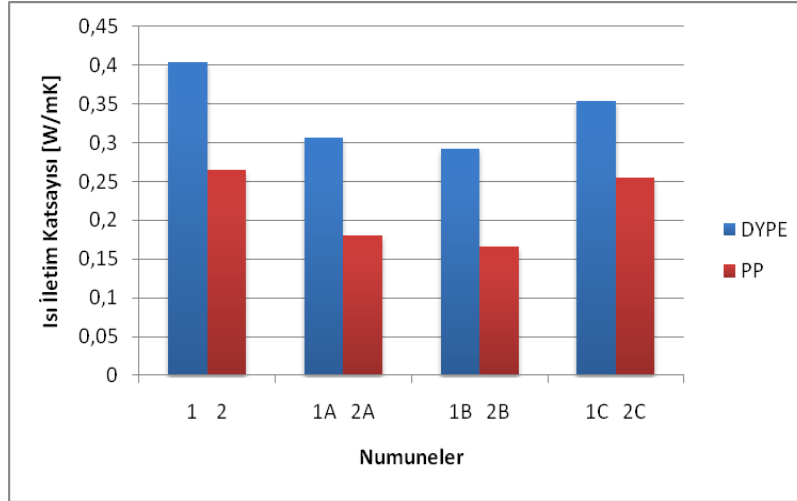


Şekil 8.19 : DYPE ve PP matrisli kompozitlerin takviye formlarına bağlı olarak yoğunluk değerlerinin değişimi.

Takviyeli numunelerin ısıl davranışı incelendiğinde, takviye formlarının DYPE ve PP matrisli numuneler üzerindeki etkisinin benzer davranış gösterdiği görülmektedir (Şekil 8.20).

Kırpıntı takviyeli numune ile elyaf takviyeli numunelerin ısı iletim katsayıları birbirlerine yakın değerdedir. Ancak her iki matris malzemesi için de, elyaf takviye formunun kısmen daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bu

durum; elyaf takviye formunun kırpıntı takviye formuna göre matris içerisindeki daha düzenli dağılımı ile açıklanabilir. Kırpıntı takviyeli numunelerin sapma değerlerinin yüksek oluşu bu sonucu destekler niteliktedir. Parçacık takviyeli kompozitler, daha sıkı malzeme yapıları nedeniyle, daha yüksek ısı iletim katsayısı değerlerine sahiptirler. Bu sonuç, parçacık takviyeli numunelerin, diğer formlarla kıyaslandığında, en yüksek çekme dayanımı değerine sahip olmasını da açıklamaktadır.



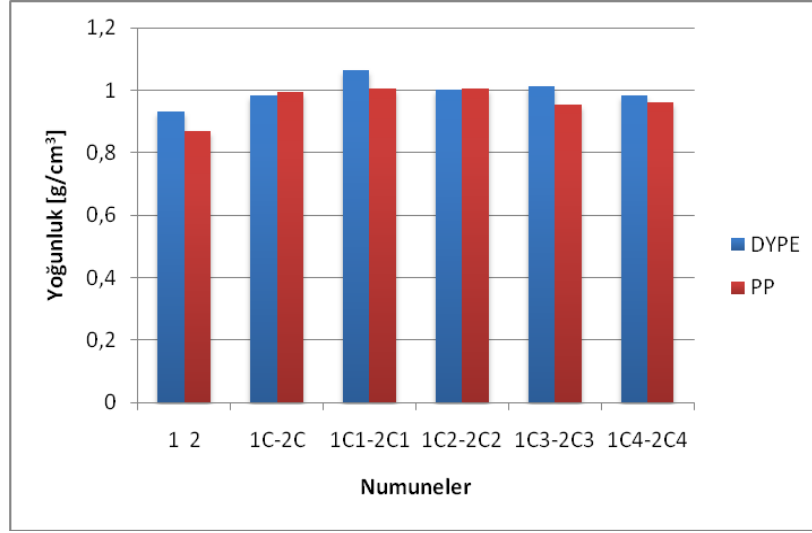
Şekil 8.20 : DYPE ve PP matrisli kompozitlerin takviye formlarına bağlı olarak ısı iletim katsayılarının değişimi.

Çizelge 8.6’da, parçacık takviyeli DYPE ve PP matrisli kompozit numunelerin kırım sayısına bağlı olarak, yoğunluk ve ısı iletim katsayısı değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 8.6 : Numunelerin kırım sayısına bağlı olarak, yoğunluk, sıcaklık, sıcaklık farkı ve ısı iletim katsayısı değerleri.

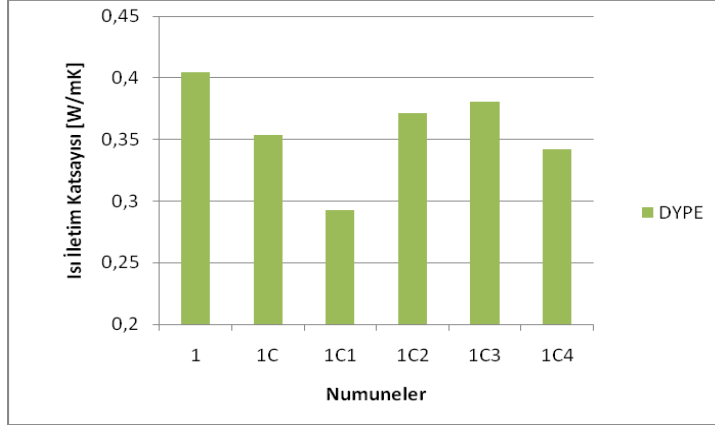
NUMUNELER	Yoğunluk [g/cm ³]	Numune Sıcaklığı[°C]	ΔT [°C]	Isı İletim Katsayısı [W/mK]	SAPMA [%]
1	0,930	24,5	8,43	0,405	3,02
1C	0,983	24,9	7,95	0,353	5,10
1C1	1,066	26,3	5,79	0,292	6,43
1C2	1,003	26,4	5,51	0,372	5,79
1C3	1,011	26,3	5,88	0,381	3,66
1C4	0,983	26,3	5,88	0,342	6,95
2	0,870	24,5	7,41	0,266	2,5
2C	0,995	24,7	8,11	0,254	1,23
2C1	1,006	24,5	7,47	0,235	3,68
2C2	1,005	25,5	7,45	0,235	9,81
2C3	0,955	25,7	7,47	0,244	8,49
2C4	0,960	26,3	6,7	0,256	10,47

Kırım sonuçları değerlendirildiğinde, numunelerin yoğunlukları ilk kırım ile artış göstermekte, ardından düşmeye başlamaktadır. Bu durum, artan kırım işlemi ile polimerin maruz kaldığı ısıl ve mekanik deformasyon sonucu, molekül yapısındaki bozulmalar ile açıklanabilir. Aynı zamanda, numunelerin üretimi esnasında takviye elemanının dağılım oranı, üretim çıkışındaki presin etkisi vb. durumlar da malzemenin yoğunluğunu etkilemektedir (Şekil 8.21).

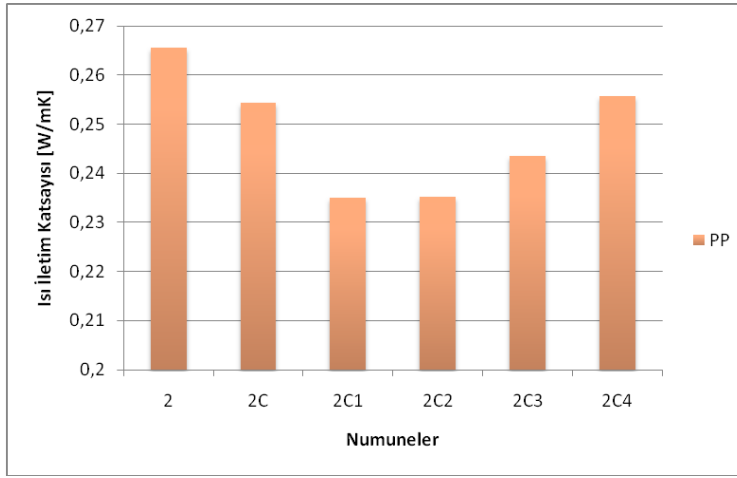


Şekil 8.21 : DYPE ve PP matrisli kompozitlerin kırımın etkisine bağlı olarak yoğunluk değerlerinin değişimi.

Kırım işleminin ısı iletim katsayısı üzerindeki etkisi incelendiğinde, hem PP hem de DYPE matrisli kompozitlerde, ilk kırım basamağında ısı iletim katsayısında düşüş gözlenmekte ardından artan kırım sayısı ile ısı iletim katsayısı artış eğilimine girmektedir. İlk kırım aşamasında parçacık halindeki takviye elemanı, polimer ile birlikte tek faz halinde tekrar granül hale gelerek, üretimin daha homojen olmasını sağlamıştır. Bu durumda lifler, numune kesidine daha homojen yerleşerek ısı iletiminin gerçekleştiği dikine kesitte daha düzenli bir yalıtkan katman meydana getirmektedir. Bunun yanı sıra, mekanik deneylerin sonuçlarında da görüldüğü gibi, kırım işleminin artması ile etkin lif boyu kısalmakta, polimer faz baskın durumu gelmektedir bu durum polimer özelliklerinin de baskınlaşacağını göstermektedir. Her iki matris tipi için de, kırım sayısı arttıkça artan ısı iletim katsayısı ile kompozit malzemenin saf polimerin sahip olduğu ısı iletim katsayısına yaklaştığı görülmektedir (Şekil 8.22 ve Şekil 8.23)

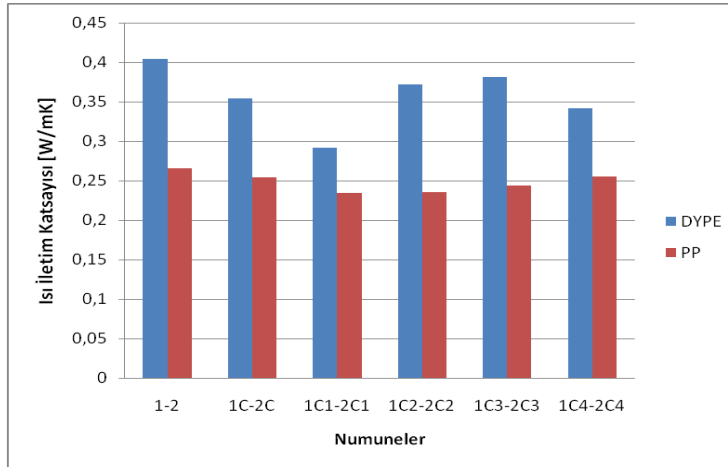


Şekil 8.22 : DYPE matrisli kompozitler için ısı iletim katsayısı üzerinde kırım işleminin etkisi.



Şekil 8.23 : PP matrisli kompozitler için ısı iletim katsayısı üzerinde kırım işleminin etkisi.

Şekil 24'te ise, DYPE ve PP matrisli kompozitlerin ısı iletim katsayıları ile kırım arasındaki ilişki karşılaştırılmaktadır.



Şekil 8.24 : DYPE ve PP matrisli kompozitlerin kırım işlemine bağlı olarak ısı iletim katsayılarının karşılaştırması.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın ilk aşamasında, DYPE ve PP matrisleri, elyaf, kırpıntı ve parçacık olmak üzere üç ayrı formda %100 PET içerikli iğnelenmiş nonwoven atıkları ile takviyelendirilmiş, üretilen malzemenin mekanik ve ısıl davranışları çeşitli testlerle incelenmiştir. Ardından, en iyi mekanik performansa sahip parçacık takviyeli kompozitler için homojenliğin artırılmasına yönelik kırım işlemine geçilmiş böylece üretim döngüsü tamamlanmış olmuştur. Her bir numune, 4 kez kırıcıda tekrar granül haline getirilmiş, mekanik ve ısıl özellikleri her basamakta test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şu yöndedir:

1. Test sonuçlarına genel olarak 0°ekstrüzyon doğrultusunda, gerek polimer yapısındaki zincirlerin gerekse, takviye formundaki liflerin yönelmesi ile daha üstün mekanik özellikler elde edilmiştir.
2. Takviye elemanı esas alınarak çekme deneylerin sonuçları incelendiğinde, parçacık takviye formunun diğer takviye formlarına göre daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür. Bu durum, takviye formunun daha küçük olması ile (<0,8cm), ekstruderde çalışma kolaylığı, üretilen malzeme içinde daha homojen dağılımı ve böylelikle, matris ile takviye elemanı arasında oluşan kısmen kuvvetli arabirim yüzeyi ile açıklanmıştır. Diğer takviye formlarının davranışı incelendiğinde, kırpıntı takviyeli kompozitlerin çoğu zaman yüksek sapma değerlerinde elyaf takviyeli kompozit malzeme özelliklerine yakın değerlerde seyrettiği görülmüştür. Kırpıntı formu, boyut olarak 2-6 cm'lik nonwoven kesiklerinden oluşmaktadır. Bu malzemenin ekstrudere polimer ile aynı anda el ile beslenmesi, takviyenin malzeme içindeki dağılımının düzensizliğini arttırmakta, kesitte öbeklenmeler şeklinde ani ve büyük süreksizlikler oluşmasına neden olmaktadır. Mekanik testler esnasında deformasyon yönüne bağlı olarak malzeme en zayıf olduğu kumaş öbekli noktadan kopmaktadır. Elyaf takviye oranında ise, liflerin kırpıntı esasına göre daha homojen yöneldiği

görülmüştür. Test sonuçları kırpıntı ile çok fark gözetmese de, artan yüzey alanı teması ile, matris malzeme ile lifler arasında daha iyi bir tutunma sağlanmış, elde edilen sonuçlar daha dar bir sapma aralığında gerçekleşmiştir.

3. Çalışmada, DYPE ve PP olmak üzere poleolefin grubu polimerleri ile çalışılmış, bu polimerler, termoplastik malzemelerin tekrar işlenebilirliği, çevre dostu olmaları ve diğer termoplastikler arasında yüksek pazar payına sahip olmaları nedeniyle tercih edilmiştir. PP matris, DYPE matris ile karşılaştırıldığında, molekül yapısına eklenen metil grubu ile, daha dayanımlı ve gevrek bir malzeme davranışı göstermektedir. Bu durum göz önün alındığında takviye elemanı oldukça sünek bir polimer olan DYPE'nin elastiklik modülünü arttırırken, yüksek dayanımlı PP'nin elastiklik modülünü düşürmektedir. Saf DYPE'nin yaklaşık % 85 oranında uzama göstermesi, takviye malzemesi ilavesi ile en iyi ihtimalle %10 civarına düşmektedir. Bu durum takviye malzemesinin saf polimerin yapısındaki zincirlerin birbiri üzerinden kayarak uzamasına engel olması ile açıklanmaktadır. PP'nin düşük uzama yüzdesi, takviye oranı ile daha da düşüş göstermektedir. Saf polimer davranışına en yakın dolayısıyla en yüksek çekme dayanımı değerlerine parçacık takviyeli kompozitlerde rastlanmıştır.
4. Kırım işleminin etkisi incelendiğinde, DYPE matrisli kopozitlerde elastiklik modülü değerlerinde her iki yönde de (0° - 90°) sürekli bir artış gözlenmiştir. Bu durum DYPE'nin molekül yapısını oluşturan dallanmış polimer zincirlerinin koparak yeni çapraz bağ oluşması ile açıklanmaktadır. Çekme dayanımları incelendiğinde, malzeme geçirdiği ilk iki kırım sonucunda daha homojen bir yapıya ulaşmış, bu durum 2. kırım numunelerin en iyi çekme dayanımı değerlerine sahip olmalarını sağlamıştır. Hem DYPE hem de PP matrisli kompozitler için geçerli olan bu durum, artan kırım işlemi ile sabit kalmış veya kısmen bir düşüş eğilimi göstermiştir. Homojenliğinin daha da artmasına rağmen karşılaşılan bu durum ısı işlemlerin tekrarı sonucu polimerin molekül yapısında meydana gelen ısı bozunmadan ve takviye elemanının etkin lif uzunluğunu kaybetmesi ile geçirdiği mekanik deformasyondan kaynaklanmaktadır. Takviye malzemesini etkinliğinin ortadan kalkması

ile polimer faz ön plana geçmekte bu nedenle kırım işlemi ile her iki matris için de, uzama değerleri artış göstermektedir. Yine gerek polimer zincirlerinin gerekse liflerin yönelimi nedeni ile uzama değerlerinin 0°'lik ekstruzyon doğrultusunda, 90°'ye göre daha yüksek değerlerde olması beklenen bir sonuçtur.

5. Darbe dayanımı sonuçları incelendiğinde, PP matrisli kompozitler ile DYPE matrisli kompozitlerin farklılık gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni yine, polimer matrisin moleküler yapısı ile açıklanmaktadır. Oldukça sünek bir malzeme olan DYPE darbe etkisi altında kırılma göstermeyerek üstün darbe dayanımı davranışı göstermektedir. Bu nedenle ilave edilen takviye formları ile bu dayanımın düşmesi beklenen bir sonuçtur. Bunun yanı sıra PP matrisin gevrek yapısı takviye malzemesi ilavesi ile tokluk kazanmış, malzemenin kırılma enerjisi artmış dolayısıyla darbe dayanımı değerleri de artmıştır. Her iki matris malzemesi için de, 0° yönü darbe dayanımlarının, 90° yönündeki darbe dayanımlarından yüksek oluşu yine numunenin darbeyi aldığı kesitteki lif dağılımının ekstruzyon doğrultusundaki yöneliminden kaynaklanmaktadır. Darbe dayanımı değerlerinde takviye formunun etkisi, her iki matris için de farklılık göstermiştir. Bu durum deneysel çalışma kaynaklı olabileceği için, numune sayısının artırılması önerilmektedir.
6. DYPE matrisli kompozitlerin kırım sayısına bağlı olarak 0 yönünde darbe dayanımlarında düşüş gözlenmiştir. Bu durum PP matrisli numunelerde 0°-45°-90°'lik tüm yönlerde geçerlidir. DYPE matrisli kompozitlerin özellikle 45° yönünde sergilediği çok yüksek darbe dayanımı değerlerinin yorumlanabilmesi için, 45°'lik test yönündeki numune sayısının artırılması gerekmektedir.
7. Kompozitlerin ısıl davranışları incelendiğinde, takviye formunun etkisi esasında, çoğunlukla, mekanik testleri destekleyen sonuçlar elde edilmiştir. Isı iletim katsayısının düşük olmasına etki eden faktörlerin başında boşluklu yapı gelmektedir. Hem PP hem de DYPE matrisli kompozitlerde, kırpıntı ve elyaf takviyeli numunelerin ısı iletim katsayıları, parçacık takviyeli kompozitin ısı iletim katsayısından düşüktür. Bu durum kırpıntı ve elyaf takviyeli numunelerin, parçacık

takviyeli numunelere oranla daha zayıf matris-lif temasına sahip olması ve bu nedenle de yapılarında boşluk ihtiva etmesi ile açıklanabilir. Yapılan yoğunluk analizi de, bu boşluklu yapıyı destekler niteliktedir.

8. Kırım işleminin ısı iletimi katsayısı üzerindeki etkisi incelendiğinde, hem PP hem de DYPE matrisli kompozitlerde, ilk kırım basamağında ısı iletim katsayısında düşüş gözlenmekte ardından artan kırım sayısı ile ısı iletim katsayısı artış eğilimine girdiği görülmektedir. Bu durumun, kırımın ilk aşamasında parçacık halinde bulunan takviye elemanının, kırım ardından polimer ile birlikte tek faz halinde tekrar granül hale gelerek üretime sokulması sonucunda oluşan daha homojen yapıdan kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Bunun yanı sıra, mekanik deneylerin sonuçlarında da görüldüğü gibi, kırım işleminin artması ile etkin lif boyu kısalmakta, polimer faz baskın durumu gelmektedir. Bu durum polimer özelliklerinin de baskınlaşacağını, yani kırımlı numunelerin ısı iletm katsayılarının düşeceği sonucunu desteklemektedir.

Üretilen nonwoven atık takviyeli kompozit malzemelere yönelik, muhtemel son kullanım alanları ve ileriki çalışmalara yardımcı olacak öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Malzeme seçimi, beklenen performans özellikleri doğrultusunda değişiklik göstermektedir. Mekanik dayanım gerektiren son kullanım alanlarında, matris tipleri arasında, PP matrisli kompozitlerin kullanımı daha uygundur. Tok bir malzeme talebinde, DYPE matrisli kompozitler tercih edilmelidir.
2. Takviye formları bazında incelendiğinde, homojen yapının sağlandığı parçacık takviyeli kompozitlerin 2. veya 3. kırım aşamalarında elde edilen malzemelerin seçimi uygun olacaktır. Bunun yanı sıra kırım işlemi ile düşen darbe dayanımı değerleri göz önünde bulundurulmalıdır.
3. Mekanik dayanımın artırılmasına yönelik, lif-matris arabirim kuvvetini arttıracak, lif yüzey işlemleri (pürüzlülük arttırıcı) ve/veya kimyasal katkı ilavesi uygulanabilir.
4. Isı yalıtımı istenen son kullanım alanlarında eğer ki yüksek mekanik dayanım istenmiyorsa, elyaf takviye formu tercih edilebilir. Hem mekanik dayanım, hem de ısı yalıtımı özelliğinin bir arada talep edildiği

malzemelerde, parçacık takviyeli matrislerin 1. ve 2. kırıklı numunelerinin kullanımı uygun olacaktır.

5. Üretilen kompozitlerin ısı yalıtım özellikleri; gevşek dolgulu yapılar sınıfında yer alan; cam yünü, strafor, sıkıştırılmış tahta, polistren köpük vb. ısı yalıtım malzemelerinin yerini alacak seviyede değildir. Bu malzemelerden beklenen asıl amaç ısı yalıtımı olup, mekanik dayanım istenmemektedir [35]. Çalışma dahilinde üretilen kompozit malzemeler ise, kendi yükünü taşıyabilen, plaka formlu yapı malzemelerinin sınıfında değerlendirilmelidir. Bu kapsamda, üretilen kompozit malzeme; panolar (asbest-çimento pano, alçı pano, kontrplak, sunta, sıkıştırma pano, sert ve yumuşak tahtalar, vb) ile kıyaslanabilir [35].
6. Bunun yanı sıra, malzemenin kullanılabilirdiği en yüksek sıcaklık aralığı, son kullanım alanını belirleyen ve malzeme seçimine etkiyen kısıtlayıcı bir faktördür. DYPE için 82-100°C, PP için 107-150°C kullanım sıcaklığı aralığı verilmektedir [6].
7. Benzer şekilde malzeme yoğunluğu da malzeme seçiminde etkin rol oynar, istenen özelliğin hafif malzeme ile karşılanabilmesi talep edilen bir durumdur. Bu kapsamda, çalışma dahilinde en iyi ısı yalıtım özelliğine sahip malzeme olan elyaf takviyeli PP kompozit (yoğunluk: 0,94 g/cm³; ısı iletim katsayısı: 0,166 W/mK) sıkıştırılmış yüksek yoğunluklu pano (yoğunluk: 1,0 g/cm³; ısı iletim katsayısı: 0,170 W/mK) ve yüksek yoğunluklu sunta (yoğunluk: 1,01 g/cm³; ısı iletim katsayısı: 0,15 W/mK) ile kıyaslandığında PP kompozitin sıkıştırılmış yüksek yoğunluklu pano ve sunta gibi yapı malzemelerinin yerine kullanılabileceği uygun görülmektedir (Çizelge 7.1).
8. Çalışma dahilinde kullanılan saf PP'nin nem absorpsiyon değeri ağırlıkça % < 0,03'tür [31]. İleriki çalışmalarda kompozit malzemenin nem absorpsiyon değerinin incelenmesi önerilmektedir. Böylece, nem ile şişme gösteren tahta bileşenli yapılara kıyasla ıslak zeminlerde, nemli bölgelerde kullanımı mümkün olan bir malzeme elde edilebilir.
9. Benzer şekilde malzemenin yapı sektöründe kullanılabilirliğinde, dış ortam şartlarının (yağmur, güneş, nem,..) etkisi, tutuşma özellikleri, kullanılan duvar ve sıva malzemeleri ile uyumu, boya tutma özelliği de incelenerek uygun kullanım alanları genişletilebilir.

10. Yine çalışma kapsamında üretilen kompozit malzemenin maliyet analizi yapılabilir. Atık ilavesi ile polimer matris maliyetindeki düşüş incelenebilir.
11. Ayrıca çalışmanın devamında, 109M765 nolu TUBİTAK 1002 projesi kapsamında (*Nisan 2010-Nisan 2011*), üretilen malzeme çeşitleri için, inşaat sektörü dışında, park ve bahçe mobilyaları, belediyeye ait atık konteynerleri, vb. ürün tasarımları üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Üzerinde çalışılan mekanik ve ısıl performansının yanı sıra, malzemenin sahip olduğu avantajlar şu şekilde sıralanabilir.

1. Geri dönüşümlü PP ve DYPE'nin matris olarak kullanımı ile % 100 geri kazanılmış malzeme eldesi imkanı.
2. Termoplastik malzeme olduğundan tekrar şekillendirilebilmesi (geri dönüşümlü olması).
3. Çevre dostu oluşu.

Projenin uygulanması dahilinde,

1. Katı atık depolama sahalarında yer açılması ile katı atık yönetimine katkı sağlanması,
2. Yakılarak uzaklaştırma yöntemi esnasında oluşacak sera gazı salınımının önüne geçilmesi,
3. Fabrika bünyesinde 2. kalite ürün üretiminde değerlendirilen atıkların kullanım alanlarının çeşitlendirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<http://www.edana.org>>, alındığı tarih 05.04.2010.
- [2] **Gök Sadıkoğlu, T.**, 2007, *Nonwoven Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [3] **Akkurt, S.**, 1991, *Plastik Malzeme Bilgisi*, Birsen yayınevi, İstanbul.
- [4] **Saçak, M.**, 2005, *Polimer Teknolojisi*, Gazi Yayınevi, Ankara.
- [5] **Olçay, Y., Akyol, M., Gemci, R.**, 2002, *Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Cilt 7, Sayı 1, 93-116, Bursa.
- [6] **Smith, F. W.**, 2001, *Materials Science and Engineering*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Çeviren; N., Kınıkoğlu.
- [7] **Arıcasoy, O.**, 2006, *Kompozit Sektör Raporu*, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- [8] **Akkurt, S.**, 1996, *Plastik Malzeme Teknolojisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Malzemeleşmesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı, Sayı: 1548, İstanbul.
- [9] **Armağan, B., Demir, İ., Demir, Ö., Gök, N.**, 2006, *Katı Atıkların Ekonomide Değerlendirilmesi*, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 2006-23, İstanbul.
- [10] **Borat, M.**, 1999, *Katı Atıkların Yönetimi*, İstanbul Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [11] **Yılmaz, G., v.d.**, 2003, *Şanlıurfa İli Evsel Katı Atık Kompozisyonunun Belirlenmesi*, UKAK 2003, *2.Ulusal Katı Atık Kongresi*, İzmir.
- [12] **Url-2** <<http://www.istac.org>>, alındığı tarih 25.03.2010
- [13] **CH2M Hill International Ltd.-Antel-Aritma A.Şi.**, 1992, *Katı Atık Yönetim Etüdü*, İstanbul.
- [14] **Baştürk, A., Gönüllü M. T., Dinçer, Ö.**, 1992, *Stratejik Yönetim ve İşletme Politikası*, AGM, İstanbul.
- [15] **Ergör, M.**, 2004, *Katı Atıkların Geri Kazanılabirliği ve Uygulamaları*, Harran Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, *Bitirme Ödevi*, Şanlıurfa.
- [16] **Url-2** <<http://www.geridonusum.org/tekstil/index.php>>, alındığı tarih 1.03.2010.
- [17] **Ağdağ, O.N., Kırımhan, S.**, 1999, *Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde Endüstriyel Katı Atık Durumu ve Geri Kazanımı*, Cilt: 1, Sayı: 2, 47-58.

- [18] **Bozkurt, Y.**, 1983, Tekstil Sektöründe Artık Sorunu ve Değerlendirme Olanakları, *Çevre '83: II. Ulusal Çevre Mühendisliği Sempozyumu*, 1-5 Haziran, İzmir.
- [19] **Dokuzuncu Kalkınma Planı**, 2007, Tekstil Deri ve Giyim Sanayii, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Yayın No: DPT: 2715-ÖİK:668, Ankara.
- [20] **Albrecht, W., Fuchs, H., Kittelmann, W.**, 2000, *Nonwoven Fabrics*, Willey-VCH Publish, Vol. 4, 629-634.
- [21] **Das, K., Adhikary, K., Ray, D.**, 2009, Development of Recycled Polypropylene Matrix Composites Reinforced with Jute Caddies, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 00, 0001-8.
- [22] **George, J., Bhagawanb, S.S., Thomasa, S.**, 1998, Effects of Environment on the Properties of Low-Density Polyethylene Composites Reinforced with Pineapple-Leaf Fiber, *Composites Science and Technology*, 58:1471-1485.
- [23] **Kimura, T., Kataoka, Y., Kondo, Y., Takahashi, T.**, Injection Molding of Natural Fiber Reinforced Composites using Wastes of Various Fabrics.
- [24] **Gomes, M.G., Fanguero, R., Gonilho Pereira, C.**, Composite Panels Reinforced with Waste Fibrous Materials.
- [25] **Singtatit, P., Pimpan, V.**, 2009, Recycling of Medical Gown Nonwoven Fabric Manufacturing Waste as a Filler for High Density Polyethylene, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, Vol.19, No.1, 81-88.
- [26] **Lou, C.W., Lin, J.H., Su, K.H.**, 2005, Recycling Polyester and Polypropylene Nonwoven Selvages to Produce Functional Sound Absorption Composites, *Textile Research Journal*, 75(5), 390-394.
- [27] **Bertin, S., Robin, J.J.**, 2002, Study and characterization of virgin and recycled LDPE/PP blends, *European Polymer Journal*, 38, 2255–2264.
- [28] **Aral, N., Berkalp, O.B., Bakkal, M., Gök Sadıkoğlu, T.**, 2009, Investigation of Impact and Tensile Behaviours Of Waste Fabric Reinforced Polymer Composites, *Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, No.2, 139-144.
- [29] **Aral, N., Karakaşlıoğlu C., Berkalp, O.B., Bakkal, M., Gök Sadıkoğlu, T., Yılmaz S.**, 2009, Impact Properties of Waste Polyethylene Terephthalate Fabric Reinforced Polyester Composites, *Second International Symposium on Fiber Recycling*, May 11-12, Atlanta, Georgia, U.S.A.
- [30] **Aral, N., Karakaşlıoğlu C., Berkalp, O.B., Bakkal, M., Gök Sadıkoğlu, T., Yılmaz S.**, 2009, Finite Element Modeling of Waste Polyethylene Terephthalate Fabric Reinforced Polyester Composites, *Second International Symposium on Fiber Recycling*, May 11-12, Atlanta, Georgia, U.S.A.
- [31] **Url-2** <<http://www.petkim.com.tr>>, alındığı tarih 2.05.2010.
- [32] **ASTM D638-08**, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- [33] **EN ISO 179: 1997**, Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics.

- [34] Dağsöz, A. K., 1971, *Teknikte Sıcaklık Ölçülmesi*, İTÜ Yayın No: 838, İstanbul.
- [35] Incropera, F. P., Dewith, D. P., 2001, *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayıncılık, 4. Basım, Çevirenler; Derbentli, T., Gencelli, O., Güngör, A., Hepbaşı, A., İlken, Z., Özbalta, N., Özgüç, F., Parmaksızolğlu, C., Uralcan, Y., İstanbul.
- [36] Url-3 <<http://www.omega.com>>, alındığı tarih 25.04.2010.
- [37] ASTM E1225, Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded- Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique.
- [38] Bodur, M. S., Geri Dönüşüm Geçirmenin Tekstil Atığı Takviyeli polimer Matrisli Karma Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi *Y.Lisans Tezi*. Ocak 2010.
- [39] Bilgiç, T., 2006, *Polimerler-1 Bölüm 2: Polietilen*, PAGEV Yayınları, 3. Baskı.
- [40] Url-4 < <http://arge.mayteks.com/?p=381> >, alındığı tarih 02.04.2010.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: İpek YALÇIN

Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy, 21/10/1985

Adres: Caddebostan, İstanbul.

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- Yalçın, İ., Gök Sadıkoğlu, T., Berkalp B.Ö., Tarımda Geleneksel Sulama Sistemlerine Alternatif Bir Yöntem; Tekstille Sulama, *Tekstil & Teknik Dergisi*, Haziran 2010.
- Yalçın, İ., Gök Sadıkoğlu, T., Berkalp B.Ö., Bakkal M., Design and Performance Analysis of Waste Nonwoven Reinforced Composites, *5th International Textile, Clothing & Design Conference*, October 03-06 2010, Dubrovnik, Croatia)
- Yalçın, İ., Gök Sadıkoğlu, T., Berkalp B.Ö., Bakkal M., Investigation of Granulation Effect on the Performance of Nonwoven Waste Reinforced Polymer Composites, *7th Textile Science 2010 Conference*, September 6 – 8 2010, Liberec, Czech Republic)